



**HAL**  
open science

# Noyades et traumatismes liés aux vagues et marées sur le littoral océanique girondin : épidémiologie, modélisation et prévention

Eric Tellier

► **To cite this version:**

Eric Tellier. Noyades et traumatismes liés aux vagues et marées sur le littoral océanique girondin : épidémiologie, modélisation et prévention. Médecine humaine et pathologie. Université de Bordeaux, 2019. Français. NNT : 2019BORD0225 . tel-02481620

**HAL Id: tel-02481620**

**<https://theses.hal.science/tel-02481620v1>**

Submitted on 17 Feb 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE PRÉSENTÉE  
POUR OBTENIR LE GRADE DE  
**DOCTEUR DE**  
**L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX**

ECOLE DOCTORALE : Sociétés, Politique, Santé Publique  
SPÉCIALITÉ : Santé Publique, option Épidémiologie

Par **Éric TELLIER**

**Noyades et traumatismes liés aux  
vagues et marées sur le littoral  
océanique girondin**

**Épidémiologie, modélisation et prévention**

Sous la direction de Louis-Rachid Salmi

Soutenue le 13 novembre 2019

Membres du Jury :

M. COMBES Xavier, PU-PH, Université de Bordeaux ..... Président  
M. MICHELET Pierre, PU-PH, Université Aix-Marseille ..... Rapporteur  
M. CÔTÉ Pierre, Professeur, University of Ontario Institute of Technology ..... Rapporteur  
Mme LAFLAMME Lucie, Professeur, Karolinska Institutet ..... Examineur  
M. LAGARDE Emmanuel, Directeur de recherche INSERM, Université de Bordeaux .. Examineur  
M. SALMI Louis-Rachid, PU-PH, Université de Bordeaux ..... Examineur  
M. CASTELLE Bruno, Directeur de recherche CNRS, Université de Bordeaux ..... Invité

**Titre** Noyades et traumatismes liés aux vagues et marées sur le littoral océanique girondin. Épidémiologie, modélisation et prévention.

**Résumé** Les côtes girondines, dans le Sud-Ouest de la France, sont façonnées par les conditions océaniques. Les plages de sables y présentent des dangers tels que les courants d'arrachement et les vagues de bord. Ces phénomènes sont la cause de noyades et de traumatismes potentiellement graves, nécessitant des dispositifs de surveillance et de secours.

Les objectifs de cette thèse étaient d'enrichir les connaissances utiles à l'intervention sur les noyades et traumatismes liés aux vagues selon plusieurs axes : en décrivant la population des victimes, en modélisant les risques et en déterminant les actions nécessaires à leur prévention.

Dans un premier temps, les caractéristiques démographiques et la gravité des noyades et des traumatismes ont été décrites. En analysant les appels au Service d'Aide Médicale d'Urgence de la Gironde, 652 noyades et 814 traumatismes ont été recensés. À partir de ces données et en intégrant les observations météorologiques, un modèle de prévision du risque de noyade sur le littoral océanique girondin a été créé. Il a été ensuite validé, sur les données météorologiques prévisionnelles. Le risque de noyade liée aux courants d'arrachement peut ainsi être anticipé trois jours à l'avance. Les risques de traumatismes liés aux vagues de bord ont également fait l'objet de modélisation.

Un cadre théorique de modélisation de l'histoire naturelle de la noyade à l'aide d'un processus de Markov à temps continu a été proposé. Il a permis, entre autre, de quantifier l'impact théorique d'une réduction du délai des secours sur la gravité des noyades. Une réduction du délai de médian des secours de 15 à 10 minutes permettrait une diminution de moitié des cas de noyade graves.

Enfin, l'utilisation des prévisions du risque dans une action de prévention a été discuté à partir de concepts issus d'une revue de la littérature. Ces travaux permettront de mettre en place et d'évaluer une action de prévention de la traumatologie océane en Gironde.

**Mots-clés** : noyades, traumatismes, modélisation

**Title** Drownings and surf zone injuries along Gironde's seashore. Epidemiology, modeling and prevention.

**Abstract** The Gironde coasts in southwestern France are shaped by ocean conditions. Sandy beaches are exposed to high-energy waves which create hazardous conditions with shore-break waves and rip currents. These phenomena cause drownings and potentially serious injuries, requiring patrolling and rescue means.

The aims of this work were to study wave-related drownings and injuries (i.e. surf zone injuries, SZI) in several ways: by describing the population of victims, modelling the risks and identifying the actions needed to prevent them.

First, the demographic characteristics and severity of SZI were described. By analysing calls to the Gironde Emergency Medical Aid Service, 652 drownings and 814 traumas were recorded. From these data and using meteorological data, a model was created to predict the risk of drowning on the Gironde surf coast. It was then validated, based on the weather forecasts. The risk of drowning due to rip-currents can thus be anticipated three days in advance. The risks factors of shorebreak related injury were also studied.

A theoretical framework to describe the timeline of drowning, using a continuous Markov process, was proposed. It allowed, among other things, to simulate the theoretical impact of a reduction in rescue time on the severity of drownings. Shortening the median rescue time from 15 to 10 minutes would reduce severe drowning cases by half.

Finally, the use of risk predictions in prevention action was discussed on the basis of concepts from a literature review. This work will make it possible to set up and evaluate an action to prevent SZI in Gironde.

**Keywords** :drowning, injuries, modeling

---

## Unité de recherche

Centre de recherche INSERM U1219

Équipe IETO, Prévention et prise en charge des traumatismes

Université de Bordeaux – ISPED, 146 rue Léo-Saignat, 33076 Bordeaux CEDEX

THÈSE PRÉSENTÉE  
POUR OBTENIR LE GRADE DE  
**DOCTEUR DE**  
**L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX**

ECOLE DOCTORALE : Sociétés, Politique, Santé Publique  
SPÉCIALITÉ : Santé Publique, option Épidémiologie

Par **Éric TELLIER**

**Noyades et traumatismes liés aux  
vagues et marées sur le littoral  
océanique girondin**

**Épidémiologie, modélisation et prévention**

Sous la direction de Louis-Rachid Salmi

Soutenue le 13 novembre 2019

Membres du Jury :

M. COMBES Xavier, PU-PH, Université de Bordeaux ..... Président  
M. MICHELET Pierre, PU-PH, Université Aix-Marseille ..... Rapporteur  
M. CÔTÉ Pierre, Professeur, University of Ontario Institute of Technology ..... Rapporteur  
Mme LAFLAMME Lucie, Professeur, Karolinska Institutet ..... Examineur  
M. LAGARDE Emmanuel, Directeur de recherche INSERM, Université de Bordeaux .. Examineur  
M. SALMI Louis-Rachid, PU-PH, Université de Bordeaux ..... Examineur  
M. CASTELLE Bruno, Directeur de recherche CNRS, Université de Bordeaux ..... Invité

---

Document créé avec L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

par

Éric Tellier



Cette œuvre est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons  
Attribution - Partage dans les Mêmes Conditions 3.0 France.

---

---

## Titre

Noyades et traumatismes liés aux vagues et marées sur le littoral océanique girondin. Épidémiologie, modélisation et prévention.

## Résumé

Les côtes girondines, dans le Sud-Ouest de la France, sont façonnées par les conditions océaniques. Les plages de sables y présentent des dangers tels que les courants d'arrachement et les vagues de bord. Ces phénomènes sont la cause de noyades et de traumatismes potentiellement graves, nécessitant des dispositifs de surveillance et de secours.

Les objectifs de cette thèse étaient d'enrichir les connaissances utiles à l'intervention sur les noyades et traumatismes liés aux vagues selon plusieurs axes : en décrivant la population des victimes, en modélisant les risques et en déterminant les actions nécessaires à leur prévention.

Dans un premier temps, les caractéristiques démographiques et la gravité des noyades et des traumatismes ont été décrites. En analysant les appels au Service d'Aide Médicale d'Urgence de la Gironde, 652 noyades et 814 traumatismes ont été recensés. À partir de ces données et en intégrant les observations météorologiques, un modèle de prévision du risque de noyade sur le littoral océanique girondin a été créé. Il a été ensuite validé, sur les données météorologiques prévisionnelles. Le risque de noyade liée aux courants d'arrachement peut ainsi être anticipé trois jours à l'avance. Les risques de traumatismes liés aux vagues de bord ont également fait l'objet de modélisation.

Un cadre théorique de modélisation de l'histoire naturelle de la noyade à l'aide d'un processus de Markov à temps continu a été proposé. Il a permis, entre autre, de quantifier l'impact théorique d'une réduction du délai des secours sur la gravité des noyades. Une réduction du délai de médian des secours de 15 à 10 minutes permettrait une diminution de moitié des cas de noyade graves.

Enfin, l'utilisation des prévisions du risque dans une action de prévention a été discuté à partir de concepts issus d'une revue de la littérature. Ces travaux permettront de mettre en place et d'évaluer une action de prévention de la traumatologie océane en Gironde.

## Mots-clés

noyades, traumatismes, modélisation

---

## **Title**

Drownings and surf zone injuries along Gironde's seashore. Epidemiology, modeling and prevention. .

## **Abstract**

The Gironde coasts in southwestern France are shaped by ocean conditions. Sandy beaches are exposed to high-energy waves which create hazardous conditions with shore-break waves and rip currents. These phenomena cause drownings and potentially serious injuries, requiring patrolling and rescue means.

The aims of this work were to study wave-related drownings and injuries (i.e. surf zone injuries, SZI) in several ways: by describing the population of victims, modelling the risks and identifying the actions needed to prevent them.

First, the demographic characteristics and severity of SZI were described. By analysing calls to the Gironde Emergency Medical Aid Service, 652 drownings and 814 traumas were recorded. From these data and using meteorological data, a model was created to predict the risk of drowning on the Gironde surf coast. It was then validated, based on the weather forecasts. The risk of drowning due to rip-currents can thus be anticipated three days in advance. The risks factors of shorebreak related injury were also studied.

A theoretical framework to describe the timeline of drowning, using a continuous Markov process, was proposed. It allowed, among other things, to simulate the theoretical impact of a reduction in rescue time on the severity of drownings. Shortening the median rescue time from 15 to 10 minutes would reduce severe drowning cases by half.

Finally, the use of risk predictions in prevention action was discussed on the basis of concepts from a literature review. This work will make it possible to set up and evaluate an action to prevent SZI in Gironde.

## **Keywords**

drowning, injuries, modeling

---

### **Unité de recherche**

Centre de recherche INSERM U1219

Équipe IETO, Prévention et prise en charge des traumatismes

Université de Bordeaux – ISPED, 146 rue Léo-Saignat, 33076 Bordeaux CEDEX

# Table des matières

---

<b>Résumé</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>ii</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>vi</b>
<b>Table des figures</b>	<b>viii</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
1.1 Traumatologie océane, définitions et épidémiologie . . . . .	1
1.1.1 Noyade . . . . .	1
1.1.2 Blessures liées aux vagues . . . . .	6
1.2 Caractéristiques du littoral océanique girondin . . . . .	7
1.2.1 Houle . . . . .	8
1.2.2 Marée . . . . .	9
1.2.3 Baïnes et courant d'arrachement . . . . .	10
1.2.4 Vagues de bord . . . . .	13
1.3 Organisation actuelle des secours . . . . .	15
1.4 Données actuelles sur la prévention . . . . .	16
1.4.1 Observations . . . . .	16
1.4.2 Interventions . . . . .	18
1.4.3 Modèles de prévisions existants . . . . .	20
1.5 Politique de prévention actuelle en Gironde . . . . .	21
1.6 Objectifs et structure de la thèse . . . . .	22
<b>2 Fardeau de la traumatologie océane</b>	<b>24</b>
2.1 Données disponibles . . . . .	24
2.1.1 Recueil par les postes de secours . . . . .	25
2.1.2 Registre des CRS . . . . .	25
2.1.3 Centre de régulation des appels du SAMU 33 . . . . .	25

---

2.2	Fardeau des noyades océanes en Gironde . . . . .	26
2.2.1	Article . . . . .	26
2.2.2	Résultats complémentaires . . . . .	36
2.3	Fardeau des traumatismes liés aux vagues en Gironde . . . . .	40
2.3.1	Méthodes . . . . .	40
2.3.2	Résultats . . . . .	42
2.3.3	Discussion . . . . .	50
2.4	Conclusions . . . . .	51
<b>3</b>	<b>Modélisation et prévision des risques</b>	<b>53</b>
3.1	Introduction . . . . .	53
3.2	Prévision du risque de noyade . . . . .	53
3.2.1	Article soumis . . . . .	53
3.3	Prévision du risque de traumatisme lié aux vagues . . . . .	75
3.3.1	Introduction . . . . .	75
3.3.2	Méthodes . . . . .	75
3.3.3	Résultats . . . . .	76
3.3.4	Discussion . . . . .	81
3.4	Éléments complémentaires . . . . .	82
3.4.1	Qualité des données et influences sur les prévisions . . . . .	82
3.4.2	Méthode statistique . . . . .	86
3.4.3	Autres modélisations . . . . .	87
3.5	Conclusion . . . . .	88
<b>4</b>	<b>Modélisation de la chronologie de la noyade</b>	<b>89</b>
4.1	Introduction . . . . .	89
4.2	Méthodes . . . . .	91
4.2.1	Hypothèses . . . . .	91
4.2.2	Données . . . . .	91
4.2.3	Loi de probabilité . . . . .	92
4.2.4	Probabilités de transition . . . . .	93
4.2.5	Modèle . . . . .	94
4.3	Résultats . . . . .	95
4.3.1	Scénario 1 . . . . .	95
4.3.2	Scénario 2 . . . . .	97
4.4	Discussion . . . . .	98
4.5	Conclusion . . . . .	100

---

<b>5</b>	<b>Identification des pistes d'intervention : scoping review et proposition d'un cadre théorique</b>	<b>101</b>
5.1	Introduction . . . . .	101
5.2	Méthodes . . . . .	106
5.3	Résultats . . . . .	107
5.3.1	Interventions de prévention de la noyade chez l'adulte . . . . .	108
5.3.2	Interventions de prévention dans le contexte des avalanches . . . . .	112
5.4	Discussion . . . . .	114
5.5	Proposition d'un cadre théorique . . . . .	116
<b>6</b>	<b>Discussion générale</b>	<b>120</b>
6.1	Actions menées dans le cadre de ce travail . . . . .	120
6.1.1	Lien avec les institutions . . . . .	120
6.1.2	Liaison avec les SAMU côtiers néo-aquitains . . . . .	123
6.2	Autres perspectives . . . . .	123
6.2.1	Amélioration du recueil de données . . . . .	123
6.2.2	Implications du changement climatique . . . . .	124
6.2.3	Projet SWYM . . . . .	125
	<b>Références</b>	<b>126</b>
<b>A</b>	<b>Publications en lien avec la thèse</b>	<b>143</b>
	Articles en lien avec la thèse . . . . .	143
	Communications lors de congrès avec comité de lecture . . . . .	144
	Articles . . . . .	145
	Castelle <i>et al.</i> Natural Hazards . . . . .	145
	Résumés des communications . . . . .	164
	Tellier <i>et al.</i> , World Conference on Drowning Prevention 2017 – Résumé . . . . .	165
	Tellier <i>et al.</i> , Safety 2018 – Résumé . . . . .	166
	Salmi <i>et al.</i> , Safety 2018 – Résumé . . . . .	167
	Tellier <i>et al.</i> , European Congress of Epidemiology 2018 – Résumé . . . . .	168
<b>B</b>	<b>Secours et prévention sur la plage en Gironde</b>	<b>168</b>
B.1	Organisations des secours . . . . .	169
B.2	Fiche d'intervention MNS . . . . .	183
B.3	Prévention . . . . .	184
<b>C</b>	<b>Modèles pénalisés</b>	<b>185</b>

---

<b>D Modèles Stan</b>	<b>189</b>
D.1 Scénario 1 . . . . .	189
D.2 Scénario 2 . . . . .	191
<b>E Packages R utilisés</b>	<b>193</b>
<b>F Projet SWYM – Lettre d’intention</b>	<b>195</b>

# Liste des tableaux

---

1.1	Classification de la gravité de la noyade en quatre stades . . . . .	4
1.2	Classification de Szpilman et mortalité . . . . .	5
2.1	Population characteristics of calls secondary to rescue from water . . . . .	30
2.2	Population characteristics of emergency calls excluding victims of drownings	31
2.3	Characteristics of drownings compared to other calls . . . . .	33
2.4	Gravité des noyades de 2011 à 2017 . . . . .	37
2.5	Caractéristiques des victimes d'un traumatisme lié aux vagues de bord . .	42
2.6	Localisation des traumatismes liés aux vagues de bord . . . . .	43
2.7	Atteinte rachidienne et activité pratiquée . . . . .	44
2.8	Données manquantes parmi les traumatismes . . . . .	48
2.9	Caractéristiques des appels au SAMU 33 pour traumatismes provenant des plages . . . . .	49
2.10	Distribution du nombre de traumatismes imputés aux vagues de bord par jour	50
3.1	Meteorological and wave conditions and the characteristics of days . . . . .	62
3.2	Factors associated with daily rescues and drownings . . . . .	63
3.3	Univariate and multivariate analyses for risk of drowning . . . . .	64
3.4	Observed rescues and drownings by predicted risk level . . . . .	67
3.5	Days with and without events according to the prediction delay and the risk levels. . . . .	67
3.6	Modèle multivarié d'estimation du risque de traumatisme lié aux vagues de bord . . . . .	80
4.1	Gravité des noyades de 2011 à 2017 . . . . .	92
4.2	Résultats du scénario 1 : estimation des paramètres . . . . .	96
4.3	Résultats du scénario 1 : validation . . . . .	97
4.4	Résultats du scénario 1 : impact d'une réduction du temps de sauvetage sur la gravité des noyades. . . . .	97

---

4.5	Résultats du scénario 2 : estimations des paramètres . . . . .	98
5.1	Définitions des fonctions d'intervention dans le cadre de l'analyse de Michie 2011. . . . .	104
5.2	Définitions des politiques dans le cadre de l'analyse de Michie 2011. . . . .	104
5.3	Analyse des théories de changement utilisées dans les interventions . . . . .	111
C.1	Différences entre les coefficients issus de la régression logistique initiale et de la régression logistique pénalisée . . . . .	186

# Table des figures

---

1.1	Évolution du nombre de noyades durant la période estivale en France . . . .	2
1.2	Algorithme de classification des noyades, <i>d'après Szpilman 2012.</i> . . . . .	4
1.3	Carte du littoral girondin avec la zone étudiée . . . . .	8
1.4	Coupe transverse d'une plage à double barre . . . . .	10
1.5	Schématisation d'une baie vue de dessus . . . . .	11
1.6	Illustrations photographiques des baies . . . . .	11
1.7	Image de sortie d'un courant d'arrachement . . . . .	12
1.8	Illustration d'une vague de bord . . . . .	14
1.9	Chronologie de la noyade . . . . .	17
2.1	Flow chart of call data from the surf beaches . . . . .	30
2.2	Age of drowning victims according to sex and severity . . . . .	32
2.3	Comparison of age of drowning victims who needed hospitalization or died, between Gironde and along all coasts of France . . . . .	32
2.4	Évolution des stades de gravité de la noyade en fonction de l'âge, analyse univariée . . . . .	38
2.5	Évolution des stades de gravité de la noyade en fonction de l'âge et de la saison, analyse multivariée . . . . .	39
2.6	Âge et sexe des victimes en fonction de la localisation du traumatisme . . . .	44
2.7	Atteintes du rachis en fonction de l'âge et du sexe chez les baigneurs . . . .	45
2.8	Âge des victimes en fonction de la localisation du traumatisme rachidien . .	46
3.1	Importance of predictors in daily risk of drowning along Gironde surf beaches.	65
3.2	Importance of predictors in risk of drowning along Gironde surf beaches during 3-hour periods. . . . .	65
3.3	ROC curves of model predicting the risk of drowning along the Gironde surf coast. . . . .	66
3.4	Analyses univariées du risque de traumatisme lié aux vagues de bord . . . .	77

---

3.5	Risque de traumatisme lié aux vagues de bord en fonction des composantes du vent . . . . .	78
3.6	Analyse multivariée du risque de traumatisme lié aux vagues . . . . .	79
3.7	Modèles de risque de traumatisme lié aux vagues : courbes ROC . . . . .	80
3.8	Influence des erreurs de mesure sur le modèle de prévision du risque de noyade	83
3.9	Influence des erreurs de mesure sur la courbe ROC du modèle de prévision du risque de noyade . . . . .	84
3.10	Influence des erreurs de mesure sur le modèle de prévision du risque de traumatisme lié aux vagues de bord . . . . .	84
3.11	Influence des erreurs de mesure sur la courbe ROC du modèle de prévision du risque de traumatisme lié aux vagues de bord . . . . .	85
4.1	Modélisation de l'histoire naturelle de la noyade à l'aide de l'échelle de gravité de Szpilman . . . . .	90
4.2	Modélisation de l'histoire naturelle de la noyade à l'aide de l'échelle de gravité de Szpilman en regroupant les stades les moins fréquents. . . . .	94
4.3	Évolution de la gravité des noyades en fonction du temps . . . . .	96
4.4	Répartition des délais de sauvetage simulés . . . . .	99
5.1	Théorie du changement associée COM-B . . . . .	103
5.2	Diagramme de flux des recherches d'interventions de prévention de la noyade chez l'adulte, de l'utilisation de théories comportementales dans ce domaine et d'actions de prévention dans le domaine des avalanches. . . . .	107
5.3	Ébauche d'intervention guidée par la théorie d'une intervention de prévention des noyades . . . . .	117
C.1	Impact de la pénalisation sur l'analyse multivariée du risque de traumatisme lié aux vagues . . . . .	187
C.2	Analyse multivariée du risque de traumatisme lié aux vagues . . . . .	188

# CHAPITRE 1

## Introduction

---

### Note liminaire sur la terminologie

Ce travail de thèse porte sur les noyades et la traumatologie. Ces notions peuvent être regroupées en anglais sous la terminologie de *injuries*. La zone étudiée sur la plage correspond à la partie de déferlement des vagues—*surf zone*. Par soucis de simplicité, la *traumatologie océane* est définie dans ce travail comme l'équivalent des *surf-zone injuries*, c'est-à-dire tout évènement concernant une noyade ou un traumatisme lié aux vagues sur le littoral océanique.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la noyade est définie par l'expérience d'une détresse respiratoire secondaire à une submersion ou une immersion dans un liquide (van Beeck 2005). Le terme de noyade inclut *stricto sensu* un décès, mais dans ce document, nous utiliserons la définition de l'OMS, incluant donc les cas non létaux.

## 1.1 Traumatologie océane, définitions et épidémiologie

### 1.1.1 Noyade

#### 1.1.1.1 Épidémiologie

La noyade est le résultat de facteurs personnels et environnementaux. Elle représente la troisième cause de décès non intentionnels dans le monde, soit 7 % de ceux-ci. Le nombre de noyades recensées dans le monde en 2017, selon l'étude Global Burden of Disease (Dicker

2018), s'élève à 294 000. Cette donnée est probablement sous-estimée et les chiffres varient fortement d'une source à l'autre : en 2014, l'OMS rapportait le chiffre de 372 000 décès (WHO 2014) alors que l'étude Global Burden of Disease en recensait 311 513.

Les facteurs de risque relevés au niveau mondial sont l'âge, le niveau socio-économique, la consommation d'alcool, le sexe masculin et le lieu d'habitation. Du fait d'un âge médian de 14 ans, les noyades ont un impact fort en terme de santé publique. La disparité entre les pays est importante avec un taux de décès lié aux noyades plus élevé dans les pays émergents. Ceux-ci représentent 96 % des décès mondiaux (Bierens 2014; Peden 2002).

La localisation des noyades (océan, piscine, eau douce...) varie fortement d'un pays à l'autre et dépend du niveau de vie du pays (Bierens 2014; Mackie 1999; Richards 2011). Dans les pays riches, l'exposition des enfants aux plans d'eau et aux puits est moins importante et la piscine individuelle représente la cause principale; concernant les adultes, elle y est majoritairement le fait de pratiques de loisirs.

### 1.1.1.2 En France

Depuis 2003, Santé Publique France (ex-InVS, Institut de Veille Sanitaire) effectue une enquête nationale sur les noyades entre le 1<sup>er</sup> juin et le 30 septembre. Elle a lieu tous les trois ans depuis 2006, et seules les noyades ayant nécessité une hospitalisation ou ayant entraîné un décès sont étudiées. Chaque saison estivale, plus de 1 100 noyades dont environ 400 suivies de décès ont été recensées (Lasbeur 2016, figure 1.1).

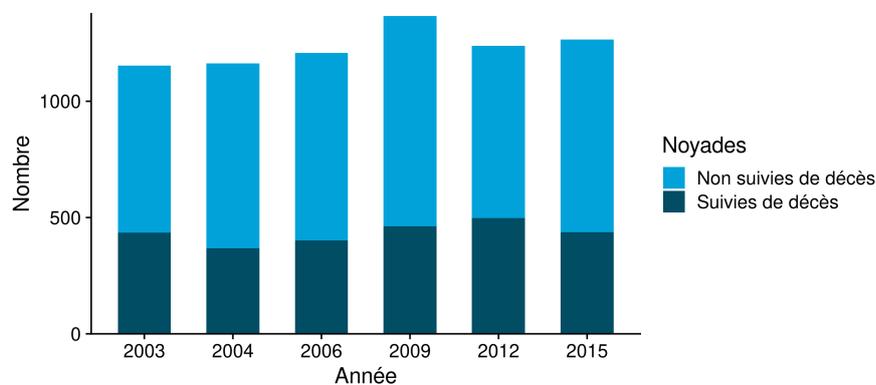


FIGURE 1.1 – Évolution du nombre de noyades durant la période estivale (1<sup>er</sup> juin–30 septembre) en France, recensées par Santé Publique France. D'après Lasbeur 2016.

En France, la proportion de décès à la suite d'une noyade varie entre 32 et 40 % avec de fortes variations selon le lieu. En mer, dans la zone à moins de 300 m du rivage, on recensait, en 2015, 637 victimes dont 24 % de décès.

La noyade en piscine ou dans les plans d'eau concerne essentiellement l'enfant ou le jeune adulte (âges médians respectifs de 5 et 24,5 ans). Les victimes de noyade en mer se distinguent par un âge médian de 51 ans. Les hommes y sont majoritaires (59 % des cas).

Chez les 13–24 ans, les courants (sans précision sur leur nature) sont la première cause de noyade (26 %), suivis par l'épuisement (23 %). Parmi les 25–44 ans, la principale cause est la chute, suivie de l'épuisement (16 %), puis les courants (12 %). Ainsi, les courants représentent à l'échelle nationale une part non négligeable des causes de noyades.

La noyade est un phénomène saisonnier survenant essentiellement en été et, dans une moindre mesure, en fin de printemps. Les facteurs environnementaux des noyades en mer ne sont pas étudiés dans le détail par l'enquête de Santé Publique France et seule la température de l'air est prise en compte pour expliquer les variations entre les années et au cours de la saison. Toutefois, en dehors d'un effet de seuil (en-deçà d'une température il y a peu de noyades), il n'y avait pas de corrélation retrouvée entre température et risque, au contraire des noyades en piscine. Le rapport de 2012 conclut ainsi que la température et la saisonnalité n'expliquent pas les variations du nombre de noyades en mer (Lasbeur 2013a).

Dans les études françaises, la gravité de la noyade est objectivée par une échelle à quatre niveaux. Sur le plan international, l'échelle de Szpilman s'est imposée ces dernières années.

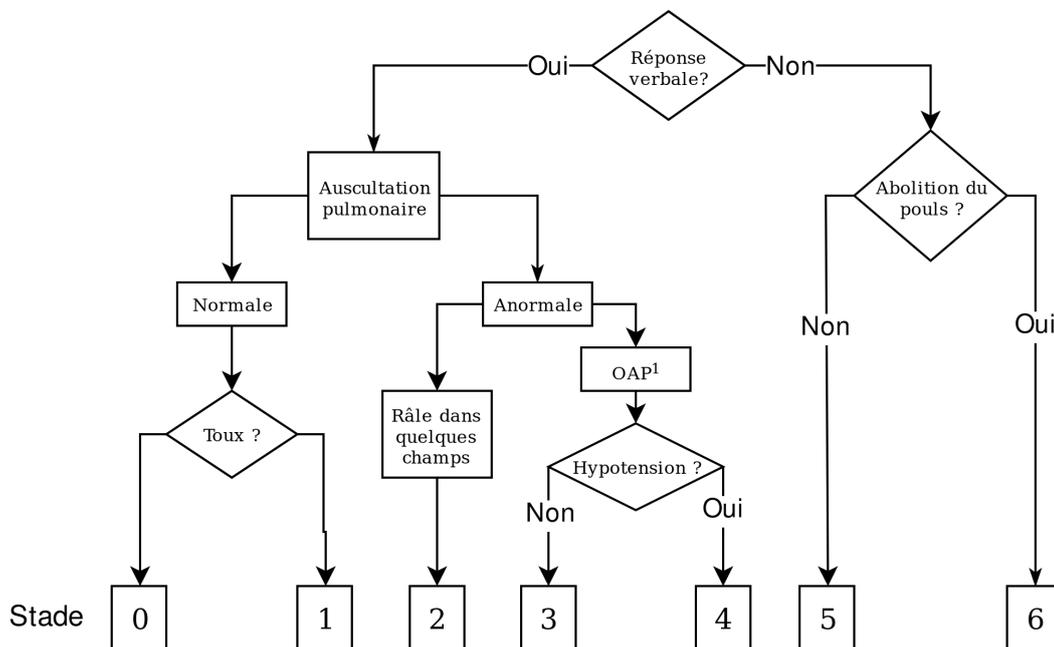
**Classification en quatre stades** La classification en quatre stades dite « de Bordeaux » est la plus répandue en France (tableau 1.1). Elle est utilisée par Santé Publique France (ex-INVS), par les secouristes et la majorité des urgentistes.

Cependant, d'autres échelles à quatre niveaux existent (Menezes et Costa), et des variations sont retrouvées selon les sources. Enfin, la description des symptômes peut rendre son interprétation difficile.

TABLEAU 1.1 – Classification de la gravité de la noyade en quatre stades, dite « de Bordeaux » utilisée par Santé Publique France (Lasbeur 2013b).

Stade	Dénomination	Définition
I	aquastress	Sujet conscient, respiration efficace, pas d'inhalation, stress, tremblements
II	petit hypoxique	Sujet conscient, pas de trouble hémodynamique, encombrement pulmonaire, cyanose, hypothermie
III	grand hypoxique	Sujet obnubilé ou comateux, défaillance respiratoire
IV	anoxique	Arrêt cardio-respiratoire, coma

**Classification de Szpilman** En 1997, Szpilman a proposé une nouvelle classification, actualisée en 2002 (Szpilman 1997 ;Szpilman 2002 ;Szpilman 2012 ;Szpilman 2014). Utilisant six stades, elle a le mérite d’être simple à utiliser en pratique car il suffit d’identifier quatre signes pour déterminer la gravité (figure 1.2).



<sup>1</sup>OAP : Œdème Aigu Pulmonaire

FIGURE 1.2 – Algorithme de classification des noyades, d’après Szpilman 2012.

Sa mise en œuvre nécessite une auscultation pulmonaire et n’est donc pas réalisable par les secouristes. Pour ces derniers, Szpilman propose de rechercher des sécrétions mousseuses

dans la bouche ou le nez, permettant de distinguer le stade 1 des stades 2 et 3 (Szpilman 2007). La mortalité est corrélée aux différents stades décrits (tableau 1.2).

TABLEAU 1.2 – Mortalité de la noyade selon la classification en six stades proposée par Szpilman, d’après Szpilman 2012.

Stade (Szpilman)	Symptômes	Mortalité (%)
1	Auscultation pulmonaire normale, avec toux	0
2	Auscultation pulmonaire anormale, quelques râles	1
3	Œdème pulmonaire aigu sans hypotension artérielle	4-5
4	Œdème pulmonaire aigu avec hypotension artérielle	18-24
5	Arrêt respiratoire isolé	31-44
6	Arrêt cardio-respiratoire	88-93

À cette classification en six stades a été rajouté un niveau pour les personnes qui n’ont pas présenté de toux (stade 0 ou *rescue*). Malgré l’absence de nécessité de prise en charge médicale, ces victimes sont importantes et méritent d’être considérées (Bierens 2014). Elles mobilisent les sauveteurs et des moyens de secours parfois importants. Bien que ces *rescues* soient pertinente pour estimer un dénominateur ou pour évaluer des interventions, peu d’études ont correctement quantifié ou comparé ce groupe des *rescues* avec les victimes plus graves.

La rapidité du phénomène de noyade (quelques minutes) nécessite une intervention précoce des secours et, en amont, des moyens de prévention importants (Bierens 2014; Lunetta 2004; Szpilman 2012). Le pronostic de la noyade est corrélé au temps de sauvetage et à la durée d’immersion (Quan 2016; Suominen 2002). Ainsi, il a été montré que la surveillance de la baignade est un moyen efficace pour réduire le taux de mortalité des noyades les plus graves (Jeong 2016).

Les séquelles dues à la noyade sont rares et principalement secondaires à l’arrêt cardio-respiratoire, avec une atteinte neurologique (Szpilman 2012). À long terme, les victimes de noyade qui ont une séquelle ou qui sont âgées entre 5 et 15 ans ont une surmortalité (Reynolds 2017). Les autres catégories ont un taux de mortalité non modifié.

Ainsi, la diminution du temps d'intervention auprès d'un nageur en difficulté est un facteur clé pour améliorer le pronostic de la noyade. Depuis quelques années, les postes de secours girondins se dotent de moyens supplémentaires, comme les jet-skis. L'utilisation de drones pour repérer les victimes et leur apporter un moyen de flottaison a été étudiée récemment, avec des résultats prometteurs (Claesson 2017 ; Seguin 2018).

Les noyades sont rarement associées à d'autres lésions, en dehors des situations traumatiques évidentes (Hwang 2003 ; Watson 2001). Les plongeurs en eaux peu profondes et les sports nautiques à haute cinétique sont considérés responsables de la plupart des noyades associées à des traumatismes.

### **1.1.2 Blessures liées aux vagues**

Les vagues, en déferlant sur la plage, peuvent engendrer des rouleaux puissants, s'abattant sur les baigneurs. Ces vagues de bord, ou *shorebreak*, sont fréquentes sur les littoraux océaniques. Peu de données sont disponibles concernant les blessures liées aux vagues de bord. Ainsi, si plusieurs travaux concernent la nature des traumatismes sur la plage, (Harada 2011 ; Morgan 2013 ; Moran 2014), seule une étude identifie spécifiquement le lien avec les vagues (Chang 2006).

Une étude publiée en 2016 a regroupé les blessures sur les plages atlantiques du Delaware, comptabilisant 240 cas en 2014, dont 123 étaient des baigneurs (Puleo 2016). Les lésions étaient considérées comme graves pour 33 victimes, incluant huit fractures cervicales et un décès. Cependant, cette étude incluait des plongeurs en eau peu profonde et ne décrivait pas la nature des lésions. Une autre étude sur la même zone, réalisée sur 8 ans (2010-2017), a recueilli les caractéristiques démographiques de 2 021 victimes mais, là-aussi, ne rapportait pas la typologie des lésions (Doelp 2018). Dans cette étude, la moitié des victimes était des baigneurs. Elles étaient principalement masculines (63 %) et les auteurs ont imputé cela au fait que les hommes pratiquaient plus d'activités à risque comme le bodysurf ou le bodyboard. En effet, ils représentaient 50,7 % de la population sur la plage mais étaient plus de 80 % parmi les activités à risque.

Plusieurs études se sont intéressées aux traumatismes chez les surfeurs (Nathanson 2002 ; Nathanson 2007). En compétitions, les blessures sont rares et concernent en premier lieu les membres inférieurs. En loisirs, les lésions rapportées par les surfeurs interrogés résultaient majoritairement d'une collision avec leur planche.

Les traumatismes cervicaux des baigneurs sont essentiellement dus à des plongeurs en eau peu profonde et je n'ai retrouvé que deux articles s'intéressant spécifiquement aux vagues de bord. Le premier rapportait 16 cas de traumatismes cervicaux chez les baigneurs sur une plage océanique du Mexique (Robles 2006). Cette étude n'a cependant relevé que les cas avec une anomalie radiologique, excluant des traumatismes cervicaux qui peuvent malgré tout causer des séquelles. Le second rapportait 100 cas de traumatismes cervicaux liés aux vagues à Hawaï, entre 1993 et 1997, principalement chez les baigneurs, masculins (89%), d'âge moyen de 36 ans. Les auteurs ont identifié la présence d'une anomalie cervicale pré-existante au traumatisme comme facteur de risque de lésion grave (Chang 2006).

Aucune étude n'a été retrouvée mesurant les forces en jeu lors d'une chute dans une vague de bord. Une approche théorique suggère que la force appliquée au niveau cervical dépend des caractéristiques de la personne (taille et poids) et de la vitesse de la vague (ibid.). L'ordre de grandeur estimé des forces atteint facilement plusieurs kiloNewtons, pouvant occasionner des fractures.

Ce type de traumatisme cervical, même en l'absence de lésion neurologique, pourrait avoir des conséquences au-delà de la douleur immédiate. En effet, il peut être rapproché des lésions observées en traumatologie routière, comme le coup du lapin (*whiplash*). Or, plusieurs études ont étudié les séquelles à long terme de ce type de lésion et ont relevé en particulier la persistance de douleurs chroniques (Söderlund 2018 ; Sturzenegger 1995).

## **1.2 Caractéristiques du littoral océanique girondin**

Le littoral océanique girondin comporte deux environnements distincts (figure 1.3) : une partie est influencée principalement par la marée (estuaire de la Gironde, bassin d'Arcachon) et une autre par la houle. Cette dernière, qui est l'objet de notre étude, concentre l'essentiel

des noyades accidentelles du littoral girondin du fait de risques particuliers, inhérents à la géographie des côtes. Celles-ci sont orientées selon un axe nord-sud (plus exactement 8° en moyenne vers l'Est) ce qui expose directement à la houle océanique, de prédominance ouest et nord-ouest. La combinaison d'un sable fin à moyen, hérité de la géologie de la région, de houles énergétiques issues de l'Atlantique nord et d'une amplitude de marée importante est responsable de la présence de systèmes barre-baines.

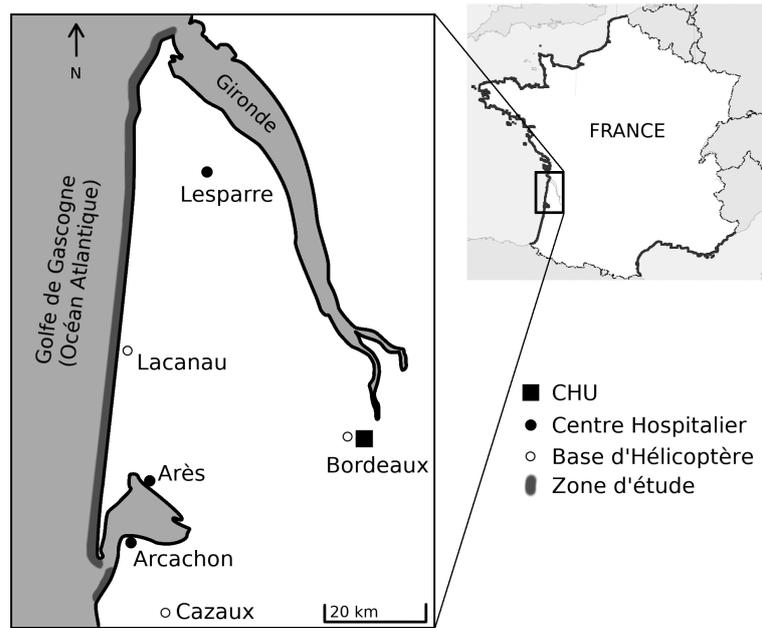


FIGURE 1.3 – Carte du littoral girondin : la zone étudiée est la partie de côte dominée par la houle. D'après *Castelle 2007, OpenStreetMap pour les données géographiques.*

Les conditions de baignade peuvent être définies par les caractéristiques des vagues, la marée, la force du vent, les températures de l'eau et de l'air et l'ensoleillement. À cela s'ajoute la morphologie de la plage, qui est une donnée quasi-impossible à collecter du fait de sa forte variabilité spatiale et temporelle. Pour identifier les dangers, il est nécessaire de comprendre les phénomènes côtiers rencontrés sur le littoral girondin.

### 1.2.1 Houle

La houle se décrit par la direction des vagues, leur amplitude et leur période moyenne. La période est le temps séparant deux vagues en un point fixe. Dans le golfe de Gascogne, la houle varie globalement selon deux saisons, estivale et hivernale. La houle estivale, d'avril

à septembre, présente de faibles amplitudes et des périodes courtes. La houle hivernale présente quant à elle de grandes amplitudes et des périodes longues. En Gironde, la houle provient des secteurs ouest et nord-ouest majoritairement (Barthe 1989 ; Castelle 2007).

Les vagues mesurées sont le résultat d'une combinaison de plusieurs paramètres et sont principalement décrites par la hauteur, la direction et la période moyenne. Les caractéristiques de la mer peuvent être appréhendées à partir d'un spectre en fréquence et direction. Mais, de manière générale, on peut caractériser les vagues à l'aide des trois valeurs statistiques suivantes :

- $H_s$  (m) : la hauteur significative des vagues, valeur moyenne du tiers supérieur des vagues sur une durée donnée ;
- $T_p$  (s) : la période de la houle ;
- $\theta_h$  (°) : la direction de la houle mesurée par rapport au nord géographique.

Les caractéristiques de hauteur et période sont synthétisées par le facteur de vague, noté  $W_f$  (m.s), produit des deux variables (équation 1.1) nomenclature  $W_f$  facteur de vague.

$$W_f = H_s \times T_p \quad (1.1)$$

La présence d'un système dépressionnaire dans l'Atlantique nord va créer des vagues qui arriveront quelques jours plus tard sur les côtes girondines. Cela constitue alors un « train de houle ». Suivant les saisons, les trains de houle sont espacés de quelques jours. Puisque les vagues les plus longues (de plus grande période) se déplacent plus rapidement, l'augmentation de la période des vagues est le premier signe d'arrivée d'un train de houle. La hauteur des vagues augmente ensuite progressivement au fur et à mesure des heures.

### 1.2.2 Marée

Sur la côte atlantique française, la marée est semi-diurne avec un cycle moyen de 12h25. Il y a donc deux pleines mers et deux basses mers par jour. Sur la côte ouest, l'onde de marée provient du sud-ouest et remonte vers le nord. Elle arrive à peu près en même temps sur toute la côte aquitaine (Idier 2005). Le marnage est défini par l'amplitude de la marée, soit

la différence entre la hauteur de haute mer et la hauteur de basse mer pendant un cycle de marée.

L'onde de marée peut se propager notamment à travers des embouchures (estuaires) ou des bras de mer (comme la Manche), où elle va engendrer des courants de marées. Ceux-ci sont très importants au niveau de l'estuaire de la Gironde— $2,5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ —et dans le bassin d'Arcachon, mais faibles par ailleurs.

### 1.2.3 Baïnes et courant d'arrachement

La baïne est une dépression temporaire formée entre un banc de sable et la côte (figure 1.4). Ce phénomène est fréquent sur le littoral aquitain, en particulier girondin.

Les baïnes se forment sur les plages de sable fin à moyen, à dénivelé faible, soumises à une forte houle et une forte marée. L'eau, sous l'action des courants engendrés par la houle et la marée, va déplacer le sable des plages, qui vont ainsi évoluer dans le temps. Sur la côte aquitaine, ces mouvements de sable engendrent fréquemment l'apparition de reliefs visibles à marée basse, dont le plus élevé est au niveau de la marée haute. Entre les deux se situe alors la dépression nommée baïne.

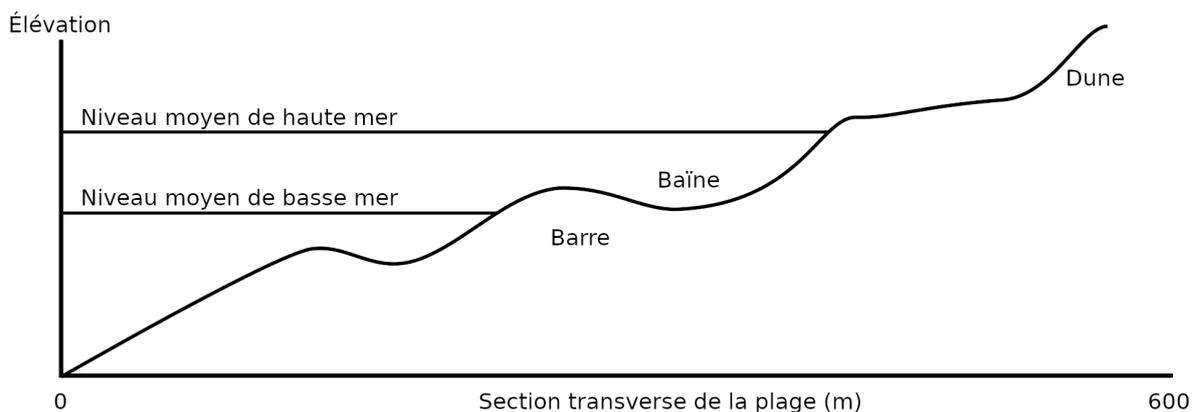


FIGURE 1.4 – Coupe transverse d'une plage à double barre au niveau d'une baïne. D'après *Castelle 2007*.

Les vagues, en arrivant sur la côte, vont déferler aux endroits où la hauteur d'eau est basse. Dans le cas d'un système barre-baïne, le déferlement va survenir au passage de la

barre, mais sera moindre voire inexistant aux endroits où il y a un chenal (i.e. là où la barre est creusée, voir figure 1.5).

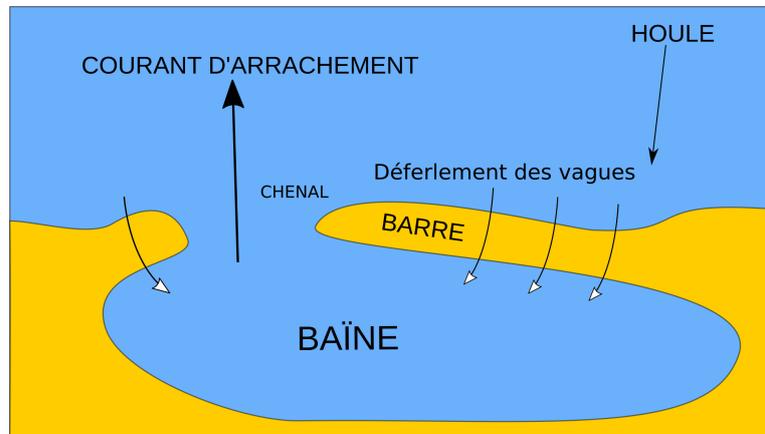


FIGURE 1.5 – Schématisation d’une baie vue de dessus : la houle, en arrivant vers la barre, va créer des vagues déferlantes qui vont transporter de l’eau vers la baie. Au niveau du chenal, l’absence de déferlement et la pression des masses d’eau adjacentes créent le courant d’arrachement. *Illustration d’après Bruno Castelle.*

Le déferlement va induire un déplacement d’eau en regard de la barre, élevant le niveau de l’eau à cette endroit. Il se crée alors un courant d’arrachement au niveau du chenal, poussé par les masses d’eau adjacentes, sans force de déferlement s’y opposant (figure 1.6). Le phénomène se retrouve particulièrement à la 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> heure de la marée montante et 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> heure de la marée descendante, mais sa durée varie en fonction du marnage (Bruneau 2009).



FIGURE 1.6 – Baïne (sur la gauche) et le courant d’arrachement bien visible au centre de la photo. *Crédit photo : Y. Lavigne, Methys UMR CNRS EPOC.*

Le danger inhérent aux baïnes est qu'un nageur se fasse emporter par le courant d'arrachement, l'emmenant au large sans possibilité de nager à contre-courant. La puissance du courant peut emporter le baigneur à parfois plus de 200 mètres de la côte (Castelle 2016). La morphologie des courants, c'est-à-dire leur direction et leur puissance, est très variable, et il n'existe pas de stratégie universelle pour en échapper (Bradstreet 2014; McCarroll 2014).

La stratégie habituellement proposée pour s'en sortir seul est de se laisser porter, puis de nager parallèlement à la côte pour sortir du courant, pour revenir ensuite vers celle-ci (figure 1.7). Cela prend du temps, nécessite de ne pas paniquer, et l'épuisement physique peut alors devenir un facteur de noyade. L'extraction d'une victime emportée par un courant de baie va nécessiter l'intervention d'une équipe de secouristes, généralement à l'aide de moyens lourds—jet-ski, hélicoptère. L'évitement de ce danger est donc une priorité pour diminuer le risque de noyade.

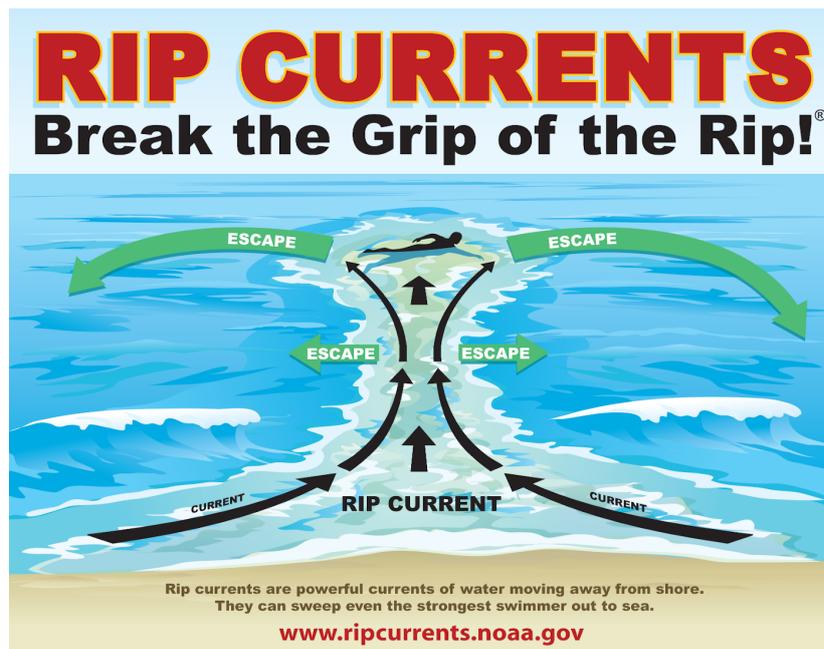


FIGURE 1.7 – Image de prévention utilisée dans la campagne « Break the grip of the rip » aux États-Unis, indiquant la conduite à tenir au baigneur pris dans un courant d'arrachement.

Bruno Castelle et son équipe (Bruneau 2009; Castelle 2007) ont étudié la formation des baïnes sur la plage du Truc Vert à Lège-Cap Ferret. Il a été montré que la force du courant d'arrachement induit ne dépend que des paramètres suivants :

- la bathymétrie—c'est à dire le profil de la plage ;

- les caractéristiques de houle au large—direction et facteur de vague (produit de la hauteur des vagues et de la période de la houle, cf. équation 1.1);
- la hauteur de la mer—variant en fonction de la marée.

Ainsi, une houle longue et frontale favorise l'apparition d'un courant de baie intense. Sur le long terme, le profil de plage évolue en fonction des conditions de houle. Une forte tempête hivernale va détruire partiellement le système barre-baie qui va ensuite se reconstituer. Il va y avoir d'abord des profils avec de forts courants puis, au fil du temps, si la houle reste calme, les courants deviendront moins intenses.

Scott *et coll.* ont étudié le taux d'incidents relatifs aux courants d'arrachement sur la côte ouest de l'Angleterre (Scott 2014). Ils ont pu isoler les incidents liés aux baies grâce au recueil des secouristes de 2006 à 2010 et ont identifié les paramètres marins caractérisant ces incidents, à savoir un facteur de vague légèrement en-dessous de la moyenne et une hauteur de marée basse autour de la moyenne. Cependant les résultats sont particuliers à ces plages, qui sont de nature différente des plages girondines et subissent un régime de houle plus constant dans l'année. Ils ont également mesuré un flux de courant proportionnel au facteur de vague.

#### 1.2.4 Vagues de bord

La façade océanique girondine offre peu d'aspérités et les vagues formées par les vents d'ouest et la houle du large ne sont pas diffractées, sauf dans le bassin d'Arcachon. Les vagues ou rouleaux de bord (*shorebreaks*) sont des vagues puissantes qui se brisent près du rivage. Elles peuvent être présentes pour un état de mer belle ou peu agitée. Même en l'absence de vent local, la houle peut engendrer des vagues importantes sur la côte et explique que le danger perdure lorsque le temps est favorable à la baignade.

La façon dont les vagues déferlent dépend de la houle (hauteur et période) et de la pente de la plage. Elle peut être estimée par le nombre d'Iribarren  $\xi_0$ , sans dimension (équation 1.2, Iribarren 1949).

$$\xi_0 = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H/L}} \text{ avec } \begin{cases} \beta & : \text{pente de la plage} \\ H & : \text{hauteur des vagues} \\ L & : \text{longueur des vagues} \end{cases} \quad (1.2)$$

Les vagues de bord constituent un obstacle à franchir lors de l'entrée dans l'eau des baigneurs et des surfeurs. *A contrario*, elles permettent la pratique de sports de glisse avec des planches courtes, comme le skimboard et le bodyboard (figure 1.8).



FIGURE 1.8 – Bodyboarder dans une vague de bord. *Crédit photo : Chatsuthiphan Unreal Hawaii LLC, CC.*

Sur les secteurs de plage faisant face à une baie, les vagues de bord sont généralement moins puissantes que sur les autres zones, où sont souvent délimitées les zones de bain. Aussi, à marée haute, les zones de bain surveillées peuvent être le siège de grosses vagues de bord.

La prévention repose alors essentiellement sur l'évaluation du danger par les Maîtres Nageurs Sauveteurs (MNS). Une étude a cependant rapporté que l'évaluation de la hauteur des vagues par les MNS dépendait de leur expérience, et que cette hauteur était sous-estimée pour des valeurs inférieures à la moyenne (Pitman 2019).

Mes entretiens avec les MNS girondins et mon expérience de régulation médicale au SAMU 33 suggèrent que ces vagues sont à l'origine de traumatismes fréquents et parfois graves, nécessitant souvent des moyens d'évacuation et parfois une évaluation médicale pré-hospitalière.

### 1.3 Organisation actuelle des secours

La surveillance des zones de baignade est assurée par les Maîtres Nageurs Sauveteurs (MNS). En Gironde, leur recrutement s'organise par communauté de communes. Il se fait soit *via* un processus indépendant, soit en faisant appel à une association comme la Société Nationale de Sauvetage en Mer (SNSM). Sur les plages les plus fréquentées, un renfort en haute saison est assuré par des policiers des Compagnies Républicaines de Sécurité (CRS).

La surveillance est organisée durant la saison estivale. Elle est continue du 1<sup>er</sup> juillet au 31 août sur toute la côte girondine. Hors saison, le dispositif varie selon les communes : la surveillance commence mi-juin et s'étend parfois aux week-ends de mai sur les plages très fréquentées comme Lacanau. Généralement, elle s'achève au premier ou deuxième week-end de septembre. Les horaires de surveillance sont également variables selon les sites. Les ouvertures des plages se font à partir de 11 heures et les fermetures jusqu'à 19 heures.

Les postes de secours accueillent les MNS et le matériel nécessaire aux premiers secours. Une zone réservée pour l'accueil d'un hélicoptère est située à proximité. Les postes sont reliés par radio entre eux, avec le Centre Régional Opérationnel de Surveillance et de Sauvetage (CROSS) Étel, situé en Bretagne, et avec l'hélicoptère dédié aux plages.

Un hélicoptère de la Sécurité Civile, Dragon 33, est disponible toute l'année et médicalisé par le Service Mobile d'Urgence et de Réanimation (SMUR) du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) de Bordeaux. Cependant, l'organisation s'adapte à la saison estivale pour faire face à l'afflux de population sur les côtes :

- l'équipe médicale hélicoptérée du SMUR de Bordeaux est basée à Lacanau ;

- au pic de saison (15 juillet–15 août), la couverture hélicoptérée du Porge à Biscarrosse est assurée par la Gendarmerie. L'hélicoptère est stationné à Cazaux et médicalisé par le SMUR d'Arcachon.

L'organisation des secours est coordonnée par la préfecture et sa description est actualisée tous les ans avant la saison, *via* l'Ordre Particulier des Transmissions (OPT, cf. annexe B). Ce document décrit les différents acteurs énumérés ci-dessus et les modalités de communication entre chacun.

Sur le plan médical, tous les intervenants sont coordonnés par le Service d'Aide Médicale d'Urgence de la Gironde (SAMU 33), établi au sein du CHU de Bordeaux. Celui-ci peut également acheminer des moyens supplémentaires pour évacuer les victimes vers les hôpitaux à l'aide d'ambulances privées ou du Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS).

L'OPT spécifie les critères d'appel au SAMU. Selon celui-ci, toute noyade ou traumatisme du rachis cervical ou lombaire doit faire l'objet d'un appel au 15 (annexes 2 et 6 de l'OPT). On y trouve également une fiche d'intervention plage destinée à être utilisée par les MNS. Il y a également une fiche de remontée d'information « noyade », anonymisée, destinée à la préfecture. Cette remontée d'information n'est valable que pour les stades 2 et supérieurs de la classification en quatre stades.

## **1.4 Données actuelles sur la prévention**

### **1.4.1 Observations**

D'un point de vue global, la grande majorité des noyades peut être prévenue (Bierens 2014). Il a ainsi été estimé que jusqu'à 85 % des noyades pouvaient être évitées (Quan 2011). Le processus aboutissant à la noyade a été détaillé et les différentes étapes ont été décrites précisément pour identifier les interventions possibles (figure 1.9, Szpilman 2016). Comprendre et repérer les communautés et personnes à risques est essentiel. Cela est souligné par l'OMS dans son guide pratique de prévention de la noyade, dont le point principal concernant la recherche est la collecte de données de qualité (WHO 2017).

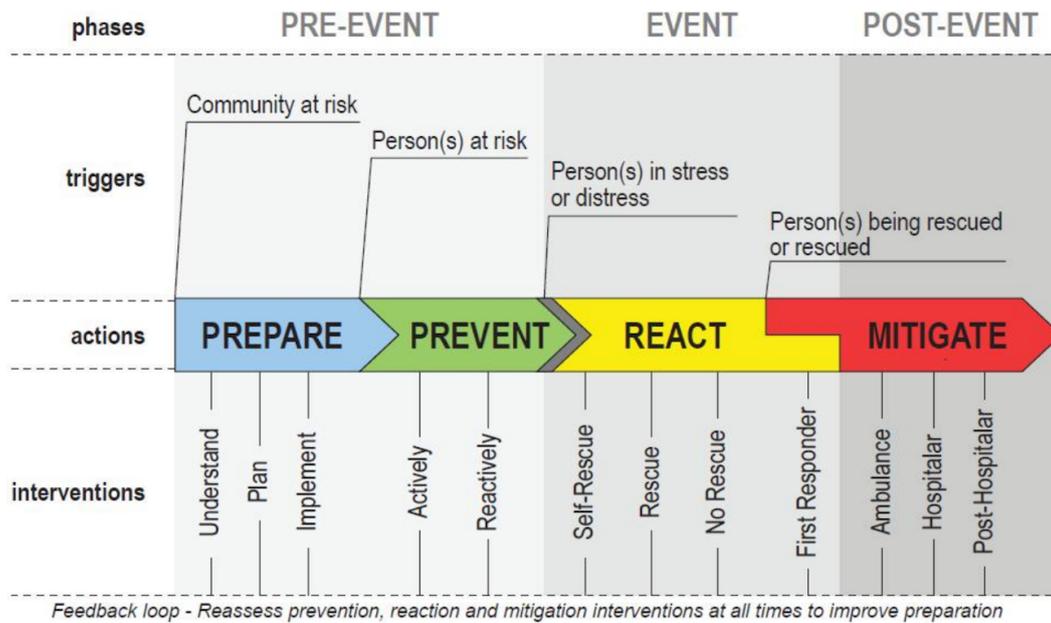


FIGURE 1.9 – Chronologie de la noyade, évènements déclencheurs, actions et interventions possibles, d’après Szpilman 2016.

Plusieurs recommandations d’experts ont été émises (Cortés 2006 ; Moran 2011 ; Ramos 2015 ; Schmidt 2016). On retrouve dans la plupart les messages suivants destinés à la prévention des noyades en milieu naturel :

- apprendre à nager et acquérir des notions de sécurité en environnement aquatique ;
- nager dans les zones surveillées ;
- ne jamais nager seul ;
- respecter les consignes de sécurité et les drapeaux ;
- utiliser les gilets de sauvetage (sur les embarcations) ;
- éviter la consommation d’alcool ;
- appliquer une surveillance constante et rapprochée (des enfants) ;
- s’enquérir des conditions environnementales (météorologie, état de la mer, des rivières) ;
- apprendre les gestes de premiers secours ;
- entrer dans l’eau les pieds en premier.

La revue des recommandations de 2016 montrait, cependant, que 88 % des points abordés reposent sur un faible niveau de preuve (Tritz 2018). Cependant, sur la plage, le respect des

zones de baignades semble primordial pour éviter les risques liés aux courants (Bradstreet 2014). Plusieurs études ont montré que le respect des consignes de sécurité était très variable, et avec des résultats discordants selon les régions : en Australie la population qui suivait le moins les consignes était la tranche d'âge 30–49 ans (Sherker 2010) alors que dans une étude au Canada (sur une rivière), c'était les moins de 25 ans (Nguyen 2002). Certains groupes de personnes, notamment les touristes, étaient également plus à risques (Williamson 2012). Un panel d'experts a mis en évidence le niveau d'expérience, le manque de connaissance locale et les conditions de mer comme autres facteurs d'exposition aux risques (Morgan 2012).

Le signalement des dangers sur la plage est nécessaire, mais insuffisant à lui seul : en Australie, une étude a montré que 45 % des personnes ne se rappelaient pas avoir vu un panneau avertissant d'un danger sur les plages équipées de signalisations (Matthews 2014).

Ainsi, les campagnes de prévention des noyades liées aux courants doivent être évaluées. Il est nécessaire de connaître le lien entre les messages diffusés, leur compréhension et les mécanismes d'exposition au risque.

### 1.4.2 Interventions

Les nombreuses études sur la prévention des noyades concernaient principalement les enfants et, dans les pays développés, la noyade en piscine privée (Leavy 2016 ; Modell 2010 ; Pearn 2008 ; Wallis 2015). Certaines se sont appuyées sur des théories comportementales, telles que le *Health Belief Model*, et la théorie sociale cognitive (Denehy 2016, 2017).

Dans un environnement légèrement différent, une intervention pour inciter au port du gilet de sauvetage dans les activités nautiques dans l'État de Washington s'est révélée efficace à terme. Elle s'appuyait sur du marketing social, le modèle PRECEDE-PROCEED<sup>1</sup> (Green 1974) et quelques éléments de théories cognitives sociales, de théorie de la motivation à la protection (*protection motivation theory*), de notion d'auto-efficacité (*self efficacy*) et de *role modelling* (modèle d'exemples) (O'Leary 1985 ; Rogers 1975).

---

<sup>1</sup>PRECEDE : *Predisposing, Reinforcing and Enabling Constructs in Educational Diagnosis and Evaluation*  
PROCEED : *Policy, Regulatory, and Organizational Constructs in Educational and Environmental Development*

Quelques études interventionnelles concernant la prévention des risques liés aux courants sur les plages ont été publiées. Certaines interventions utilisaient des communications multi-supports (Hatfield 2012) et d'autres faisaient appel à des formateurs (MNS), en particulier dans les écoles (Wilks 2017). Les messages de prévention pouvaient rester efficaces à 6 mois, les personnes interrogées étaient plus à même de se baigner sur les plages surveillées, mais pas forcément entre les drapeaux. Une revue de la littérature a proposé comme objectif de prévention la reconnaissance du danger et la réaction face au risque (Shaw 2014).

Une autre revue de la littérature a mis en avant les dimensions sociales et psychologiques nécessaires pour prévenir les noyades dues aux courants d'arrachement (Ménard 2018). Cette étude souligne que la capacité à reconnaître le danger est souvent surestimée par les baigneurs. D'autre part, l'éducation du public sur la présence de dangers sur la plage est nécessaire car les populations à risque de noyade n'ont pas conscience du danger, malgré les panneaux d'avertissement (Kaminski 2017). Les auteurs montrent en exemple deux campagnes de prévention des courants d'arrachement, aux États-Unis et en Australie, s'appuyant sur des signalétiques locales et *via* les médias (radio, télévision et réseaux sociaux). Il a été montré que la connaissance des baigneurs a été accrue, mais la population la plus à risque, à savoir les baigneurs occasionnels, n'était pas forcément atteinte par ces campagnes (Houser 2017). Plus généralement, l'impact de ces campagnes de prévention s'avérait toujours complexe à mesurer et les évaluations avaient un faible niveau de preuve (Leavy 2015).

La prise en compte du facteur humain dans la prévention des traumatismes est un facteur clef (Porter 2010). La perception du risque et la décision de prise de risque doivent être étudiées (Powell 2007). Cela se fait à l'aide de théories comportementales. Étendant les recherches précédentes, une étude a recensé neuf modèles de théories comportementales utilisés dans 37 articles sur la prévention des traumatismes (Trifiletti 2005). On y retrouve quelques unes des théories utilisées dans la prévention de la noyade.

- *Health Belief Model*
- Théorie de l'action raisonnée (*Theory of Reasoned Action*) ou Théorie du comportement planifié (*Theory of Planned Behavior*)

- *Precaution Adoption Process Model*
- Théorie sociale cognitive
- Théorie de la motivation à la protection
- *Community Organization*
- Diffusion d'innovation
- PRECEDE-PROCEED
- *Social Marketing*

### 1.4.3 Modèles de prévisions existants

Un modèle de risque lié aux courants d'arrachement a été mis au point par Austin et coll. en Angleterre (Austin 2013). Il a été développé uniquement d'un point de vue physique puis secondairement mis en relation avec les observations des sauveteurs. Il utilise une échelle de risque à trois niveaux, 36 % des incidents ont eu lieu dans un risque modéré, 64 % durant une période à risque élevé, 0 % durant une période à risque faible. Les données utilisées permettaient d'identifier exactement les incidents liés aux courants d'arrachement. Nous n'avons retrouvé dans la littérature aucune étude de prévention liée à ce modèle, ni d'évaluation de sa mise en place.

À Puerto Rico, un modèle de prévision des vagues de bord a été étudié et son implication dans la prévention des risques a été discutée (Canals 2015). De même, un modèle prédictif des courants d'arrachement a été mis en place en Inde (Kumar 2014). Dans les deux cas, aucune action de prévention ni d'évaluation associée n'a été retrouvée.

Depuis 2003, des efforts de prévention des risques liés aux courants d'arrachement ont été faits par l'association de sauvetage des États-Unis en coordination avec l'agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, NOAA). La campagne « Break the Grip of the Rip! » a ainsi été initiée en 2004. Elle a commencé par la mise en place d'une signalisation uniformisée symbolisant quoi faire si on est pris dans un courant. La description utilisée dans le panneau n'aide cependant

pas le baigneur à localiser les courants. Là encore, moins de la moitié des personnes sur la plage se rappelaient avoir vu un panneau (Brannstrom 2014).

Aux États-Unis, depuis 2005, le service de prévision météorologique national (*National Weather Service*, NWS) a développé un service de prévision des courants d'arrachement sur toute la côte, coté sur trois niveaux (*low, moderate, high*). Le niveau de danger est diffusé par radio, télévision, site internet et réseaux sociaux.

L'utilisation d'un modèle de prévision du risque de courant d'arrachement a été également discuté par Ménard (2018), en se référant aux travaux énoncés ci-dessus. Les auteurs soulignent que les modèles actuels ne tiennent pas en compte la fréquentation de la plage, et de l'exposition au danger.

## **1.5 Politique de prévention actuelle en Gironde**

Depuis 2012, une campagne de prévention ciblant les dangers que représentent les baïnes et les vagues de bord a été mise en place sur les plages de Gironde. Le dépliant présenté en annexe B.3 (p. 184) est diffusé en plusieurs langues aux postes de secours et dans certains accès aux plages. Les autres informations disponibles sur la plage sont les conditions de baignade et parfois les courants dangereux lorsque ceux-ci sont facilement identifiables ; ces informations sont affichées aux postes de secours et mises à jour quotidiennement par les MNS en saison.

Actuellement, la prévention des noyades et risques liés aux vagues ne fait pas l'objet d'une politique intégrant les théories comportementales. Sur la côte girondine, de nombreux accès à la plage ne disposent pas de panneaux. Lorsqu'elle est en place, la signalétique sur les plages est souvent incomplète, rappelant certaines consignes mais avertissant seulement d'un danger sans en spécifier la nature.

Au niveau régional, il n'y a pas d'étude sur la population qui fréquente les plages, de leurs connaissances, ni du fardeau de la traumatologie océane. La prévention est donc limitée. Il est indispensable d'enrichir les connaissances sur les noyades et les traumatismes liés

aux vagues, d'en identifier les facteurs environnementaux et d'adapter la prévention en conséquence.

## 1.6 Objectifs et structure de la thèse

Ce travail fait suite à ma thèse de médecine portant sur la description des noyades et des facteurs de risque environnementaux associés. L'objectif de mon travail de doctorat était de valider un modèle de prévision du risque de noyade sur le littoral océanique girondin, de décrire les traumatismes liés aux vagues, et de déterminer les actions nécessaires à la prévention, en identifiant les acteurs, les moyens potentiels et les méthodes d'évaluation.

Dans un premier temps, j'ai décrit les noyades sur le littoral océanique girondin, de 2011 à 2016. Ces données ont permis d'identifier les populations à risque pour orienter les messages de prévention. Cette étude a fait l'objet d'un article publié dans la revue *Injury Epidemiology*. J'ai également étudié les caractéristiques des autres traumatismes liés aux vagues de 2011 à 2017 : population impactée, types de traumatisme et moyens engagés. Cette étude fait l'objet d'un article en préparation.

À partir de ces mêmes données et en intégrant les conditions environnementales, j'ai créé puis évalué un modèle de prévision du risque de noyade sur la côte océanique girondine. Cette modélisation a permis d'identifier les périodes à risque et d'adapter les moyens de secours, y compris en avant- et après-saison. Ce travail a fait l'objet d'un article soumis pour publication dans la revue *PLOS One*. Dans la même idée, en intégrant des paramètres différents, un modèle prévoyant le risque de traumatismes liés aux vagues de bord a été développé. Ce travail fait l'objet d'un article en préparation. Ces travaux d'anticipation des risques constituent la deuxième étape de cette thèse.

Dans un troisième temps, j'ai établi un cadre théorique de modélisation de la chronologie de la noyade. Construits à l'aide d'une chaîne de Markov, les modèles qui en découlent ont permis d'estimer l'évolution des victimes de noyades en fonction de différents facteurs. Ce cadre théorique peut ainsi simuler l'impact d'une action sur la chaîne de secours sur la gravité des noyades. L'utilisation de ces modèles pour simuler différents scénarios permettrait de

cibler les actions d'optimisation de la chaîne de secours. Ce travail fait l'objet d'un article en préparation.

Ces modèles de prévision du risque doivent s'intégrer dans une politique de prévention globale. J'ai donc, dans une dernière partie, fait une *scoping review*. L'objectif de cette étude était d'identifier les contours d'une possible action de prévention et les conditions nécessaires pour l'appliquer. Les modalités de son évaluation sont également discutées. Ce travail fait l'objet d'un article en préparation.

## CHAPITRE 2

# Fardeau de la traumatologie océane

---

Pour appréhender la traumatologie océane, il est nécessaire de décrire précisément la situation : qui est concerné ? Dans quelles conditions ? Quels traumatismes ? En quelles proportions ?

Je me suis d'abord interrogé sur la disponibilité des données et les conditions de leur recueil. Après avoir estimé que les données recueillies *via* le centre de régulation des appels du SAMU 33 seraient les plus fiables, un premier article se focalisant sur les caractéristiques des victimes de noyades a été publié. Après cet article, je décrirai de la même manière les victimes de traumatismes liés aux vagues de bord, en m'attardant sur les traumatismes rachidiens.

### 2.1 Données disponibles

Comme nous l'avons vu dans la partie 1.3, sur le terrain, dans un même poste, deux acteurs peuvent cohabiter au même moment. Plus généralement sur toute la côte, plusieurs organismes (communes, CRS, SNSM) recueillent des données de manières différentes. La collecte des données ne peut se faire que par les acteurs des secours : aucun système avec du personnel dédié n'existe actuellement. Cela entraîne systématiquement une perte d'information par manque de temps pour compléter les fiches (Williamson 2006).

### **2.1.1 Recueil par les postes de secours**

Chaque poste de secours tient un cahier qui fait office de main courante, colligeant toutes les interventions effectuées sous la responsabilité des MNS. Sont renseignées également une estimation de l'affluence et la couleur de la flamme—drapeau vert, orange ou rouge.

Cependant, le recueil est inégal et beaucoup d'informations sont partielles (par exemple « 5 personnes sorties de l'eau »). La collecte des données est faite sur papier ; chaque poste (ou commune) recueille différemment les données. Pour ces travaux, assembler des données aussi hétérogènes aurait constitué une réelle difficulté logistique. L'analyse en aurait également été compliquée. Enfin, ces données ne rendent évidemment pas compte des accidents hors périodes de surveillance.

### **2.1.2 Registre des CRS**

Le docteur Jean-Michel Campagne du centre hospitalier de Bayonne a mis en place une fiche de recueil destinée aux CRS de l'ancienne région Aquitaine. Cependant, les données disponibles présentaient plusieurs défauts : elles couvraient des périodes et des zones différentes selon l'engagement des CRS, il n'y avait pas d'années complètes contiguës et seule la haute saison était prise en compte. Enfin, en dehors de l'uniformisation, ce registre souffre des mêmes limitations que ceux des postes de secours. Ces données ont néanmoins fait l'objet d'une analyse préliminaire à laquelle j'ai collaboré, menée par Bruno Castelle, qui a été publiée (Castelle 2018) et est présentée en annexe A.

### **2.1.3 Centre de régulation des appels du SAMU 33**

Le Service d'Aide Médicale d'Urgence de la Gironde dispose d'un Centre de Réception et de Régulation des Appels (CRRA) établi au CHU. Tous les appels au numéro d'urgence médicale, le 15, y sont acheminés et font l'objet d'un traitement dans un premier temps par un Assistant de Régulation Médicale (ARM) qui recueille les premières informations (motif d'appel, localisation), établit un niveau d'urgence et peut décider de l'envoi de prompts

secours si besoin. Par la suite, chaque affaire est traitée par un médecin, urgentiste ou généraliste. Les appels provenant des plages sont traités exclusivement par des médecins urgentistes.

Lors de la prise d'appel, les ARM puis les médecins notent les informations essentielles dans le logiciel de régulation. Cependant, en dehors de la localisation, de l'identité, de l'âge et du sexe, il n'y a pas de trame et la prise de note est libre. Les informations varient donc selon l'ARM et le régulateur prenant l'appel.

## **2.2 Fardeau des noyades océanes en Gironde**

### **2.2.1 Article**

Les caractéristiques des noyades sur le littoral océanique girondin ont été étudiées à partir des données des appels au SAMU 33, sur la période 2011-2016. Ces résultats ont fait l'objet d'une publication (Tellier 2019c).

## ORIGINAL CONTRIBUTION

## Open Access

# Characteristics of drowning victims in a surf environment: a 6-year retrospective study in southwestern France



Éric Tellier<sup>1,2,3\*</sup> , Bruno Simonnet<sup>3</sup>, Cédric Gil-Jardiné<sup>1,2,3</sup>, Bruno Castelle<sup>4</sup>, Marion Bailhache<sup>1,2,5</sup> and Louis-Rachid Salmi<sup>1,2,6</sup>

## Abstract

**Background:** Drowning is the third cause of non-intentional injury death worldwide. Beaches of Gironde, in southwestern France, are exposed to strong environmental conditions, leading to rip currents and shore breaks. Bathing season usually lasts from April to October and is supervised from June till mid-September. The objective of this study was to study the characteristics of drowning victims along Gironde surf beaches and to identify peculiarities compared to national figures.

**Methods:** All calls originating from beaches to the emergency call center of Gironde from 2011 to 2016 were analyzed. Patient data, filled by a physician based on information given by pre-hospital care team (lifeguards, paramedics or emergency physicians), were extracted from the emergency call center database. We used Szpilman classification (0 = rescue to 6 = cardiac arrest) to assess severity. Rescues are patients without respiratory impairment who needed lifeguards or helicopter intervention. We compared our findings with national studies carried every three years (2012 and 2015).

**Results:** We analyzed 5680 calls from beaches and included 4398, 576 of which were rescued from the water, including 352 without respiratory impairment (stage 0). Among drownings, 155 had cough only (stage 1), 26 pulmonary rales (stage 2), 9 pulmonary edema (stage 3) and 1 had pulmonary edema with hypotension (stage 4). Five rescued people were in respiratory arrest and 28 were in cardiac arrest. 77.5% were bathers, others were mainly surfers or body-boarders. Drowning victims median age was 24 (quartiles: 17–40), and sex-ratio was 1.44 Male/Female. Men were significantly older than women (34 vs. 26 years old), and severity from stage 1 to 4 was positively associated with age. Compared to national data, Gironde drownings had a higher proportion of 15–44 year-old victims, and the case-fatality was lower in Gironde (11.5%) than at the national level (27.4%,  $p < 0.001$ ).

**Conclusion:** Along Gironde coast, drowning is rarely severe, concerns mostly young men; the age distribution could explain the different case-fatality. Further study is needed to identify environmental predictors of drowning.

**Keywords:** Drowning, Epidemiology, Natural hazard

\* Correspondence: [eric.tellier@u-bordeaux.fr](mailto:eric.tellier@u-bordeaux.fr)

<sup>1</sup>INSERM, ISPED, Bordeaux, France

<sup>2</sup>Univ. Bordeaux, ISPED, Bordeaux, France

Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s). 2019 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated.

**Background**

Drowning is defined in 2005 by the World Health Organization (WHO) as “the process of experiencing respiratory impairment from submersion/immersion in liquid” (van et al., 2005). It is the third leading cause of non-intentional injury death worldwide, representing in 2017 294,000 people according to the Global Burden of Disease data (Dicker et al., 2018).

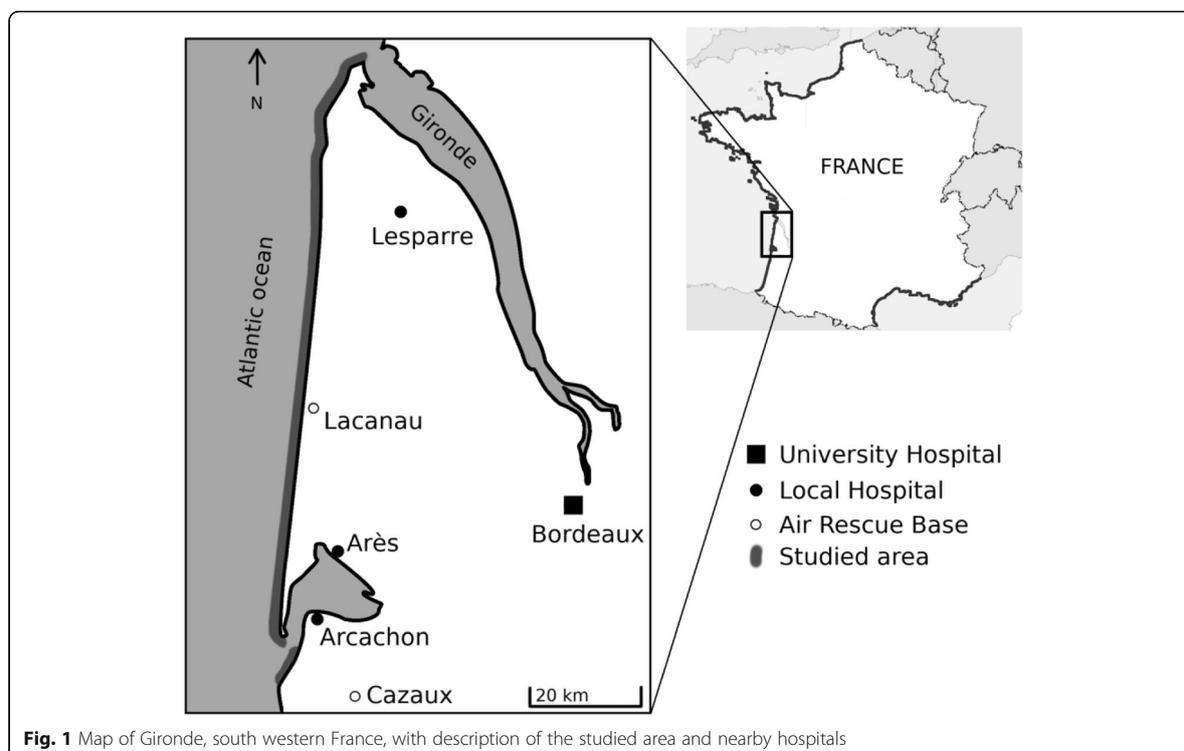
In France, every three years, a national study is conducted by the French national institute of public health (Santé Publique France), registering all cases of drowning leading to hospitalization or death, from June, 1st till September, 30th. During 2015, this study reported 1266 drownings (fatal and non-fatal) in France, including 637 (50.3%) on coasts (Lasbeur et al., 2016); data were similar in the 2012 report (Lasbeur & Thélot, 2013). Studied coasts are highlighted in the overall map of Fig. 1 (Corsica not shown). On the beaches of Gironde, an area in Southwestern France, magnified in Figs. 1, 38 drownings resulting in 7 deaths were reported in the 2015 study.

Drowning is associated with both environmental and individual factors, and occurs quickly. Although few interventions have been evaluated, prevention is considered key to improve beachgoers behavior in specific environmental conditions and hopefully reduce drownings (Bierens, 2006; Hatfield et al., 2012; Sherker et al.,

2010; Szpilman et al., 2012). Once drowning occurs, a chain of survival implies a fast response with paramedics and a medical team if needed (Dyson et al., 2013; Salomez & Vincent, 2004; Szpilman et al., 2014). Indeed, watched areas needed less medical attention and cardiopulmonary resuscitation for victims of drowning (Szpilman, 1997; Venema et al., 2010).

The sandy coast of Gironde is exposed to high-energy waves. This leads to a ridge and runnel system inducing rip currents (Castelle et al., 2007). These conditions can be encountered in other parts of the world, and it is known that most beach-related drownings are caused by rips (Castelle et al., 2018; Gensini & Ashley, 2010; Morgan et al., 2008).

The Gironde coast comprises 126 km of sandy surf beaches. Because it is a major touristic destination in southwestern France, beach safety is an important concern. During the high season, from mid-June to mid-September, major beaches are watched by lifeguards from 11:00 AM to 7:00 PM. Some of the busiest beaches are watched from the beginning of June, but bathing season can begin in April and last till the end of October when warm weather conditions prevail. Drowning prevention is done essentially within guarded areas, through signage at the beach entrances and distribution of leaflets describing rip-current and shore-break hazards which are the primary surf zone hazards along this



stretch of coast. During the high season, two helicopters are available for sea rescue.

Describing the drowning problem at a local and regional level is an essential step to develop effective prevention countermeasures (van et al., 2005; Idris et al., 2003; World Health Organization, 2014). There is a need of documenting history and description of victims in that particular environment. Moreover, as drowning occurs quickly, people rescued by lifeguards need to be taken into account, even if the absence of severe drowning stage did not lead to hospitalization.

The objective of our study was to characterize drowning victims in the oceanic coast of Gironde and to identify peculiarities compared to national figures.

## Methods

### Data source and inclusion criteria

During summer, lifeguard interventions for rescue from water is followed by a call to the Medical Emergency Call Center. This center also receives direct calls from beachgoers. This retrospective study was based on data from emergency calls coming from Gironde beaches from January 1st, 2011 to December 31st, 2016. As we were interested in drownings occurring in strictly surf environment, calls from the beaches inside the Arcachon lagoon (Fig. 1) were excluded. Collecting every call from beaches, even those unrelated to drowning, is also interesting as a previous, unpublished, work carried out in 2003 in Gironde reported a strong correlation during summer between beach attendance and number of calls for any reasons coming from beaches (Murcott, 2003).

All medical emergency calls from beachgoers or lifeguards come to a Medical Emergency Call Center (SAMU, Service d'Aide Médicale d'Urgence). For each call, a physician fills the database with information given by callers, and paramedics and pre-hospital care teams when involved. We excluded calls without victim, trainings and duplicates. Contents of all calls were reviewed by the first author, a junior epidemiologist with training in emergency medicine. We then classified all calls in two groups, drowning cases and other calls.

### Variables and data collection

We collected location, date and time of the call, gender and age of the victim for all medical emergency calls from beaches. For drownings, we collected the medical history of the victim, activity (bathing, surf, bodyboard, other), initial status given by lifeguards report, and discharge status (left on site, transferred to emergency department or intensive care unit, death on site, death at hospital). The severity of drowning was rated, from the first clinical description reported, with the Szpilman classification (Table 1). Stage zero, or rescue, characterizes people who need to be rescued from water, but

**Table 1** Short description of drowning stages, according to Szpilman classification (Szpilman et al., 1997 and 2012)

Stage	Symptomatology
0 (rescue)	None
1	Cough, normal pulmonary auscultation
2	Cough, rales in some pulmonary fields
3	Acute pulmonary edema with normal blood pressure
4	Acute pulmonary edema, hypotension or shock
5	Respiratory arrest and/or coma
6	Cardiac arrest

without cough. Stage 1 is defined by the presence of cough, stage 2 victims present pulmonary rale in some fields; stage 3 have pulmonary edema and stage 4 present pulmonary edema with hypotension. Stage 5 are patient with respiratory arrest without cardiac arrest and stage 6 is cardiac arrest. Stages from 2 to 6 need to be hospitalized while stage 1 can be left under surveillance of lifeguards. When available, we recorded resources such as helicopter or jet-ski used to rescue the victim. Finally, location of event (in or out bathing area, beach location) was recorded.

We assumed that stage-0 and -1 victims without hospital transfer had a favorable outcome. Outcomes of the most severe victims (stage 2 and over) were collected from the files of Intensive Care Units where patients were admitted. National data, collected every three years, were extracted reports of the national institute of public health, Santé Publique France, carried in 2012 and 2015 (Lasbeur et al., 2016; Lasbeur & Thélot, 2013). Those data are gathered using hospital (emergency and pre-hospital care services) and emergency call center reporting of drownings leading to hospitalization (including emergency evaluation) or death.

### Statistical analysis

We first compared calls for rescue and drowning with other calls to characterize the studied population. We then compared our findings on drownings to national data. To describe drowning victims, qualitative variables were reported as percentages and numbers. Quantitative variables were reported as medians and inter-quartile range. Fisher and permutation tests were used to assess differences among groups for qualitative and quantitative variables respectively. As spatial distribution of accesses to the beaches is discontinuous and mostly depends on municipal boundaries, continuous spatial data analysis was not possible, and we divided the coast into 9 areas (from A to I in Fig. 1) according to those boundaries.

We calculated univariate odds ratios of drowning occurrence among calls between low- and high-seasons, between weekdays and weekend and between locations. Data analysis was done with the R software and coin

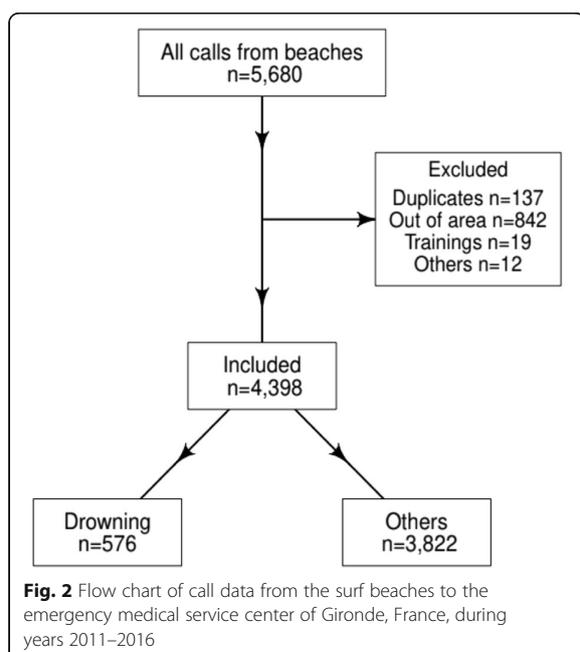
package (R Core Team, 2017; Harrell, 2014; Harrell, 2015; Hothorn et al., 2008).

**Results**

**Emergency calls and their characteristics**

We screened 5680 call files, of which 1282 were excluded (Fig. 2). For calls secondary to rescue from water, age was missing in 170 files (29.5%), mostly for stages 0 ( $n = 164$ ) and 1 ( $n = 6$ ) patients. Missing data concerned helicopter interventions for air-lifting operations where, usually, only the number of involved patients, their severity, and sometimes sex are filled. Median age was 24 years (mean 30.9, quartiles: 17–45) among people rescued from water and 23 years among other calls (mean 28.4, quartiles: 15–40). Compared to other beach-related calls, the sex-ratio was not different ( $p = 0.88$ ). Males rescued from water were older than for other beach-related injuries ( $p < 0.001$ ), but female victims were similar in age ( $p = 0.06$ ).

Sex was available for 427 cases (74.1%) and most victims were stages 0 (61.1%) and 1 (26.9%) (Table 2). Other calls ( $n = 3822$ ) were mostly secondary to medical cause, beach-related trauma, but there were specific surf injuries such as shore-break related injuries (17.7%) and envenomation (5%) (Table 3). Among calls secondary to rescue from water, most patients were males ( $M/F = 1.44$ ) and the severity was not different in males and females (Fig. 3,  $p = 0.14$ ). Males were significantly older than females (mean 34 vs. 26 years,  $p < 0.001$ ). Age varied across stages, independently of sex ( $p = 0.001$ )



**Table 2** Population characteristics of calls secondary to rescue from water ( $n = 576$ ) along Gironde surf beaches, 2011 to 2016. Severity was assessed according to the Szpilman classification (Szpilman et al., 2012)

Variable	N	%
Sex		
Female	175	30.4
Male	252	43.6
Missing	149	26.0
Severity		
0 (Rescue)	352	61.1
1	155	26.9
2	26	4.5
3	9	1.6
4	1	0.02
5	5	0.9
6	28	4.9
Outcome		
Left on site	363	63.0
Death	20	
Evacuated		
University hospital	20	3.5
Death	4	
Local hospital	163	28.3
Other hospital	2	
Missing	8	
Activity		
Bathing	444	77.5
Body board	11	1.9
Surf	24	4.2
Other	3	0.5
Missing	91	15.9

(Fig. 3). Low- and high-season drownings were not different in age distribution, but a higher proportion of males were victims during low season (Odds Ratio (OR) 2.42 95% confidence interval (CI) [1.39–4.31],  $p < 0.001$ ).

A medical history was explicitly noted for 49 cases (8.5%), reporting mainly cardio-vascular diseases ( $n = 17$ ), asthma ( $n = 13$ ), and psychiatric disorders ( $n = 5$ ); one patient had a history of epilepsy. The absence of medical history was documented in 112 cases (19%). Therefore, 415 patients (72.0%) were without reporting medical history. Alcohol consumption was notified in 2 cases. No drowning occurred within bathing area during the study period.

Compared to national data, Gironde drownings had a higher proportion of 15–44 year-old victims and a lower proportion of people above 45 and below 5 (Fig. 4). The

**Table 3** Population characteristics of emergency calls excluding victims of drowning from Gironde surf beaches, 2011 to 2016 ( $n = 3822$ )

Variable	N	%
Sex		
Female	2133	55.8
Male	1673	43.8
Missing	16	0.4
Shore-break related injuries	675	17.7
Shoulder	177	
Neck	177	
Back	96	
Knee	96	
Head	42	
other	87	
Envenomation	191	5.0
Weevers	117	
Jellies	25	
<i>Physalia physalis</i>	34	
Missing	15	
Dislocation	235	6.1
Wounds	525	13.7
Other trauma	1059	27.7
Miscellaneous Other Medical	959	25.1
Seizure	35	0.9
Missing	146	3.8
Activity		
Bathing	282	9.0
Body board	88	2.8
Surf	769	24.4
Other seashore activity	39	1.2
Activity on the beach	907	28.8
Missing	1062	33.7

case-fatality was lower in Gironde than at the national level (11.5% vs 27.4%,  $p < 0.001$ ).

#### Drowning timing and location

With 118 rescues from water and drowning events reported at the emergency call center with 556 calls for other beach-related events, there were significantly more rescues leading to a call in 2014 than in other years (Table 4). Over six years, the number of drownings varied depending on whether the day was a weekday, a weekend or a holiday. During the low-season, the probability that a call concerned a drowning case was increased on weekdays (OR 3.11; 95% CI 2.07–4.62) even though 7 deaths occurred on weekends and 2 during weekdays in low season. Adjusted to the other calls, the

low season was riskier than the high season (OR 1.98; 95% CI 1.54–2.52).

The proportion of drowning among emergency calls was lower in area I than in other locations (OR 0.31; 95% CI 0.19–0.47). Areas G and H had a significant higher incidence than other locations (Table 3).

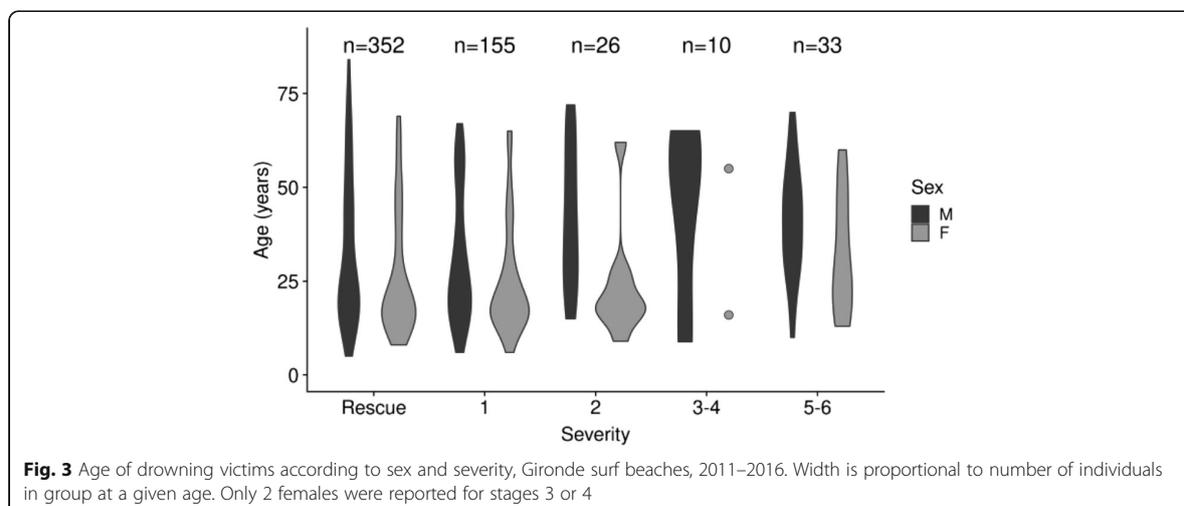
#### Discussion

To our knowledge, this is the first study that characterizes precisely the burden of drowning in a high-risk area, taking into account both rescues and off-season drownings. The latter do not usually appear in lifeguard registries as they work only during high-season (mid-June to the end of August for most stations). This study is the first step to prevention, analyzing existing data in a specific context (World Health Organization, 2017) to define and orient targeted prevention strategies, according to WHO and CDC recommendations (World Health Organization, 2017; Doll et al., 2007). Such data collection could be done in other area for comparison.

Our study has some limits related to the retrospective use of existing medical files. Although records of the Emergency Call Center are useful to identify drownings needing medical advice or helicopter interventions, they miss rescues by lifeguards that did not lead to a call for medical advice. Local regulation requires lifeguards to report all victims, but it is known that there are missed cases as some local annual unpublished reports, show a higher number of rescues than our study. Therefore, one has to be careful when making external comparison because the number of calls is only an indirect estimation of the denominator. Further, Medical Emergency Call Center files were not always documenting medical history and circumstances of drowning. They were still filled well enough to assess initial severity of drowning.

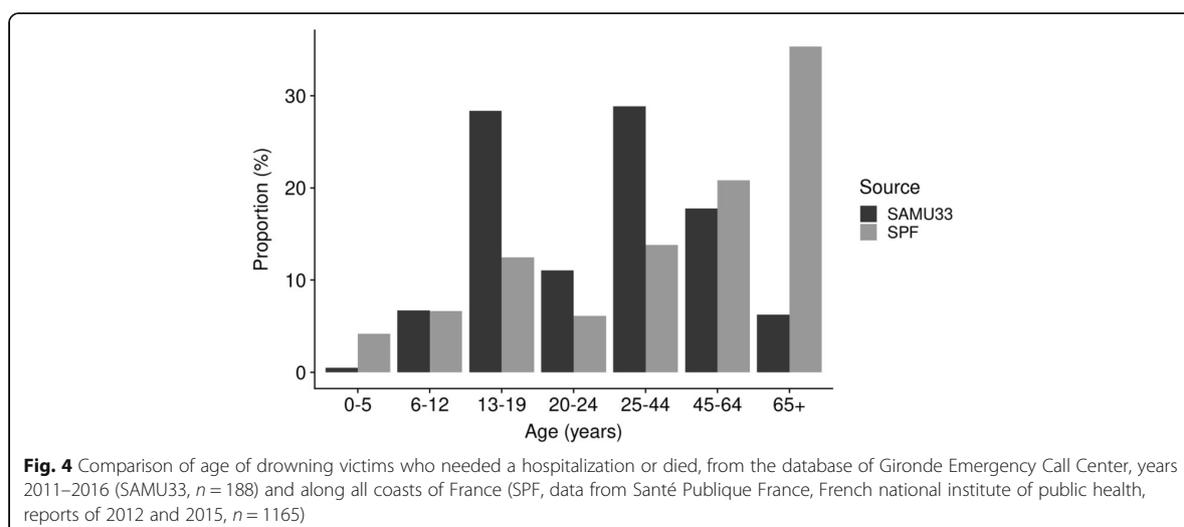
Data collection of beach-related injuries, including drowning, is challenging (Williamson, 2006). We tried to access to local data, but they are incomplete or very scarce, reporting only total numbers of rescue for a given day for example. Thus, we do not have any sources on demographics of bathers. Following this study, the identified need for a better documentation led to the development of a specific questionnaire, which was distributed to Gironde lifeguards at the start of the 2018 season.

Men were less represented than in most epidemiological studies (Gensini & Ashley, 2010; Claesson et al., 2014; Claesson et al., 2012; Clemens et al., 2016; Harada et al., 2011; Quan et al., 2014), but the male/female ratio is consistent with other oceanic studies (Szpilman et al., 2014; Doll et al., 2007; Williamson, 2006; Claesson et al., 2012). In our study, drowning victims were mostly adolescents and young adults, with very few children. This low proportion of children compared to other drowning



epidemiological studies might be due to a lower exposure: they may be more likely under supervision of a parent, or less exposed to surf beaches as lakes are common in the area. Indeed, most studies do not focus on surf environment. Nevertheless, this age distribution is not surprising given the wave conditions, with frequent shore breaks; the age distribution is similar to findings in Hawaii (Williamson, 2006) and Canada (Doll et al., 2007). Compared to other calls, people rescued from water were older, especially among males. This could be explained by a riskier behavior among adult males. In Australia, similar findings have been reported regarding the propensity to swim outside flagged area (Sherker et al., 2010), and death rate among surf beach swimmer population (Morgan et al., 2008).

The comparison to national data shows that the surf environment has a particular population and suggests a need to identify geographical disparities along the coastline. Compared to other coastal areas contributing to national data, Gironde is known to be a place with many rip current occurrences and strong shore-break waves. Those hazards can be found in all other coasts of France, but with much less frequency and intensity. Water temperature is generally lower than along Mediterranean coasts, and higher than in Brittany and northern coasts. Air temperatures are similar to Mediterranean coasts. Unfortunately, we do not have similar studies to compare demographics of victims in other places, but the demographic distribution could explain the difference of death rates between national and regional data.



**Table 4** Characteristics of drownings compared with other calls from beaches of Gironde, by type of day, year, and location with odds ratio (OR) and 95% confidence intervals

Variable	Other calls	Drownings	OR	95% CI
Type of day				
Holiday	52	11	1.41	0.66–2.75
Week-end	205	44	1.46	1.02–2.06
Weekdays	87	40	3.20	2.12–4.76
High season	3.478	481	0.50	0.39–0.65
Year				
2011	670	88	0.85	0.66–1.08
2012	708	116	1.11	0.88–1.39
2013	617	70	0.72	0.54–0.94
2014	556	118	1.51	1.20–1.90
2015	664	88	0.86	0.67–1.10
2016	607	96	1.06	0.83–1.35
Location				
A	292	40	0.90	0.62–1.28
B	105	20	1.27	0.74–2.09
C	337	46	0.90	0.64–1.24
D	161	26	1.07	0.67–1.65
E	293	58	1.35	0.98–1.82
F	1217	160	0.82	0.67–1.00
G	199	51	1.77	1.26–2.45
H	760	152	1.44	1.17–1.77
I	458	23	0.31	0.19–0.47
Total	3.822	576		

We could not differentiate locals from tourists, which could imply a different prevention strategy, but previous studies along southwestern coast of France reported a majority of non-locals but few foreigners (Castelle et al., 2018). Nevertheless, other studies suggest a higher risk of drowning among non-residents (Williamson, 2006). Severity of drowning was correlated with age in stages 1 to 4, but not for the severe stages 5 and 6, which is consistent with other studies (Dyson et al., 2013; Quan et al., 2014; Morgan & Ozanne-Smith, 2013; Suominen et al., 2002). Our data did not allow studying predictive factors of outcome.

The total number of beachgoers and bathers is unknown, thus precluding estimating the actual exposure. To compensate for this lack of denominator data, Gensini et al. suggested using the number of deaths by 100-km segments of coastline (Gensini & Ashley, 2010). Dividing the US coastline in 100-km segments to examine rip-current fatalities, they found the highest risk in eastern Florida, with 46 fatalities in 14 years for 100 km. This gives a normalized yearly rate of 3.3 deaths/100 km. In our study, the normalized death year ratio in Gironde

would be 3.2 deaths/100 km, showing a risk equivalent to the highest observed in the U.S.A. Further studies are needed to measure the number of beachgoers and bathers and therefore provide a better denominator to estimate the incidence of drowning.

Most victims were rescues and stage 1, with few medical needs, although they needed lifeguards and, sometimes, helicopter interventions. As drowning occurs quickly, those victims need the same focus of prevention than the others. Missing cases would very likely concern rescues or stage 1. Our study is a first step to collect data from this population. In the absence of adequate exposure estimations, a prevention strategy targeting the whole population and not only the most severe cases, might be more feasible and effective.

Several results can help us orient a possible prevention strategy. Most drownings occurred during high season but, adjusted to the other calls, low seasons and week-days showed more calls for drowning or people rescued from water. This could be due to lifeguards prevention which is a major activity (Koon et al., 2018), or a bias concerning the other calls. On the other hand, hot weather is known to be associated with drowning (Dyson et al., 2013). Therefore, prevention messages should be more reinforced in the absence of lifeguards, and lifeguard presence could be adapted.

Alcohol appeared in very few cases (0.3%), compared to other studies (Szpilman, 1997). This could be a reporting bias, but also explained by the fact that most beaches are in remote areas and are unlikely to be frequented after sunset.

The number of calls is an indirect measure of the denominator, but further work is needed to ensure the comparisons between years and seasons. Year 2014, with a higher proportion of calls concerning rescues from water, is an outlier. To our knowledge, there were no difference in lifeguard headcount, nor in safety campaigns, and weather data from MétéoFrance showed normal summer temperatures, except a cold end of August. This difference could be explained by winter storms and spring weather that can fundamentally change the shape of the beach and therefore the occurrence of rip currents (Castelle et al., 2016).

The spatial distribution of drownings along the Gironde surf coast also shows some interesting significant disparities. The higher risk of areas G and H could be due to the proximity with the metropolitan area of Bordeaux, with a higher exposure. Another explanation is the difference of watching conditions between municipalities, as there can be twice as many lifeguards per kilometers of beach in a given area than in another. A missing parameter is the proportion of rescues within the bathing area, but our data show that all deaths occurred outside these watched areas.

Geographic disparities are a supplementary strong argument for rip current hazards: area I, less exposed to waves, had the lowest incidence of rescue from water among calls. This could not be explained by difference in beach access (it is near a city) neither by the amount of lifeguards (comparable to area H). As rip currents are driven by wave and tide conditions (Castelle et al., 2016; Bruneau & Castelle, 2009), a future study is needed to explore the link between rescues and environmental parameters.

### Conclusion

This observational study in an area with specific hazards identified the demographics of drowning victims and led to the development of a specific questionnaire to improve reporting. This study revealed notable differences with national data and suggests that drownings along coastline must be studied at a local scale. The studied area is at high-risk of rip-related drowning and there is a need to identify days at risk using meteorological, wave and tide parameters. Such a study could lead to a prevention tool for lifeguards and emergency managers.

### Abbreviations

CDC: Center for Disease Control; CI: Confidence Interval; OR: Odds Ratio; SAMU: Service d'Aide Médicale Urgente (emergency medical service); WHO: World Health Organization

### Acknowledgements

None.

### Funding

None.

### Availability of data and materials

The datasets generated and/or analyzed during the current study are not publicly available due to restriction from the French National Committee for the Protection of Data Privacy, but are available from the corresponding author on reasonable request.

### Authors' contributions

ET and BS collected data, ET analyzed data, MB and CGJ provided statistical advice. LRS supervised the findings of this work. ET wrote the manuscript with support of CGJ, LRS and BC and all authors contributed substantially to its revision. All authors take responsibility for the paper as a whole. All authors read and approved the final manuscript.

### Ethics approval and consent to participate

Data collection was declared to the French National Committee for the Protection of Data Privacy (CNIL, Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés), with restriction to publish aggregated data. As a retrospective observational study design, no authorization from an ethic committee was needed according to French law.

### Consent for publication

Not applicable.

### Competing interests

ET, BS, MB, BC, CGJ and LRS report no competing interest.

### Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

### Author details

<sup>1</sup>INSERM, ISPED, Bordeaux, France. <sup>2</sup>Univ. Bordeaux, ISPED, Bordeaux, France. <sup>3</sup>CHU Bordeaux, Pôle Urgences Adultes-SAMU-SMUR, place Amélie Raba-Léon, 33076 Bordeaux, CEDEX, France. <sup>4</sup>CNRS, UMR EPOC, Univ. Bordeaux, Bordeaux, France. <sup>5</sup>CHU de Bordeaux, Pôle de Pédiatrie, 33076 Bordeaux, France. <sup>6</sup>CHU de Bordeaux, Pôle de santé publique, Service d'information médicale, 33076 Bordeaux, France.

Received: 22 January 2019 Accepted: 25 March 2019

Published online: 13 May 2019

### References

- Bierens J. Handbook on Drowning. In: JJLM B, editor. Berlin Heidelberg: Springer-Verlags; 2006. p. 714.
- Bruneau N, Castelle B. Field observations of an evolving rip current on a meso-macrotidal well-developed inner bar and rip morphology. *Cont Shelf Res.* 2009;29:1650–62.
- Castelle B, Bonneton P, Dupuis H, Sénéchal N. Double bar beach dynamics on the high-energy meso-macrotidal French Aquitanian coast: a review. *Mar Geol.* 2007;245(1–4):141–59.
- Castelle B, Brander R, Tellier E, Simonnet B, Scott T, McCarroll J, et al. Surf zone hazards and injuries on beaches in SW France. *Nat Hazards.* 2018;93(3):1317–35.
- Castelle B, Scott T, Brander RW, McCarroll RJ. Rip current types, circulation and hazard. *Earth-Sci Rev.* 2016;163:1–21.
- Claesson A, Lindqvist J, Herlitz J. Cardiac arrest due to drowning—changes over time and factors of importance for survival. *Resuscitation.* 2014;85(5):644–8.
- Claesson A, Lindqvist J, Ortenwall P, Herlitz J. Characteristics of lifesaving from drowning as reported by the Swedish fire and rescue services 1996–2010. *Resuscitation.* 2012;83(9):1072–7.
- Clemens T, Tamim H, Rotondi M, Macpherson AK. A population based study of drowning in Canada. *BMC Public Health* 2016 Jul;16:559.
- Dicker D, Nguyen G, Abate D, Abate KH, Abay SM, Abbafati C, et al. Global, regional, and national age-sex-specific mortality and life expectancy, 1950–2017: a systematic analysis for the global burden of disease study 2017. *Lancet.* 2018;392(10159):1684–735.
- Doll LS, Bonzo SE, Sleet DA, Mercy JA, editors. Handbook of Injury and Violence Prevention [Internet]. Boston, MA: Springer US; 2007 [cited 2019 Mar 5]. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/b136518>.
- Dyson K, Morgans A, Bray J, Matthews B, Smith K. Drowning related out-of-hospital cardiac arrests: characteristics and outcomes. *Resuscitation.* 2013;84(8):1114–8.
- Gensini VA, Ashley WS. An examination of rip current fatalities in the United States. *Nat Hazards.* 2010;54:159–75.
- Harada SY, Goto RS, Nathanson AT. Analysis of lifeguard-recorded data at Hanauma Bay, Hawaii. *Wilderness Environ Med.* 2011;22(1):72–6.
- Harrell FE. rms: Regression Modeling Strategies [Internet]. 2014. Available from: <http://CRAN.R-project.org/package=rms>.
- Harrell , FE. Regression Modeling Strategies [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2015 [cited 2019 Feb 1]. (Springer Series in Statistics). Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-19425-7>.
- Hatfield J, Williamson A, Sherker S, Brander R, Hayden A. Development and evaluation of an intervention to reduce rip current related beach drowning. *Accid Anal Prev.* 2012;46(0):45–51.
- Hothorn T, Hornik K, van de WMA, Zeileis A. Implementing a class of permutation tests: the coin package. *J Stat Softw.* 2008;28(8):1–23.
- Idris AH, Berg RA, Bierens J, Bossaert L, Branche CM, Gabrielli A, et al. Recommended guidelines for uniform reporting of data from drowning: the "Utstein style". *Circulation.* 2003;108:2565–74.
- Koon W, Rowhani-Rahbar A, Quan L. The ocean lifeguard drowning prevention paradigm: how and where do lifeguards intervene in the drowning process? *Inj Prev.* 2018;24(4):296–9.
- Lasbeur L, Szego-Zguem E, Thélot B. Surveillance épidémiologique des noyades - Enquête NOYADES 2015. 1er juin - 30 Septembre 2015 [Internet]. Saint-Maurice : Santé publique France; 2016. Available from: [www.santepubliquefrance.fr](http://www.santepubliquefrance.fr)
- Lasbeur L, Thélot B. Surveillance épidémiologique des noyades - Enquête NOYADES 2012. 1er juin - 30 septembre 2012. Saint-Maurice: Institut de veille sanitaire; 2013.
- Morgan D, Ozanne-Smith J. Surf lifeguard rescues. *Wilderness Environ Med.* 2013;24(3):285–90.

- Morgan D, Ozanne-Smith J, Triggs T. Descriptive epidemiology of drowning deaths in a surf beach swimmer and surfer population. *Inj Prev*. 2008;14:62–5.
- Murcott O. Intérêt de la mise en place au SAMU 33 d'une régulation estivale spécifique pour les urgences sur les plages [Unpublished medical thesis]. [Angers, France]: Université d'Angers; 2003.
- Quan L, Mack CD, Schiff MA. Association of water temperature and submersion duration and drowning outcome. *Resuscitation*. 2014;85(6):790–4.
- R Core Team. R: a language and environment for statistical computing [internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2017. Available from: <https://www.R-project.org/>
- Salomez F, Vincent J-L. Drowning: a review of epidemiology, pathophysiology, treatment and prevention. *Resuscitation*. 2004;63(3):261–8.
- Sherker S, Williamson A, Hatfield J, Brander R, Hayen A. Beachgoers' beliefs and behaviours in relation to beach flags and rip currents. *Accid Anal Prev*. 2010;42(6):1785–804.
- Suominen P, Baillie C, Korpela R, Rautanen S, Ranta S, Olkkola KT. Impact of age, submersion time and water temperature on outcome in near-drowning. *Resuscitation*. 2002;52(3):247–54.
- Szpilman D. Near-drowning and drowning classification: a proposal to stratify mortality based on the analysis of 1,831 cases. *Chest*. 1997;112(3):660–5.
- Szpilman D, Bierens JJLM, Handley AJ, Orlowski JP. Drowning. *N Engl J Med*. 2012;366(22):2102–10.
- Szpilman D, Webber J, Quan L, Bierens J, Morizot-Leite L, Langendorfer SJ, et al. Creating a drowning chain of survival. *Resuscitation*. 2014;85(9):1149–52.
- van BE, Branche CM, Szpilman D, Modell JH, Bierens J. A new definition of drowning: towards documentation and prevention of global public health problem. *Bull World Health Organ*. 2005;83(11):801–80.
- Venema AM, Groothoff JW, Bierens JJLM. The role of bystanders during rescue and resuscitation of drowning victims. *Resuscitation*. 2010;81(4):434–9.
- Williamson A. Feasibility study of a water safety data collection for beaches. *J Sci Med Sport*. 2006;9(3):243–8.
- World Health Organization. Global report on drowning: preventing a leading killer [internet]: World Health Organization; 2014. Available from: [http://www.who.int/entity/violence\\_injury\\_prevention/global\\_report\\_drowning/en/index.html](http://www.who.int/entity/violence_injury_prevention/global_report_drowning/en/index.html)
- World Health Organization, editor. Preventing drowning: an implementation guide. Geneva: World Health Organization; 2017. p. 105.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more [biomedcentral.com/submissions](https://biomedcentral.com/submissions)



## 2.2.2 Résultats complémentaires

Les données présentées ci-dessus ont permis de décrire la population victime de noyade sur le littoral océanique girondin, en détaillant notamment la gravité. Il m'a semblé intéressant d'étudier quels pouvaient être les déterminants de la gravité de la noyade lorsque la personne est prise dans un courant.

À partir des données présentées ci-dessus, j'ai donc mené une modélisation du stade de gravité en fonction des autres variables d'étude (age, sexe, saison) en rajoutant les données de l'année 2017. Les noyades liées aux vagues de bord ont été écartées pour assurer une certaine homogénéité de la population étudiée.

### 2.2.2.1 Méthodes statistiques

Les stades 2, 3 et 4, ainsi que les stades 5 et 6 ont été regroupés pour avoir un minimum de sujets par groupe. Les facteurs prédictifs suivants ont été étudiés : âge, sexe, saisonnalité. La possibilité d'un tel modèle a été analysée de manière graphique.

L'hypothèse de proportionnalité des risques n'étant pas vérifiée, un modèle de ratios de continuation avec risques non proportionnels a été utilisé. Un tel modèle est adapté pour décrire des variables ordinales, où les stades sont franchis les uns après les autres (Agresti 2010; Cole 2001).

Il s'agit en réalité de déterminer plusieurs régressions logistiques et des seuils de transition. Ainsi, pour une réponse ordinaire  $Y$  et un vecteur de covariables  $\mathbf{x}$  on a le modèle 2.1. Les  $y_j$  sont les valeurs seuils déterminant les  $k$  stades, les  $\alpha_j$  sont les ordonnées à l'origine et  $\beta_j$  les logarithmes des rapports de cotes, qui peuvent dépendre du stade (du fait de risques non proportionnels).

$$\log \left( \frac{Pr(Y = y_j | \mathbf{x})}{Pr(Y \geq y_j | \mathbf{x})} \right) = \alpha_j + \mathbf{x}'\beta_j, \quad j = 1, 2, \dots, k \quad (2.1)$$

L'analyse a été faite sous R (R Core Team 2017). Les paquets rms (Harrell 2015) et VGAM (Yee 2010) ont été utilisés pour la modélisation. L'adéquation des modèles a été étudiée à l'aide du score de Brier et de l'aire sous la courbe ROC (ASC).

### 2.2.2.2 Résultats

Sur la période 2011-2017, l'étude des appels au SAMU 33 provenant des plages retrouvait 652 victimes de noyades. En excluant les noyades secondaires aux vagues de bord, 593 cas ont été inclus.

Le tableau de répartition de la gravité montrait de discrètes différences entre les saisons (tableau 2.4). Il y avait une plus grande proportion de noyades stades 5 et 6 en basse saison. Le sexe était manquant pour 151 victimes (25,4 %). L'âge n'était pas renseigné dans 173 cas (29,2 %). Une des deux données était manquante pour 175 cas (29,5 %). Les données démographiques manquaient plus souvent en haute saison qu'en basse saison (160/466 contre 13/127).

TABLEAU 2.4 – Répartition de la gravité des noyades non liées aux vagues de bord, selon l'échelle de Szpilman, dans les appels provenant des plages reçus au SAMU 33, durant les années 2011-2017 (N, (%)).

Stade	Saison		Total
	Haute	Basse	
0	289 (62,0)	81 (63,8)	370 (62,4)
1	126 (27,0)	26 (20,5)	152 (25,6)
2-3-4	41 (6,7)	7 (5,6)	38 (6,4)
5-6	20 (4,3)	13 (10,2)	33 (5,6)
Total	466	127	593

L'hypothèse de proportionnalité n'était vérifiée ni pour le sexe ni pour la saison, quelque soit le type de modèle. Il en était de même pour l'âge.

L'analyse univariée ne mettait pas de lien en évidence entre la gravité des noyades et la saison ( $p = 0,058$ ). Le sexe n'était pas retrouvé non plus comme un facteur explicatif avec cette modélisation ( $p = 0,16$ ).

En analyse univariée, l'âge était retrouvé comme facteur prédictif significatif ( $p = 0,009$ ). La gravité augmentait rapidement au-delà de 20 ans (figure 2.4). Cependant le modèle présente une faible adéquation avec une aire sous la courbe ROC à 0,63.

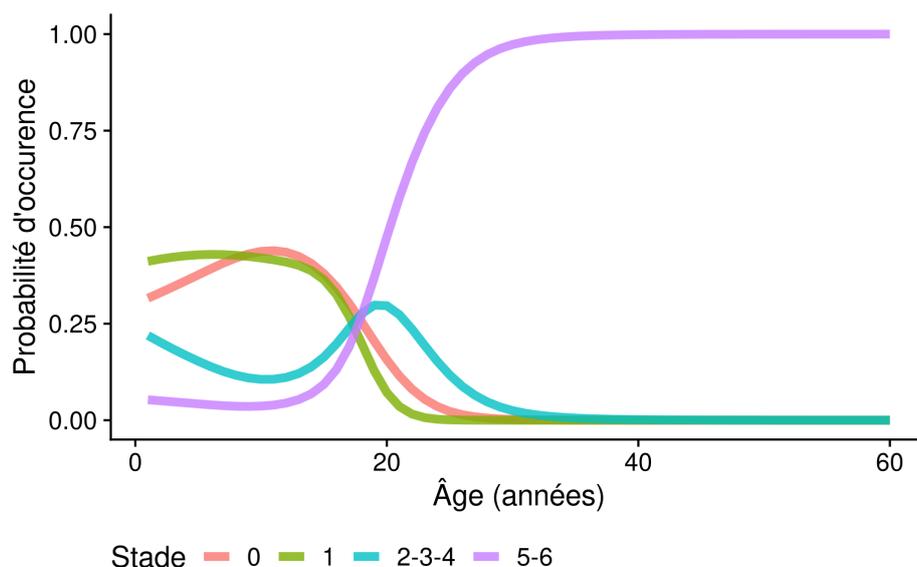


FIGURE 2.4 – Évolution des probabilités d'occurrence des stades de gravité de la noyade en fonction de l'âge, analyse univariée avec un modèle de ratios de continuation, à partir des données 2011–2017,  $N = 420$ .

En analyse multivariée, le sexe n'était pas significativement associé à la gravité. L'âge restait significativement associé au stade de gravité ( $p = 0,005$ ). Ajustée à l'âge, la saisonnalité était associée à la gravité ( $p = 0,006$ ). Il n'y avait pas d'interaction entre ces deux variables. Le modèle final comportant l'âge et la saison n'avait pas une bonne adéquation (ASC = 0,66, Brier = 0,23). Les répartitions de probabilités montrent qu'en haute saison, la proportion de stade 1 est augmentée par rapport à la basse saison, particulièrement chez les moins de 20 ans (figure 2.5).

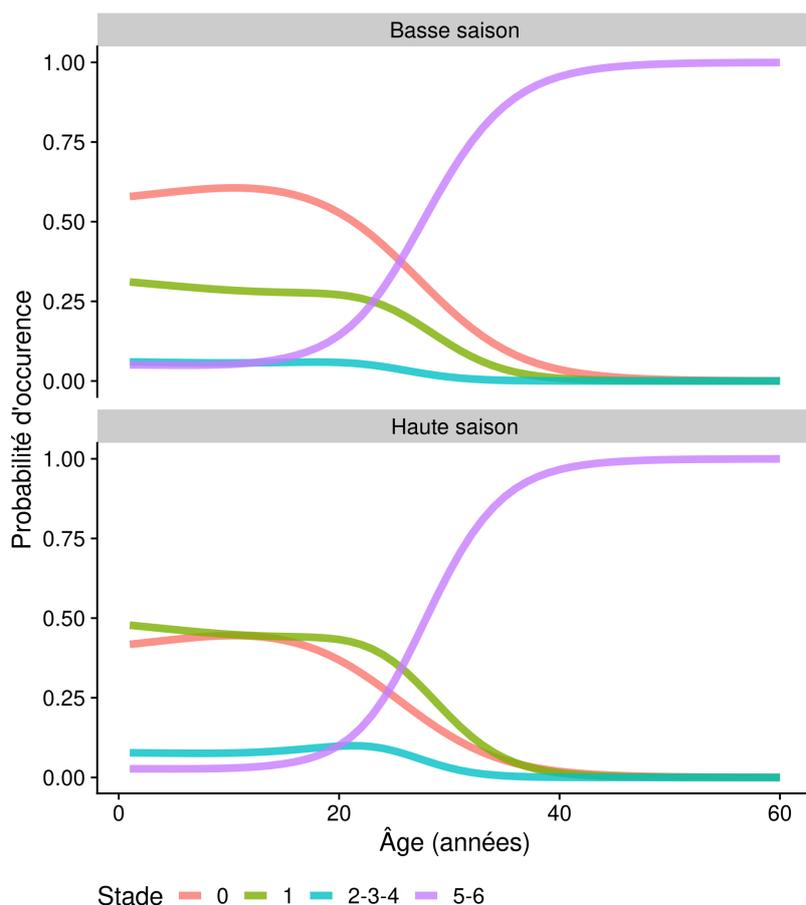


FIGURE 2.5 – Évolution des probabilités d’occurrence des stades de gravité de la noyade en fonction de l’âge et de la saisonnalité, analyse multivariée avec un modèle de ratios de continuation, à partir des données 2011–2017,  $N = 420$ .

### 2.2.2.3 Discussion

Ces résultats souffrent du manque de données démographiques, en particulier en haute saison. L’analyse menée suggère en effet des différences de gravité en fonction de la saison et de l’âge. Mais il y a un potentiel biais de confusion : cette donnée est moins renseignée pour les stades de gravité faibles (0 et 1). Si ces stades concernaient une population particulière, les résultats seraient modifiés. Dans le cas où une majorité de jeunes adultes constituerait ces stades, cela renforcerait les conclusions.

## 2.3 Fardeau des traumatismes liés aux vagues en Gironde

Avec 17,7 % des appels provenant des plages sur la période 2011-2016, les traumatismes liés aux vagues de bord représentaient une partie non négligeable des interventions des MNS sur les côtes girondines (tableau 3 page 5 de l'article antérieur, page 31). Cette proportion est probablement sous-estimée par le défaut d'information lié au recueil de données. Sur les 675 appels enregistrés, 273 (40,4 %) concernaient le rachis. L'épaule était l'articulation la plus atteinte avec 177 appels (26,2 %). L'étude des fiches des CRS montrait que les atteintes rachidiennes et les luxations étaient fréquentes, sans qu'on ait eu plus de détails sur leurs gravités et localisations (Castelle 2018, annexe A).

L'objectif de ce travail était de décrire les traumatismes causés par les vagues de bord sur les plages océaniques girondines de 2011 à 2017, en détaillant la démographie des victimes et les lésions rapportées.

### 2.3.1 Méthodes

Le recueil de données est similaire à celui de la partie précédente, en étudiant tous les appels provenant des plages, passés au CRRA du SAMU 33, du 1<sup>er</sup> janvier 2011 au 31 décembre 2017. Pour chaque appel étaient notés la date, le lieu, le type de traumatisme, la localisation des lésions, l'activité pratiquée si elle était connue, le sexe, l'âge et le devenir (prise en charge sur place ou évacuation et, le cas échéant, la destination). La cause était également relevée si elle était inscrite dans le dossier ; en son absence, la donnée était considérée comme manquante. Ont été exclus les appels ne provenant pas de la zone d'étude, ceux se référant aux entraînements, ceux n'ayant pas de victime, et les doublons.

Les appels pour transports secondaires correspondants aux victimes de traumatisme du rachis ont été recherchés dans la base de données appliSAMU des appels, pour ne pas méconnaître des lésions graves qui n'auraient pas été orientées initialement vers le CHU. Le devenir de tous ces patients a été recueilli à partir du dossier médical du CHU de Bordeaux.

Dans un premier temps, la population victime de traumatismes explicitement imputés aux vagues de bord a été décrite selon le sexe, l'âge et la localisation et le type de lésions. Le bilan lésionnel était soit décrit directement dans l'observation, soit déduit de la symptomatologie. Dans le cas de victimes ne bénéficiant pas de bilan médical sur place, la typologie des lésions était le résultat d'une évaluation secouriste interprétée par un médecin régulateur. Une entorse était suspectée lorsqu'était renseignée une douleur latéralisée ou un mécanisme de torsion, suivi d'une difficulté à la marche ou l'apparition d'un hématome. Une lésion était considérée comme une luxation si le mot ou un dérivé figurait dans le dossier.

Pour une partie notable des traumatismes, le mécanisme causal était manquant et nous avons fait une imputation de données, en y associant les autres données. Nous avons fait l'hypothèse que le mécanisme était manquant aléatoirement, c'est-à-dire que cette donnée manquait autant dans le cas d'un traumatisme lié aux vagues de bord que dans le cas contraire, à covariables égales. Nous avons introduit une donnée supplémentaire : le nombre d'appels liés aux vagues de bord dans les deux heures autour de l'appel considéré.

Deux scénarios d'imputation ont été étudiés, selon qu'on incluait ou non l'activité pratiquée comme facteur associé à un traumatisme lié à une vague de bord. En effet, l'activité pratiquée avait également d'une forte proportion de données manquantes. Les jours à risque d'appel pour traumatisme lié au vague de bord ont été étudiés, avant et après imputation, en calculant les rapports de cotes ( $\widehat{RC}$ ) et leurs intervalles de confiance à 95 % ( $IC_{95}$ ).

Les résultats ont été analysés à l'aide du logiciel R (R Core Team 2017) en utilisant les paquets `coin` (Hothorn 2008) et `rms` (Harrell 2015). L'imputation des données manquantes a été effectuée avec le paquet `mi` (Su 2011; I. White 2010), en utilisant 4 chaînes et 100 itérations. La convergence a été vérifiée visuellement et à l'aide de la statistique  $\hat{R}$ .

### 2.3.2 Résultats

Nous avons étudié les appels concernant 6 497 victimes sur la période 2011-2017. Ont été incluses 5 022 victimes, dont 2 984 (59,4 %) présentaient un traumatisme. Les vagues de bord étaient explicitement mentionnées pour 814 personnes (16,2 % du total) dont 41 victimes de noyades. Parmi celles-ci, 29 ne présentaient aucune lésion mécanique associée. Un traumatisme d'une autre cause identifiée (activité sur la plage, surf...) concernait 1 834 personnes (36,5 %). Enfin, dans 336 cas (6,7 % du total), un traumatisme était rapporté sans que la cause ne soit notée.

Ainsi, les vagues de bord ont été notées comme la cause de 27,2 % (814/2984) des appels au SAMU de la Gironde pour des traumatismes sur les plages. Cependant, 11,3 % (336/2984) des traumatismes n'avaient pas de cause identifiée dans le dossier et pourraient être la conséquence des vagues de bord.

Parmi les traumatismes liés aux vagues de bord, l'âge médian des victimes était de 23 ans (interquartiles : 15–43 ans), avec une moyenne de 29,1 ans. Le sexe était renseigné pour la quasi-totalité des cas, et la majorité étaient des hommes (tableau 2.5). L'âge n'était pas différent selon le sexe ( $p = 0,17$ ).

TABLEAU 2.5 – Caractéristiques de la population victime d'un traumatisme lié aux vagues de bord sur les plages océaniques de Gironde ; appels au SAMU 33, 2011–2017,  $N = 814$ .

Variable	Nombre (%)
Sexe	
Féminin	309 (38,0)
Masculin	500 (61,4)
DM	5 (0,6)
Activité	
Baignade	581 (71,4)
Surf	45 (5,5)
Bodyboard	37 (4,5)
DM	151 (18,6)
Noyade associée	41 (5,0)

DM : données manquantes

La majorité des lésions concernaient le rachis ( $N = 300$ , 36,9 %), principalement cervical ( $N = 194$ , 23,8 %, tableau 2.6). La deuxième lésion la plus fréquente était l'atteinte de l'épaule ( $N = 202$ , 24,8 %). Enfin, le genou était la troisième localisation la plus fréquente ( $N = 115$ , 14,1 %).

TABLEAU 2.6 – Localisation des traumatismes liés aux vagues de bord sur les plages océaniques de Gironde ; appels au SAMU 33, 2011–2017,  $N = 814$ .

Localisation	Nombre	%
Rachis <sup>1</sup>	300	36,8
dont cervical	198	24,3
dorsal	30	3,7
lombaire	64	7,9
non précisé	8	0,9
Membre supérieur	227	27,9
dont épaule	202	24,8
autre	25	3,1
Crâne <sup>1</sup>	20	2,5
Face <sup>1</sup>	36	4,4
Membre inférieur	158	19,4
dont genou	115	14,1
cheville	21	2,6
autre	22	2,7
Autre	19	2,3
DM <sup>2</sup>	61	7,5

<sup>1</sup> certains traumatismes de la face, du crâne et du rachis cervical sont associés

<sup>2</sup> données manquantes ou absence de lésion mécanique associée

Parmi les 729 victimes des vagues de bord dont les données démographiques étaient renseignées, la localisation du traumatisme variait selon l'âge et le sexe (figure 2.6,  $p < 10^{-3}$ ). Les atteintes aux membres inférieurs concernaient principalement des femmes plus âgées que les autres traumatisés. À l'opposé, les personnes atteintes du rachis étaient plus jeunes. Une prédominance masculine se retrouvait dans les atteintes des membres supérieurs et du rachis. Même en excluant les surfeurs et bodyboarders qui comptaient plus de pratiquants masculins ( $N = 70$  dont 46 hommes), cette relation persistait.

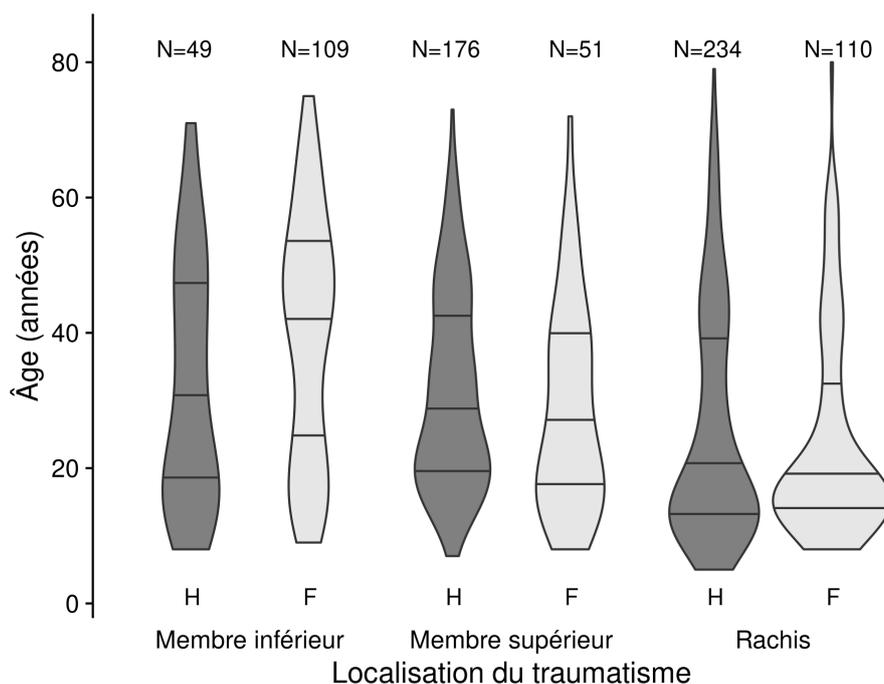


FIGURE 2.6 – Âge et sexe des victimes en fonction de la localisation du traumatisme lié aux vagues de bord sur les plages de Gironde; appels au SAMU 33, 2011 – 2017,  $N = 729$ . La largeur du trait est proportionnelle au nombre d’individus dans le groupe pour un âge donné, les segments horizontaux représentent la médiane et les quartiles.

La principale activité pratiquée était la baignade (71,4%). Cependant, cette information était manquante dans 18,6 % des cas. La répartition des activités était différente selon qu’il s’agissait d’un traumatisme rachidien ou non (tableau 2.7).

TABLEAU 2.7 – Activité pratiquée par les victimes de traumatisme lié aux vagues de bords, selon la localisation rachidienne ou non; appels au SAMU 33, 2011–2017,  $N = 814$ .

Activité	Rachis		Autres	
	N	(%)	N	(%)
Baignade	201	(67,0)	380	(73,9)
Surf	27	(9,0)	18	(3,5)
Bodyboard	22	(7,3)	15	(2,9)
Inconnue	50	(16,7)	101	(19,6)

### Traumatismes rachidiens

Dans plus d'un tiers des cas, les traumatismes liés aux vagues répertoriés concernaient le rachis. La proportion de surfeurs et de bodyboarders y était plus importante que dans les autres atteintes (tableau 2.7). En comparant les traumatisés du rachis par rapport aux autres traumatismes liés aux vagues de bord, on observait une plus grande proportion d'enfants et jeunes adultes, avec des variations selon le sexe (figure 2.7).

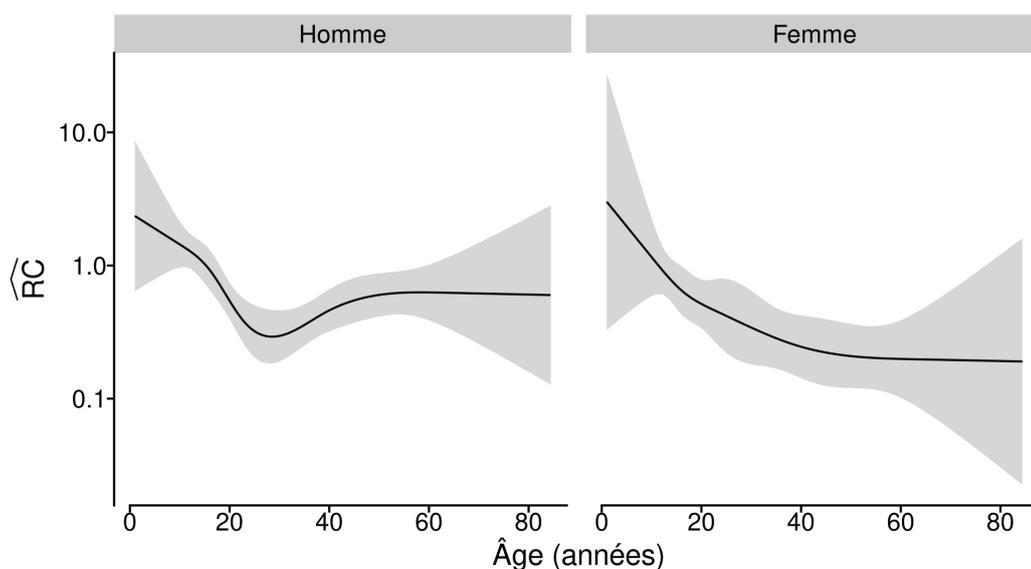


FIGURE 2.7 – Évolution du rapport de cotes ( $\widehat{RC}$ ) des traumatismes liés aux vagues de bord impactant le rachis par rapport aux autres localisations, chez les baigneurs, en fonction de l'âge et du sexe. La zone grisée correspond à l'intervalle de confiance à 95 % de l'estimation. Appels au SAMU 33, 2011–2017,  $N = 814$ .

Parmi les traumatisés du rachis, la localisation (cervicale, dorsale ou lombaire) ne dépendait ni de l'âge ni du sexe (figure 2.8,  $p = 0,3$ ). L'effectif de certains sous-groupes était cependant faible, le plus restreint ne comprenant que 7 cas.

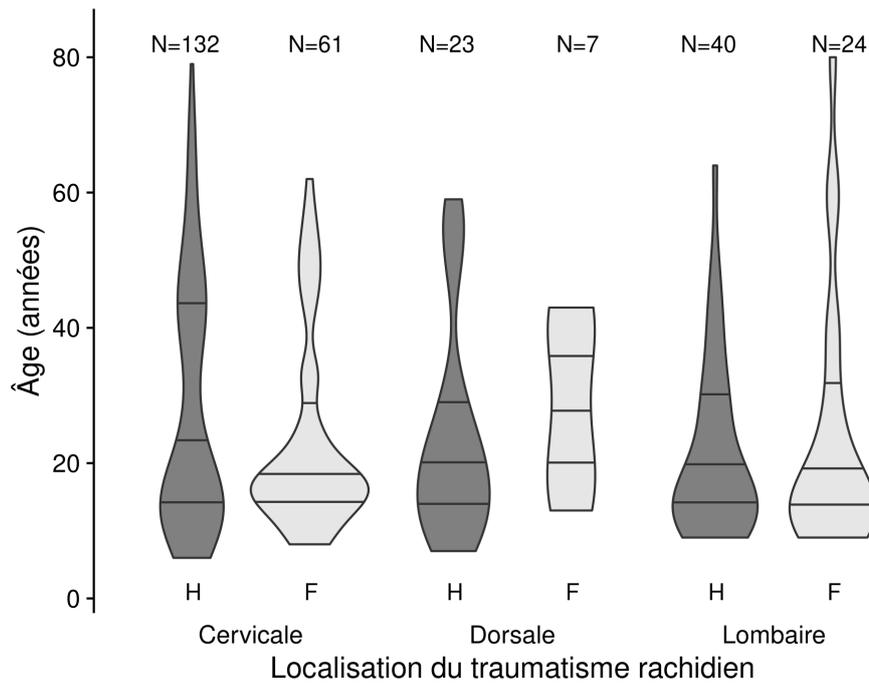


FIGURE 2.8 – Âge des victimes en fonction de la localisation du traumatisme rachidien lié aux vagues de bord sur les plages océaniques de Gironde ; appels au SAMU 33, 2011 – 2017,  $N = 729$ . La largeur du trait est proportionnelle au nombre d'individus dans le groupe pour un âge et sexe donnés. Les segments horizontaux représentent la médiane et les quartiles du groupe.

Parmi les traumatisés du rachis, 42 ont été évacués directement vers le CHU de Bordeaux. Aucun transfert secondaire n'a été retrouvé et huit orientations étaient manquantes. Huit cas peuvent être considérés comme graves :

- 2 patients ont eu un arrêt cardio-respiratoire secondaire au traumatisme, dont 1 a été réanimé, sans séquelle à l'issue de l'hospitalisation ;
- 2 patients restaient séquellaires :
  - 1 tétraplégique avec un niveau C5-C6 ;
  - 1 patient connu pour canal cervical étroit, initialement tétraplégique, séquelle de paraplégie T4 ;
- 3 patients ont eu un déficit temporaire, dont 2 avec lésions visualisées à l'IRM médullaire, sans séquelle motrice.

### **Autres localisations**

Avec 202 cas, les lésions de l'épaule étaient les traumatismes les plus fréquents hors rachis. Les secouristes ont identifié une luxation dans 148 cas, soit 73,3 % des lésions de l'épaule. L'activité pratiquée était principalement la baignade ( $N = 106$ ), puis le surf ( $N = 5$ ) et le bodyboard ( $N = 4$ ). Cette information était manquante pour 33 personnes. Dans 15 cas (10 %) était noté un antécédent de luxation d'épaule, cette donnée étant indisponible pour 112 cas (76 %).

Les traumatismes du genou étaient dominés par les suspicions d'entorse (56 %). Dans la majorité des autres cas, les atteintes n'étaient pas suffisamment détaillées pour permettre d'évoquer un diagnostic. Parmi les cas restants, six luxations de la rotule et une suspicion de fracture de la jambe ont été rapportées.

Dans 27 cas de traumatismes liés aux vagues de bord on retrouvait la notion de collision avec un autre baigneur. Seul un cas rapporté impliquait un surfeur et un baigneur. Enfin, six surfeurs ont été victimes d'un traumatisme avec leur propre planche, secondairement aux vagues de bord.

### **Données manquantes et imputations**

Pour l'imputation, les cas sans lésion traumatique renseignée ont été exclus ( $N = 45$ ). Les données manquantes parmi les traumatismes concernaient essentiellement l'activité pratiquée ( $N = 752$ ) puis la cause ( $N = 336$ ). Dans 227 cas, ces deux données étaient deux manquantes (tableau 2.8).

La convergence était obtenue de manière cohérente pour toutes les chaînes, dans les deux scénarios ( $\hat{R} < 1,1$ ). Dans le premier scénario, prenant en compte l'activité pratiquée, 158 (47,0 %) des 336 cas dont la cause du traumatisme n'était pas renseignée ont été imputés aux vagues de bord. Dans le deuxième scénario, omettant l'information de l'activité pratiquée, 162 cas (48,2 %) ont été imputés aux vagues de bord. Il n'y avait pas de différence entre les résultats des deux imputations. Par la suite, les résultats utilisés sont ceux du premier scénario.

TABLEAU 2.8 – Données manquantes parmi les traumatismes sur les plages océaniques de Gironde; appels au SAMU 33, 2011–2017, N = 2 939.

Nombre de cas	Sexe	Âge	Lésion		Activité pratiquée	Donnée manquante			
			localisation	type / mécanisme					
1925						0			
386						1			
94						1			
227						2			
82						1			
96						2			
5						2			
4						3			
61						1			
27						2			
1						3			
2						2			
3						3			
9						1			
2						3			
1						2			
1						3			
1						4			
4						1			
3						2			
2						3			
1						4			
1						3			
1						5			
			12	22	99	192	336	752	1 413

**Jours à risque**

La quasi-totalité des traumatismes liés aux vagues de bord a eu lieu durant la haute saison (15 juin–15 septembre). En ajustant par rapport aux autres appels concernant un traumatisme, le rapport de cotes est 2,49 [1,75–3,62] (tableau 2.9). L'imputation de données modifiait légèrement le type de jour à risque.

TABLEAU 2.9 – Caractéristiques des appels secondaires à un traumatisme provenant des plages, selon le mécanisme lésionnel (vague de bord, autre, ou inconnu), avec les rapports de cotes estimés ( $\widehat{RC}$ ) et intervalles de confiance à 95 % ( $IC_{95}$ ), sans ou avec imputation des données manquantes ; appels au SAMU 33, 2011–2017,  $N = 2985$ .

	Mécanisme			Sans imputation		Avec imputation	
	VDB <sup>1</sup>	Autre	Inconnu	$\widehat{RC}$	$IC_{95}$	$\widehat{RC}$	$IC_{95}$
Type de jour							
Vacances	2	28	3	0,16	0,02–0,63	0,08	0,01–0,45
Semaine	14	58	6	0,54	0,27–0,98	0,58	0,32–1,03
Week-end	24	123	9	0,42	0,26–0,67	0,35	0,21–0,56
Haute saison	774	1 625	318	2,49	1,75–3,62	2,77	1,95–4,02
Année							
2011	128	288	70	1,00	0,79–1,26	1,09	0,88–1,35
2012	147	309	59	1,09	0,87–1,36	1,17	0,95–1,43
2013	100	287	49	0,76	0,59–0,97	0,78	0,62–0,99
2014	87	294	24	0,63	0,49–0,81	0,63	0,49–0,81
2015	151	234	35	1,55	1,23–1,95	1,52	1,21–1,89
2016	92	236	23	0,86	0,67–1,12	0,81	0,62–1,05
2017	109	186	76	1,37	1,05–1,78	1,14	0,89–1,45
Total	814	1 834	336				

<sup>1</sup> Vagues de bord

Les vacances en basse saison étaient dans tous les cas à faible risque ( $\widehat{RC}$  0,16 [0,02–0,63]). Les jours de semaine hors saison étaient plutôt à risque faible qu'un appel pour traumatisme soit lié à une vague de bord avant imputation ( $\widehat{RC}$  0,54 [0,27–0,98]). Après imputation, le risque devenait similaire aux autres jours ( $\widehat{RC}$  0,58 [0,32–1,03]).

Le risque variait également selon l'année : 2013 et 2014 se démarquaient avec un risque significativement plus faible, tandis que les années 2015 et 2017 retrouvaient plus d'appels de traumatisme impliquant les vagues de bord. L'année 2017, qui avant imputation présentait plus de risque que les autres ( $\widehat{RC}$  1,37 [1,05–1,78]), revenait dans la moyenne ( $\widehat{RC}$  1,14 [0,89–1,45]). Avant et après imputations, durant les années 2012 et 2013, les appels pour traumatismes provenant des plages étaient moins liés aux vagues de bord que les autres années ( $\widehat{RC}$  0,78 [0,62–0,99] et 0,63 [0,49–0,81] respectivement).

Sur 698 jours avec au moins un traumatisme recensé, 338 jours (48,4 %) avaient au moins un traumatisme lié aux vagues de bord. Plus de la moitié (64,4 %) des traumatismes liés aux

vagues de bord se concentraient sur 15 % des jours, et seuls 21,6 % étaient isolés pour un jour donné (tableau 2.10).

TABLEAU 2.10 – Distribution du nombre de traumatismes imputés aux vagues de bord parmi les jours avec au moins un appel pour traumatisme ; appels au SAMU 33, 2011–2017,  $N = 814$ .

	Nombre de traumatismes liés aux vagues de bord par jour														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15
N jours	360	176	57	43	17	15	8	7	4	3	3	1	2	1	1
N trauma	NA <sup>1</sup>	176	114	129	68	75	48	49	32	27	30	11	26	14	15
% trauma	NA <sup>1</sup>	21,6	14,0	15,9	8,4	9,2	5,9	6,0	3,9	3,3	3,7	1,4	3,2	1,7	1,8

<sup>1</sup> NA : non applicable

### 2.3.3 Discussion

Cette étude est, à notre connaissance, la première à décrire toutes les lésions imputables aux vagues de bord durant plusieurs années complètes et consécutives, en tenant compte des périodes non surveillées. Ces données constituent une première étape pour appréhender les risques liés à la baignade sur le littoral océanique, en dehors de la noyade. Des recueils similaires dans d'autres régions permettraient de comparer les populations et les lésions, selon la géographie et les moyens de surveillance.

Comme précédemment, les limites de l'étude sont principalement inhérentes au mode de recueil des données. Si les fiches du SAMU 33 permettent de relever les appels provenant des plages et nécessitant un avis médical, les interventions des MNS n'en nécessitant pas passent inaperçues. En théorie cependant, une exhaustivité des traumatismes du rachis est attendue, car les MNS ont pour consigne d'appeler le 15 de manière systématique dans cette situation (cf. annexe B). Du fait du caractère rétrospectif, le mécanisme lésionnel et la gravité n'étaient pas toujours identifiables.

Les traumatismes du rachis étaient la principale atteinte retrouvée avec une prédominance au niveau cervical, ce qui confirme l'importance accordée à ces lésions par les précédentes études (Chang 2006 ; Robles 2006). Parmi les cas graves de lésions cervicales, on retrouvait un antécédent de lésion cervicale.

Nous avons retrouvé la prédominance masculine d'autres études (Castelle 2018; Chang 2006). La localisation des lésions dépendait fortement de l'âge et du sexe, même en excluant les activités à risques. Il serait intéressant de voir si cela est la conséquence de comportements différents face aux vagues ou de facteurs physiques (taille, poids) en réalisant une étude observationnelle. L'âge et le sexe ne semblaient pas être des facteurs influant la localisation des atteintes du rachis. Ce résultat est cependant limité par les faibles effectifs des groupes.

Si peu de surfeurs et de bodyboarders étaient concernés, ils semblaient être plus à risque d'atteinte du rachis. Malheureusement, notre étude ne permettait pas d'en évaluer la gravité. L'activité était une donnée souvent absente de notre recueil, limitant d'autant plus cette analyse.

Alors que les études existantes se sont focalisées sur les traumatismes du rachis, nous avons mis en évidence des atteintes des épaules, avec un nombre important de luxations suspectées. Les atteintes du genou étaient également fréquentes et des études complémentaires sont nécessaires pour préciser les diagnostics suspectés.

Par rapport aux données initiales, l'imputation des données manquantes a révélé des différences sur les risques selon l'année considérée. Cela souligne, une fois de plus, la nécessité de mieux documenter les mécanismes lésionnels pour pouvoir modéliser les risques. Dans toutes les situations, une variation inter-annuelle est observée.

L'effet saisonnier est probablement dû au fait qu'un traumatisme ayant lieu dans ou à proximité d'une zone surveillée entraîne plus facilement un appel au 15. De ce fait, la part des traumatismes de gravité modérée hors saison est sûrement sous-estimée.

## **2.4 Conclusions**

À travers ces deux études s'intéressant aux noyades et traumatismes liés aux vagues de bord, nous avons pu voir tout le spectre de la traumatologie océane à laquelle les secouristes et les médecins urgentistes sont confrontés en Gironde. Avec 1 425 cas rapportés sur 7 ans, l'incidence annuelle est de 203,6 cas par an. En incluant les données imputées, cela monterait

à 1 586 cas, soit 226,6 cas par an en moyenne. Ces évènements sont principalement concentrés sur 3 mois, de mi-juin à mi-septembre.

Les noyades, si elles sont fréquentes, sont rarement graves. En effet, moins de 8 % nécessitaient une prise en charge pré-hospitalière médicalisée. Une partie non négligeable des noyades survenait en dehors de la haute saison. Enfin, la gravité de la noyade ne saurait être expliquée seulement par l'âge et la saisonnalité.

Les traumatismes du rachis sont fréquents mais, là également, peu sont graves, avec environ un cas par an entraînant un décès ou de graves séquelles. Cependant, les traumatismes du rachis et les luxations d'épaules peuvent entraîner une altération de la qualité de vie. Parmi les appels traités au SAMU 33, la quasi-totalité des traumatismes liés aux vagues de bord survenait durant la période surveillée. Cela peut s'expliquer par un recours plus fréquent au 15 par les MNS pour les traumatismes, mais aussi par le fait que les zones de baignades sont situées là où les vagues de bord sont généralement les plus fortes.

Que ce soit pour les traumatismes liés aux vagues de bord ou les noyades, des effets calendaires ont été mis en évidence (vacances, week-ends). Il y avait également une variation inter-annuelle marquée.

L'exploitation des données issues du CRRA du SAMU 33 a fait ressortir la nécessité d'améliorer le recueil d'information. Plusieurs analyses se sont en effet avérées impossibles par manque de données. Secondairement à ces études, une nouvelle fiche destinée aux MNS a été éditée (cf. annexe B.2). Elle permet de standardiser le recueil de données en Gironde. Elle a été élaborée conjointement avec les MNS et les CRS, en s'appuyant sur les fiches existantes, et en prenant en compte leurs demandes. Outre l'uniformisation, l'objectif est d'améliorer la quantité et la qualité des informations, ce qui permettra de caractériser précisément les traumatismes et les noyades pour des études ultérieures.

## CHAPITRE 3

# Modélisation et prévision des risques

---

### 3.1 Introduction

Le risque de noyade sur le littoral océanique girondin dépend, au moins en partie, des conditions d'exposition et de l'intensité du danger lié aux courants d'arrachement. En supposant que les conditions d'exposition sont liées à des facteurs calendaires et météorologiques, on peut envisager une prévision du risque de noyade liée aux courants. De même, en intégrant les paramètres physiques déterminant l'intensité des vagues de bord, le risque de traumatisme peut être anticipé.

À partir des données médicales du SAMU 33 et des données environnementales, j'ai pu établir un modèle de risque de noyade puis le valider à l'aide de données prévisionnelles. Ce travail a fait l'objet d'un article actuellement en cours de revue pour *PLOS One*. Par la suite, la même méthode a été appliquée pour les traumatismes liés aux vagues de bord. Enfin, j'ai étudié l'influence de la qualité des données sur les modèles prévisionnels.

### 3.2 Prévision du risque de noyade

#### 3.2.1 Article soumis

La version ci-dessous est la version soumise après la première révision, en cours de revue à la date de soutenance, au journal *PLOS One*.

# **Predicting drowning from sea and weather forecasts: development and validation of a model on surf beaches of southwestern France.**

**Authors:** Éric Tellier<sup>\*1,2,3</sup>, Bruno Simonnet<sup>3</sup>, Cédric Gil-Jardiné<sup>1,2,3</sup>, Marion Bailhache<sup>1,2,4</sup>, Bruno Castelle<sup>5</sup>, L. Rachid Salmi<sup>1,2,6</sup>

## **Affiliations:**

1. INSERM, ISPED, Centre INSERM U1219 Bordeaux population health research, F-33000 Bordeaux, France
2. Univ. Bordeaux, ISPED, Centre INSERM U1219 Bordeaux population health research, F-33000 Bordeaux, France
3. CHU de Bordeaux, Pôle Urgences adultes SAMU-SMUR, F-33000 Bordeaux, France
4. CHU de Bordeaux, Pôle de Pédiatrie, F-33000 Bordeaux, France
5. CNRS, UMR EPOC, Université Bordeaux 1, avenue des Facultés, 33405 Talence cedex, France
6. CHU de Bordeaux, Pôle de santé publique, Service d'information médicale, F-33000 Bordeaux, France

**Corresponding author:** Éric Tellier

**Address:** SAMU-SMUR, Centre Hospitalier Universitaire Pellegrin, place Amélie Raba Léon, 33076 Bordeaux CEDEX, France tel.:+33556796102

**e-mail address:** eric.tellier@chu-bordeaux.fr

## **Authors contributions :**

E.T.: conceptualization, methodology, software, validation, formal analysis, investigation, data curation, original draft preparation, review and editing

C.G.-J.: Methodology, original draft preparation, review

M.B.: Methodology, original draft preparation, review

B.C.: Conceptualization, data curation, methodology, review

B.S.: Conceptualization, methodology, data curation, investigation, review.

L.-R. S.: Validation, review

**Competing interests** The authors declare no competing interests.

**Data availability statement:** weather and sea conditions forecasts come from Météo-France, the French National Weather forecaster. Although the detailed data cannot be publicly available, Météo-France can provide it for free, on demand, for research purposes. Sea levels come from the Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), and are available on their website (<https://maree.shom.fr/>). Data concerning the daily model are available on OSF: [https://osf.io/p9u8a/?view\\_only=e552a2bb438e43e1b3ddf1bbd7329aba](https://osf.io/p9u8a/?view_only=e552a2bb438e43e1b3ddf1bbd7329aba)

**Ethical approval:** Data collection was approved by the French national committee protecting data privacy (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés, CNIL), provided that only compiled (anonymized) data would be published. French law states that a retrospective observational study does not require ethics committee authorization.

## **Abstract**

The objective of this study was to predict the risk of drowning along the surf beaches of Gironde, southwestern France.

Data on rescues and drownings were collected from the Medical Emergency Center of Gironde (SAMU 33). Seasonality, holidays, weekends, weather, and sea conditions were considered potentially predictive. Logistic regression models were fitted with data from 2011–2013 and used to predict 2015–2017 events employing weather and ocean forecasts.

Air temperature, wave parameters, seasonality, and holidays were associated with drownings. Prospective validation was performed on 617 days, covering 232 events (rescues and drownings) reported on 104 different days. The area under the curve (AUC) of the daily risk prediction model (combined with 3-day forecasts) was 0.82 [95 % confidence interval (95 % CI) 0.79–0.86]. The AUC of the 3-hour step model was 0.85 (95 % CI 0.81–0.88).

Drowning events along the Gironde surf coast can be anticipated up to 3 days in advance. Preventative messages and rescue preparations could be increased as the forecast risk increased, especially during the off-peak season, when the number of available rescuers is low.

## Introduction

According to the 2017 Global Burden of Disease study, drowning (294,000 fatalities yearly) is a major cause of non-intentional deaths from injury worldwide (Dicker et al. 2018). In France, the national public health agency (Santé Publique France) performs a national study every 3 years, registering all cases of drowning leading to hospitalization or death between June 1 and September 15. In 2015, there were 1,266 drownings in France, with 637 (50.3 %) occurring along the seashore (Lasbeur et al. 2016). In a previous study on the surf beaches of Gironde, southwestern France, 576 people required rescue over 6 years; there were 24 fatalities (Tellier et al. 2019). In terms of the length of the coastline, the annual mean was 3.3 deaths/100 km, a rate comparable to the highest recorded along the US coastline (Gensini et al. 2010).

The Gironde coast is a 126-km-long stretch of sandy beaches exposed to high-energy waves that drive intense, narrow seaward-flowing jets of water termed “rip currents”; these flow through deep channels in sandbars that parallel the shore. In southwest France, rip-current activity normal to the shore increases with increasing wave height and period, lower tide height, and variability in beach morphology (Bruneau et al. 2009). A previous study showed (Castelle et al. 2018) that these currents cause 79 % of drownings. Rip currents are

the leading causes of rescues and drownings off many surf coasts worldwide (Gensini et al. 2010; Kumar et al. 2014; Li 2016; Morgan et al. 2008; Sherker et al. 2010).

Drowning is sudden; prevention is key when the aim is to reduce the incidence of drowning (Bierens 2014; Lunetta et al. 2004; Szpilman et al. 2012). Primary prevention may modify beachgoer behavior (Hatfield et al. 2012). If a drowning appears imminent, a fast response by paramedics (and a medical team if necessary) is essential (Szpilman et al. 2014). Lifeguards can impart preventative messages (Koon et al. 2018), reducing the need for medical attention and cardiopulmonary resuscitation of drowning victims (Szpilman 1997; Venema et al. 2010).

Drowning prevention on the Gironde beaches features patrolled areas, signs at most beach entrances, and leaflets describing the rip current and shore-break hazards. However, the beaches are not patrolled during the entire bathing season, which extends from April to October. Most lifeguard stations are open only in July and August; the locations most frequented by tourists are patrolled from mid-June to mid-September. On weekends in May and June, some areas are watched, depending on local authorities. The mayor is responsible for beach supervision, which is regionally coordinated by the departmental prefect in collaboration with the pre-hospital care department of Bordeaux University Hospital. During high season, rescue helicopters are on standby. On low-season weekends, one helicopter may be on duty, depending on the regional authority. Models predicting the risk of drowning would be useful if they enhanced the preventative measures taken to reduce risk. Predictive models of rip currents have been implemented in Florida, Puerto Rico (Canals et al. 2015), Mexico (Cervantes et al. 2015), India (Kumar et al. 2014), and Great Britain (Austin et al. 2013). These models were based on physics, modeling the occurrence and the speed of rip currents flow. They have been evaluated both retrospectively and in the field using hindcasts. To the best of our knowledge, they have not been prospectively evaluated using forecasts and model predictions have not been compared to actual drownings.

Exposure to a rip hazard increases as the number of swimmers rises. Attendance rises on holidays, weekends, and with increased air temperature and less cloud cover (nebulosity);

the number of bathers reflects air and water temperatures and (possibly) wind speed. As the risk of drowning is a combination of the hazard per se and exposure to it, and as the latter is poorly quantified, we created a model including parameters reflecting exposure to rip currents. We assessed whether drownings off Gironde beaches could be anticipated using a risk prediction model based on forecast weather and ocean conditions.

## Materials and Methods

### Study setting

We performed an observational study along the French Atlantic coastline of Gironde. We first developed a model based on medical emergency calls from beaches, along with weather and sea conditions, in 2011, 2012, and 2013. We evaluated only the bathing season (April to October). We used the model to assess whether weather forecasts accurately predicted events that occurred from April to October in 2015, 2016, and 2017. We used the RiGoR guidelines to address common sources of bias in risk-prediction models, (Kerr et al. 2015) and we adhered to the STROBE statement for observational studies (von Elm et al. 2008).

### Data sources

#### Medical emergency calls

In Gironde, every medical emergency call from a beachgoer or lifeguard is received by a single medical emergency call center (SAMU, *Service d'Aide Médicale d'Urgence*). During each call, a physician records all information given by the caller, paramedics, and (when applicable) pre-hospital care teams. All calls dealing with rescue from water or drowning were included in the data for this study; these were the events of interest. "Rescue" refers to a need for evacuation from the water, and "drowning" refers to respiratory impairment caused by submersion or immersion, as defined by the World Health Organization (van Beeck et al. 2005). We excluded calls lacking victims, training calls, and duplicates. As every instance of

a need for medical advice or a pre-hospital care team triggered a call, we considered that all events of importance would be identified. Information on every call was carefully read to avoid errors. Intentional drownings and drownings associated with known diseases were excluded.

### **Environmental conditions**

Hourly tidal data were modeled by the "Service Hydrographique et Océanographique de la Marine" (SHOM, authorization no. 296/2014) using the Lacanau shore as the reference. Lacanau is located in the approximate center of the study area; according to the SHOM, the maximum tide phase lag over the entire study area is approximately 15 min. Wave conditions were measured every 30 min by the CANDHIS buoy (CEREMA Eau, mer et fleuves - ER/MMH 2014) located at 044°39.150N and 001°26.800W. The wave propagation time from the buoy to the coast is about 1 h. Observed and forecast meteorological and wave conditions were provided by Météo-France, the French national meteorological service. We used data from Cap Ferret; Météo-France claims that these well-represent the weather along the entire Gironde coast. Forecast data were available for up to 3 days and at 3-h steps (7:00 am UTC, 10:00 am, etc.). We recorded sea height, the wave factor (the product of wave height and period), and the wave incidence factor (as defined in Appendix 1). We also recorded wind speed and direction, air and water temperatures, and nebulosity. Other factors influencing beach attendance were the season and type of day. High season was defined as the period from June 15 to September 15, when most lifeguard stations are open. We distinguished between weekdays, weekends, and holidays.

### **Statistical methods**

We fitted two logistic regression models: a "daily model" predicting the overall risk of at least one drowning on a given day, and a "3-h-step model" predicting the risks at different times of the day (9:30 am–12:29 pm, 12:30–3:29 pm, 3:30–6:29 pm, and 6:30–9:30 pm; all local times). Given differences in the data collection modes between the training and validation

periods, we checked data coherence both visually and using the Wilcoxon–Mann–Whitney and Student’s t-tests.

Days for which data were lacking were removed from the analysis. Prospective cohort data (including variable selection) were not used during model development. We transformed the wave parameters (Appendix 1). We categorized non-log-linear quantitative variables; these were first divided into quantiles and then reduced using the Akaike Information Criterion (AIC) in a multivariate context (Mazumdar et al. 2003). Model selection used the AIC to perform interaction checks; we tested all possible models (Heinze et al. 2018). Odds ratios (ORs) with 95 % confidence intervals (CIs) were computed as bootstrap estimates. We checked that residual autocorrelation was absent. Goodness of fit was assessed using the Le Cessie-Van Houwelingen test (Hosmer et al. 1997). Calibration was assessed graphically employing a locally weighted, least-square regression smoother (Harrell 2015) and the Spiegelhalter Z-test. Discriminatory power was assessed using receiver operator characteristic (ROC) curves based in data from each cohort. Fit and validation accuracies were assessed via Brier scoring. The relative importance of the selected predictors was assessed by their partial Wald chi-square statistics minus the predictors’ degree of freedom. The outcomes derived using 1-, 2-, and 3-day forecasts were compared by drawing ROC curves using the DeLong and Venkatraman method for paired data; (DeLong et al. 1988; Robin et al. 2011; Venkatraman 1996), we applied Holm–Bonferroni corrections. We created a five-level risk scale using the quintiles of the fitted probabilities. All analyses employed R software (R Core Team 2017) running the *rms* (Harrell 2015) and *pROC* packages (Robin et al. 2011).

## **Ethics**

Data collection was approved by the French national committee protecting data privacy (Commission Nationale de l’Informatique et des Libertés, CNIL), provided that only compiled (anonymized) data would be published. French law states that a retrospective observational study does not require ethics committee authorization.

## Results

Retrospective data were lacking for 77 days because of a buoy failure, and for 26 prospective days (21 because of data-link loss and 5 because of server unavailability). We analyzed 563 days during 2011–2013; 242 rescues and drownings were reported on 108 different days. In 2015–2017, data were available for 612 days; there were 232 events on 104 different days (Table 3.1). All retrospective and prospective cohort data were consistent, except for wind speed, which differed significantly between prospective and retrospective data, and nebulosity, which was measured by different means over the retrospective and prospective periods. Both were excluded from prospective analyses. The final, predictive, daily risk model included wave and wave angle factors, air temperature, type of day, and season (Table 3.2). The model predicting risk at 3-h steps featured sea height, wave parameters, air temperature, time of day, type of day, and season (Table 3.3). Variation in the daily model was attributable principally to air temperature (proportion of the overall chi-squared value, 40.9%), wave factors (21.7%), and time of day (16.2%) (Figure 3.1). The principal 3-h-step model predictors were air temperature (28.9%), the time of day (17.8%), and wave factors (12.6%) (Figure 3.2). The probability of a daily drowning occurrence according to the final model is given by the following equation, with  $D_f$  the wave angle factor and  $W_f$  the wave factor.

$$\begin{aligned} \widehat{Y} = & -7.83 + 1.65 [T_{air} \in (21 - 23.5)] + 2.91 [T_{air} > 23.5] + 1.14 [\text{highseason}] \\ & - 1.45 [\text{weekday}] + 0.363 [\text{weekend}] + 3.12D_f + 1.86 [W_f \leq 9.2] + 1.96 [W_f > 9.2] \end{aligned}$$

Table 3.1 – Meteorological and wave conditions (medians and quartiles) and the characteristics of days on which rescues and/or drownings occurred along the Gironde coast of southwestern France.

	2011–2013				2015–2017			
	Days without events <sup>a</sup> (n = 455)		Days with events (n = 108)		Days without events (n = 513)		Days with events (n = 104)	
Wave factor <sup>b</sup> , m×s	11.3	5.6–14.6	10.3	6.5–12.9	11.3	5.4–14.4	14.5	8.0–18.0
Wave angle factor <sup>c</sup>	0.80	0.69–0.99	0.89	0.85–0.99	0.80	0.74–0.97	0.88	0.83–0.97
Nebulosity (0–4) <sup>d</sup>	2.8	2.0–3.7						
Air temperature, °C	21.6	19.2–23.9	25.2	23.3–26.6	21.5	19.0–24.0	25.5	23.0–27.0
Water temperature, °C	19.0	17.6–20.9	21.3	20.3–22.5	18.0	16.0–20.0	20.3	20.0–21.0
Wind speed <sup>e</sup> , m/s	7.0	5.3–8.2	6.6	5.3–7.3	4.9	2.7–5.5	4.2	2.7–5.5
Season <sup>f</sup> , n (%)								
High	187	(41.1)	90	(83.3)	199	(38.8)	79	(76.0)
Low	268	(58.9)	18	(16.7)	314	(61.2)	25	(24.0)
Type of day, n (%)								
Weekday	213	(46.8)	18	(16.7)	233	(45.4)	24	(23.1)
Weekend	82	(18.0)	12	(11.1)	88	(17.2)	17	(16.3)
Vacation	160	(35.1)	78	(72.2)	192	(37.4)	63	(60.6)

<sup>a</sup> Events include rescues and drownings.

<sup>b</sup> Wave factor: wave height (m) times wave period (s).

<sup>c</sup> The wave angle factor ranges from 0 to 1; see Appendix 1 for details.

<sup>d</sup> Forecast values not shown because of differences in the modes of data measurement.

<sup>e</sup> Significant differences between observed and forecast data.

<sup>f</sup> High season: June 15 to September 15.

Table 3.2 – Factors associated with daily rescues and drownings along the Gironde coast. Univariate and multivariate analyses performed with the aid of logistic regression models using retrospective data from 2011–2013.

	Crude $\widehat{OR}$	(95% CI)	$\widehat{OR}$	(95% CI)	$\chi^2$
Wave factor <sup>a</sup> , m×s					
< 5.2	Ref.		Ref.		22.8
5.2 – 9.2	3.89	(2.03, 9.81)	6.41	(2.93, 18.3)	
> 9.2	1.96	(1.01, 4.50)	7.10	(3.09, 22.7)	
Wave angle factor <sup>a</sup>	1.83	(1.40, 2.62)	2.27	(1.58, 3.70)	13.2
Nebulosity (0–4) <sup>b,c</sup>	0.52	(0.37, 0.74)	—		
Air temperature <sup>a</sup> , °C					43.0
≤ 21	Ref.		Ref.		
21 – 23.5	6.58	(3.03, 19.2)	4.79	(1.93, 16.6)	
> 23.5	19.10	(9.62, 61.8)	12.20	(4.69, 52.3)	
Water temperature <sup>a</sup> , °C					
≤ 19.5	Ref.		—		
19.5 – 21.3	3.95	(2.13, 9.14)			
> 21.3	13.18	(7.60, 27.0)			
Wind speed <sup>b</sup> , m/s					
≤ 4.3	Ref.		—		
4.3 – 6.3	1.71	(1.00, 3.14)			
> 6.3	0.84	(0.45, 1.66)			
Season					10.4
High	Ref.		Ref.		
Low	5.77	(4.38, 13.5)	3.98	(1.44, 6.11)	
Type of day					17.1
Weekday	Ref.		Ref.		
Weekend	1.73	(0.71, 3.62)	2.96	(1.06, 7.98)	
Vacation	5.77	(3.49, 10.8)	4.25	(2.19, 9.75)	
Note. OR = odds ratio, CI = confidence interval					
<sup>a</sup> Daily maximal value.					
<sup>b</sup> Daily mean value.					
<sup>c</sup> Not incorporated into multivariate analyses because of differences in measurement modes.					

Table 3.3 – Univariate and multivariate analyses performed with the aid of logistic regression models for risk of drowning along the Gironde coast during 3-h periods using retrospective data from 2011–2013.

	Crude OR	(95% CI)	Crude OR	(95% CI)	$\chi^2$
Sea height, m					8.8
≥ 1.5	Ref.		Ref.		8
< 1.5	1.66	(1.12, 2.43)	2.18	(1.33, 3.72)	
Wave factor, m×s					22.1
≤ 4.7	Ref.		Ref.		
4.7 – 8	3.12	(1.78, 6.13)	3.71	(2.00, 8.67)	
> 8	2.14	(1.25, 4.31)	5.44	(2.74, 14.3)	
Wave angle factor <sup>a</sup>	1.98	(1.56, 2.66)	2.18	(1.56, 3.21)	15.9
Air temperature, °C					50.7
≤ 20.5	Ref.		Ref.		
20.5 – 23	7.48	(3.67, 20.6)	5.04	(2.35, 15.1)	
> 23	24.99	(13.9, 66.7)	15.11	(7.76, 48.0)	
Water temperature, °C					
≤ 19	Ref.		–		
> 19	0.15	(0.08, 0.25)			
Interval (local time)					31.3
9:30 am – 12:29 pm	Ref.		Ref.		
12:30 pm – 3:29 pm	3.9	(2.10, 8.64)	2.87	(1.60, 6.69)	
3:30 am – 6:29 pm	5.10	(2.94, 11.8)	5.48	(2.95, 14.0)	
6:30 am – 9:30 pm	1.06	(0.44, 2.58)	1.45	(0.62, 3.95)	
Wind speed, m/s					
≤ 4.3	Ref.		–		
4.3 – 6.3	1.30	(0.87, 2.00)			
> 6.3	0.97	(0.60, 1.54)			
Season					16.6
High	Ref.		Ref.		
Low	8.71	(5.45, 17.2)	3.82	(2.09, 7.47)	
Type of day					17.9
Weekday	Ref.		Ref.		
Weekend	1.90	(0.85, 3.97)	3.17	(1.35, 7.69)	
Vacation	5.74	(3.64, 10.9)	3.62	(2.02, 7.80)	

Note. OR = odds ratio, CI = confidence interval

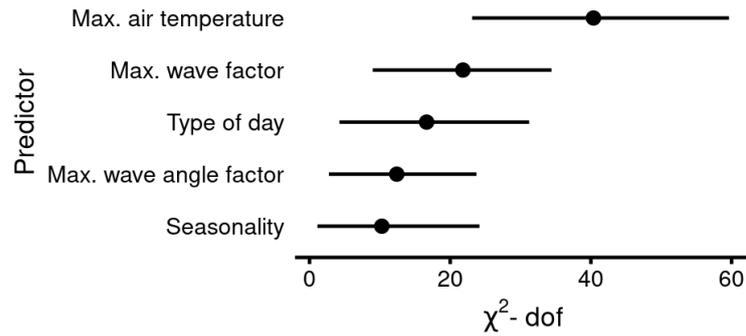


Figure 3.1 – Importance of predictors in daily risk of drowning along Gironde surf beaches. Importance of predictors is assessed using Wald statistics minus two degrees of freedom, with their 95% confidence interval given by bootstrap estimations, multivariate logistic regression model.

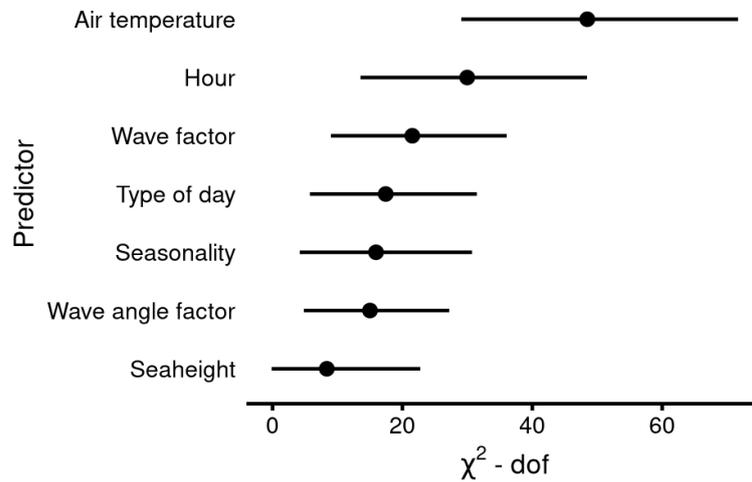


Figure 3.2 – Importance of predictors in risk of drowning along Gironde surf beaches during 3-hour periods. Importance of predictors is assessed using Wald statistics minus two degrees of freedom, their 95% confidence interval given by bootstrap estimations, multivariate logistic regression model.

The daily model had areas under the curves (AUCs) of 0.88 (95 % CI 0.84–0.91) for 2011–2013 and 0.82 (95 % CI 0.78–0.86) for 2015–2017. The 3-h risk model had AUCs of 0.89 (95 % CI 0.87–0.92) for 2011–2013 and 0.85 (95 % CI 0.81–0.88) for 2015–2017 (Figure 3.3). Model outcomes did not differ when forecasts for 1, 2, and 3 days were used ( $p > 0.05$ ). Both models were well calibrated in terms of retrospective data (goodness-of-fit test  $p = 0.20$  for the daily model,  $p = 0.53$  for the 3-h-step model). Both models exhibited significant  $p$ -values on Spiegelhalter Z-testing of prospective data, evidencing a lack of calibration: the

daily model tended to over-predict days with risks of drowning  $>0.5$ ; the 3-h step model over-predicted risks as low as 0.1.

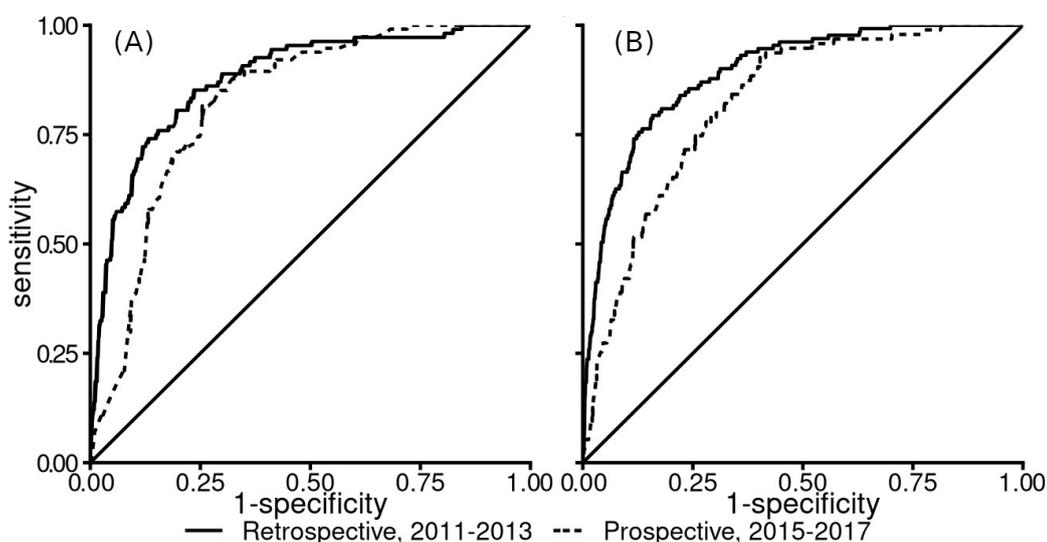


Figure 3.3 – ROC curves of model predicting the risk of drowning along the Gironde surf coast. (A) Daily risk model (B) 3-hour periods risk model. ROC curves for retrospective data (used for model fitting) and prospective data, using 3-days forecasts. (A) Daily risk model : areas under the ROC curves are 0.88 (95% CI 0.84–0.91) for 2011–2013 and 0.82 (95% CI 0.78–0.86) for 2015–2017. (B) 3-hour periods risk model : areas under the ROC curves are 0.89 (95% CI 0.87–0.92) for 2011–2013 and 0.85 (95% CI 0.81–0.88) for 2015–2017.

Using prospective data, we found that assessment of the drowning risk using the five-level scale missed 1 of 158 days featuring a rescue at the lowest risk level (0.6%). The missed case was a rescued male who presented without a cough and was discharged on site. The prospective data predicted 45.8% of days with rescue events at the highest risk level (Table 3.4). Differences between forecasts according to their delay and the risk level were observed (Table 3.5). The 3-h step model missed 2 of 481 rescues, one at the lowest level (0.4%) and one at the highest (15.7%).

The missed case at the lowest risk level in the retrospective cohort occurred during moderate wave conditions (wave factor  $8 \text{ m} \times \text{s}$ ) and at low wave incidence (0.47), but the victim required only rescue, was asymptomatic upon rescue, and was not evacuated. The second missed event occurred at the tip of the Cap Ferret sandspit, which lacks wave-driven rip currents. The last missed event occurred at La Salie Nord, adjacent to (south of) the Arcachon inlet, under moderate wave conditions. The 3-h step model missed two events

Table 3.4 – Observed rescues and drownings by predicted risk level derived using regression models exploiting 3-day forecasts; Gironde, southwestern France.

Risk level	2011 – 2013			2015 – 2017		
	Events <sup>a</sup>	Total	%	Events	Total	%
Daily model <sup>b</sup>						
1	3	113	2.7	1	172	0.6
2	1	112	0.9	8	105	7.1
3	11	113	9.7	15	95	15.8
4	23	112	20.5	23	88	26.1
5	70	113	61.9	66	144	45.8
3-h-step model <sup>c</sup>						
1	0	395	0.0	2	481	0.4
2	3	394	0.8	3	381	0.8
3	6	394	1.5	10	309	3.2
4	19	394	4.8	22	330	6.7
5	103	394	26.1	58	369	15.7

<sup>a</sup> Events: Rescues and drownings.

<sup>b</sup> Goodness of fit:  $p = 0.20$ , calibration test  $p < 0.001$ .  
Brier scores: 0.10 for 2011–2013, 0.12 for 2015–2017.

<sup>c</sup> Goodness of fit:  $p = 0.53$ , calibration test  $p = 0.10$ .  
Brier scores: 0.05 for 2011–2013, 0.05 for 2015–2017.

Table 3.5 – Days with and without events according to the prediction delay and the risk levels. Number of days with an event/number of days without any event, according to the risk level prediction and the delay of forecasts, using daily risk model of drownings along Gironde surf beaches and data of years 2015-2017. An event is a rescue or a drowning.

Observed risk level	Delay	Risk level prediction 3 days in advance				
		1	2	3	4	5
1	1 day	1/140	0/11	0/3	0/1	0/0
	2 days	1/152	0/10	0/2	0/0	0/0
2	1 day	0/21	6/79	2/10	0/3	0/0
	2 days	0/13	7/85	1/4	0/3	0/0
3	1 day	0/8	1/7	5/48	1/6	1/3
	2 days	0/4	1/5	11/53	2/8	0/1
4	1 day	0/0	1/5	3/14	17/39	3/14
	2 days	0/0	0/3	1/16	19/42	4/6
5	1 day	0/0	0/2	4/3	5/15	60/60
	2 days	0/0	0/1	1/3	2/11	60/70

in the prospective cohort, both in September 2017, and both occurring under strong wave conditions (wave factor  $>15 \text{ m} \times \text{s}$ ). One was a surfer; the activity pursued by the other victim was not recorded. Both cases were minor and were treated in the local hospital.

## Discussion

This study is the first to analyze the association of forecast sea and weather conditions with drowning risk. Air temperature, wave angle, and the wave factor were the primary environmental predictors; the type of day and the season were also significant, but less important, predictors. Given the availability of extensive physical data on rip currents, we were able to build a tool that accurately predicted drowning risk.

Warm weather increases sea exposure and therefore the risk of drowning, consistent with other studies (Clemens et al. 2016; Fralick et al. 2013). Wave parameters influencing rip current flow velocity were significant predictors of drowning, consistent with the results of physical models (Austin et al. 2013). As the wind parameters differed between the retrospective and prospective periods, we could not use these parameters, although they might have further improved the models. Nebulosity was measured differently during the two periods and thus could not be incorporated into the models. Although univariate analysis showed that nebulosity was a significant predictor of drowning, it is strongly correlated with air temperature. Future models should integrate predicted rather than observed measures. Parameters such as nebulosity could be therefore studied.

Our models tend to overestimate the risk on days associated with moderate to high risks; some variables may thus be unknown, related to the beach morphology and the beach attendance. First, the summer beach morphology along the Gironde coast is very variable; beach slopes and channel depths differ markedly, and the rip current hazard changes from one summer to the next. Moreover, drownings are certainly under-reported to the Emergency Call Center; reporting rates may vary over time. We could not directly estimate exposure, as beach attendance is not measured in Gironde. Turning to the missed events, two occurred in sectors adjacent to the Arcachon lagoon inlet, where local, strong tide-driven currents

develop at low tide, constituting a major hazard. We hypothesize that the missed events were attributable to these currents. This highlights the need to carefully target preventative messages; the primary hazards vary locally.

Use of the 1-, 2-, and 3-day forecasts yielded similar results; this will aid in the efficient deployment of lifeguards and rescue equipment. Accurate local forecasts more than 3 days ahead are not available.

How may our findings save lives? The use of a binary scale would trigger many false alarms; thus, we considered that a five-level scale was more appropriate, as such scales are used to predict other risks posed by natural hazards (such as snow avalanches). Our scale should be improved using a risk utility function, which remains to be specifically determined. We concede that our present levels are arbitrary; we must still explore what beachgoers and decision-makers consider to be “low,” “moderate,” or “acceptable” risks. Any message suggested by our models must be consistent with “messages” imparted by beach flags. These flags can be “green” (no or minor hazard, bathing supervised), “yellow” (hazard, bathing supervised) or “red” (major hazard, no bathing allowed). They are determined by lifeguards based on wave conditions, water temperature, and beach attendance, and may vary depending (for example) on lifeguard experience. Unpublished local reports indicate that green and red flags are rarely raised during the high season on the Gironde coast.

We are confident that our model can be adapted to similar beaches with rip currents, but complete generalization of our findings is inappropriate in the absence of more data. Lifeguard knowledge and physical parameters of natural hazards require attention, as our model was built upon lifeguard guesses for beach attendance and physics models of natural hazard. The next steps are forecast validation by lifeguards and automation of feedback; these will allow the model to be continuously improved. As more data become available, other modeling strategies may be appropriate.

## Conclusions

Predicting the need for rescue from water in a hazardous environment is key to reducing the risk of drowning. Our predictive models can be used to efficiently deploy lifeguards and rescue helicopters. An interventional study (performed under real-world conditions) is planned. A utility function reflecting risk perception/acceptance is required. This would allow targeted preventative messages to be broadcast during high-risk periods. The strategy must employ behavioral change theory to reduce the risk to beachgoers. Evaluation requires reliable data from both lifeguard stations and emergency call center files.

## Appendix 1 - Wave angle factor definition

Wave angle factor is defined by :

$$D_f = \cos^4(\theta - 278)$$

With  $\theta$  the mean wave direction (in degrees).  $278^\circ$  is the mean angle of the normal to the coastline of the studied area. Therefore,  $D_f$  range is 0-1 and is maximal when the wave direction is perpendicular to the coast.

## References

- Austin, M., Scott, T., Russell, P., & Masselink, G. (2013). Rip current prediction: development, validation, and evaluation of an operational tool. *Journal of Coastal Research*, 29(2), 283–300. doi:10.2112/JCOASTRES-D-12-00093.1
- Bruneau, N., & Castelle, B. (2009). Field observations of an evolving rip current on a meso-macrotidal well-developed inner bar and rip morphology. *Continental Shelf Research*, 29, 1650–1662. doi:10.1016/j.csr.2009.05.005

- Canals, M., & Morell, J. (2015). A nearshore breaker prediction system for Puerto Rico and the United States Virgin Islands in support of beach safety and drowning prevention. In *OCEANS'15 MTS/IEEE Washington* (pp. 1–10). IEEE.
- Castelle, B., Brander, R., Tellier, E., Simonnet, B., Scott, T., McCarroll, J., ... Lechevrel, P. (2018). Surf zone hazards and injuries on beaches in SW France. *Natural Hazards*, *93*(3), 1317–1335. doi:10.1007/s11069-018-3354-4
- CEREMA Eau, mer et fleuves - ER/MMH. (2014). Candhis (Centre d'Archivage National de Données de Houle In-Situ). Retrieved from <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>
- Cervantes, O., Verduzco-Zapata, G., Botero, C., Olivos-Ortiz, A., Chávez-Comparan, J., & Galicia-Pérez, M. (2015). Determination of risk to users by the spatial and temporal variation of rip currents on the beach of Santiago Bay, Manzanillo, Mexico: Beach hazards and safety strategy as tool for coastal zone management. *Ocean & Coastal Management*, *118*, 205–214. doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.07.009
- Clemens, T., Tamim, H., Rotondi, M., & Macpherson, A. (2016). A population based study of drowning in Canada. *BMC public health*, *16*, 559. doi:10.1186/s12889-016-3221-8
- DeLong, E., DeLong, D., & Clarke-Pearson, D. (1988). Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics*, *44*(3), 837. doi:10.2307/2531595
- Dicker, D., Nguyen, G., Abate, D., Abate, K., Abay, S., Abbafati, C., ... Murray, C. J. L. (2018). Global, regional, and national age-sex-specific mortality and life expectancy, 1950–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, *392*(10159), 1684–1735. doi:10.1016/S0140-6736(18)31891-9
- Fralick, M., Denny, C., & Redelmeier, D. (2013). Drowning and the influence of hot weather. *PLoS One*, *8*(8), e71689. doi:10.1371/journal.pone.0071689
- Gensini, V., & Ashley, W. (2010). An examination of rip current fatalities in the United States. *Natural Hazards*, *54*, 159–175.
- Harrell, F. (2015). *Regression Modeling Strategies*. doi:10.1007/978-3-319-19425-7

- Hatfield, J., Williamson, A., Sherker, S., Brander, R., & Hayen, A. (2012). Development and evaluation of an intervention to reduce rip current related beach drowning. *Accident Analysis & Prevention*, 46(0), 45–51. doi:10.1016/j.aap.2011.10.003
- Heinze, G., Wallisch, C., & Dunkler, D. (2018). Variable selection – A review and recommendations for the practicing statistician. *Biometrical Journal. Biometrische Zeitschrift*, 60(3), 431–449. doi:10.1002/bimj.201700067
- Hosmer, D., Hosmer, T., Le Cessie, S., & Lemeshow, S. (1997). A comparison of goodness-of-fit tests for the logistic regression model. *Statistics in Medicine*, 16(9), 965–980. doi:10.1002/(SICI)1097-0258(19970515)16:9<965::AID-SIM509>3.0.CO;2-O
- Kerr, K., Meisner, A., Thiessen-Philbrook, H., Coca, S., & Parikh, C. (2015). RiGoR: reporting guidelines to address common sources of bias in risk model development. *Biomarker Research*, 3(1). doi:10.1186/s40364-014-0027-7
- Koon, W., Rowhani-Rahbar, A., & Quan, L. (2018). The ocean lifeguard drowning prevention paradigm: how and where do lifeguards intervene in the drowning process? *Injury Prevention*, 24(4), 296–299. doi:10.1136/injuryprev-2017-042468
- Kumar, A., & Prasad, K. (2014). Rip current-related fatalities in India: a new predictive risk scale for forecasting rip currents. *Natural Hazards*, 70(1), 313–335. doi:10.1007/s11069-013-0812-x
- Lasbeur, L., Szego-Zguem, E. & Thélot, B. (2016). *Surveillance épidémiologique des noyades - Enquête NOYADES 2015, 1er juin - 30 septembre 2015*. Santé publique France. Saint-Maurice.
- Li, Z. (2016). Rip current hazards in South China headland beaches. *Ocean & Coastal Management*, 121, 23–32. doi:10.1016/j.ocecoaman.2015.12.005
- Lunetta, P., Modell, J., & Sajantila, A. (2004). What is the incidence and significance of 'dry-lungs' in bodies found in water ? *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 25(4), 291–301. doi:10.1097/01.paf.0000146240.92905.7e
- Mazumdar, M., Smith, A., & Bacik, J. (2003). Methods for categorizing a prognostic variable in a multivariable setting. *Statistics in Medicine*, 22(4), 559–571. doi:10.1002/sim.1333

- Morgan, D., Ozanne-Smith, J., & Triggs, T. (2008). Descriptive epidemiology of drowning deaths in a surf beach swimmer and surfer population. *Injury Prevention*, (14), 62–65.
- R Core Team. (2017). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Robin, X., Turck, N., Hainard, A., Tiberti, N., Lisacek, F., Sanchez, J.-C., & Müller, M. (2011). pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves. *BMC Bioinformatics*, 12(1). doi:10.1186/1471-2105-12-77
- Sherker, S., Williamson, A., Hatfield, J., Brander, R., & Hayen, A. (2010). Beachgoers' beliefs and behaviours in relation to beach flags and rip currents. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1785–1804. doi:10.1016/j.aap.2010.04.020
- Szpilman, D. (1997). Near-drowning and drowning classification: a proposal to stratify mortality based on the analysis of 1831 cases. *Chest*, 112, 660–665.
- Szpilman, D., Bierens, J., Handley, A., & Orłowski, J. (2012). Drowning. *New England Journal of Medicine*, 366(22), 2102–2110. doi:10.1056/NEJMra1013317
- Szpilman, D., Webber, J., Quan, L., Bierens, J., Morizot-Leite, L., Langendorfer, S. J., ... Løfgren, B. (2014). Creating a drowning chain of survival. *Resuscitation*, 85(9), 1149–1152. doi:10.1016/j.resuscitation.2014.05.034
- Tellier, É., Simonnet, B., Gil-Jardiné, C., Castelle, B., Bailhache, M., & Salmi, L. (2019). Characteristics of drowning victims in a surf environment: a 6-year retrospective study in southwestern France. *Injury Epidemiology*, 6(1), 17. doi:10.1186/s40621-019-0195-x
- van Beeck, E., Branche, C., Szpilman, D., Modell, J., & Bierens, J. (2005). A new definition of drowning: towards documentation and prevention of global public health problem. *Bulletin of the World Health Organization*, 83(11), 801–880.
- Venema, A., Groothoff, L., & Bierens, J. (2010). The role of bystanders during rescue and resuscitation of drowning victims. *Resuscitation*, 81(4), 434–439. doi:10.1016/j.resuscitation.2010.01.005

- Venkatraman, E. (1996). A distribution-free procedure for comparing receiver operating characteristic curves for a paired experiment. *Biometrika*, 83(4), 835–848. doi:10.1093/biomet/83.4.835
- von Elm, E., Altman, D., Egger, M., Pocock, S. J., Gøtzsche, P. C., Vandenbroucke, J. P., & STROBE Initiative. (2008). The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *Journal of Clinical Epidemiology*, 61(4), 344–349. doi:10.1016/j.jclinepi.2007.11.008

## 3.3 Prévision du risque de traumatisme lié aux vagues

### 3.3.1 Introduction

Les vagues de bord sont responsables de nombreux traumatismes, essentiellement du rachis cervical et de l'épaule (cf. section 2.3). Des précédents travaux ont mis en évidence le lien avec les caractéristiques de la houle et de la plage (Chang 2006 ; Puleo 2016).

Un modèle de prévision de la hauteur des vagues de bord a été mis au point à Puerto Rico (Canals 2015). L'objectif n'était cependant pas de corrélérer ces prévisions à un risque de traumatisme ou de noyade.

L'objectif de cette étude était d'étudier les facteurs de risque de traumatisme lié aux vagues de bord en tenant compte des facteurs d'exposition (température de l'air, température de l'eau, jour de la semaine) et des facteurs liés au danger, à savoir les conditions de mer.

### 3.3.2 Méthodes

Les données des patients sont celles présentées dans la section 2.3. Elles provenaient des appels passés au SAMU 33 sur la période 2011–2017. L'année 2014 a été exclue par manque de données environnementales. Comme la grande majorité des traumatismes a lieu durant la haute saison (période surveillée du 15 juin au 15 septembre), seule cette période a été analysée.

Les données météorologiques provenaient de sources identiques à la partie précédente (3.2.1). Le nombre d'Iribarren n'est pas calculable globalement, car il dépend de la pente de la plage au niveau de la mer, et varie en fonction de la marée et du temps. On peut remarquer cependant que ce nombre dépend, à pente constante, de l'inverse du facteur de vague.

Les variables étudiées ont été la hauteur de vague  $H_s$ , le facteur de vague  $W_f$ , la direction de la houle  $\theta_h$  la vitesse du vent, la température de l'air, la température de l'eau et les facteurs calendaires (week-ends et vacances). Les données météorologiques de 2011–2013 provenaient des mesures de Météo-France et d'une bouée au large du Cap-Ferret (Données

CANDHIS, CEREMA Eau, mer et fleuves - ER/MMH 2014). Les données 2015–2017 étaient issues des prévisions Météo-France pour le Cap-Ferret à 1, 2 et 3 jours.

La probabilité qu’il y ait au moins un appel lié à un traumatisme causé par une vague de bord pour un jour donné a été estimée avec un modèle additif généralisé. Des splines cubiques restreintes ont été utilisées pour les variables continues (Harrell 2015). La sélection du modèle a été faite exclusivement à partir des données de la période 2011–2013. Tous les modèles possibles avec interactions ont été évalués. Le modèle final a été sélectionné parmi les cinq meilleurs selon le critère d’information d’Akaike. Les rapports de cotes estimés ( $\widehat{RC}$ ) ont été calculés avec leur intervalle de confiance à 95 % ( $IC_{95}$ ).

Les courbes *Receiver Operating Characteristic* (ROC) et leurs aires sous la courbe (ASC) ont été étudiées pour les données 2011–2013 et les données 2015–2017. Les prévisions à 1, 2, et 3 jours ont été comparées en utilisant la méthode de Venkatraman pour courbes appariées (DeLong 1988 ; Robin 2011 ; Venkatraman 1996), ajoutant une correction de Holm–Bonferroni du fait des tests multiples.

L’analyse a été faite à l’aide du logiciel R (R Core Team 2017) avec les paquets rms (Harrell 2015) et pROC (Robin 2011).

### 3.3.3 Résultats

L’échantillon d’entraînement sur les années 2011–2013 comprenait 277 jours sans donnée manquante. Parmi ceux-ci, 122 avaient eu au moins un appel au SAMU 33 lié à une vague de bord.

#### 3.3.3.1 Analyses univariées

La température de l’air maximale quotidienne avait un effet seuil vers 23–24°C, avec un risque nettement augmenté au-delà (figure 3.4). La température de l’eau était corrélée positivement au risque. Les vacances étaient un facteur de risque important ( $\widehat{RC}$  4,75  $IC_{95}$ [2,70–8,36]). Le facteur de vague présentait un pic vers 5–8 m.s. L’orientation de la houle influençait le risque : une houle perpendiculaire à la plage était associée à un sur-risque.

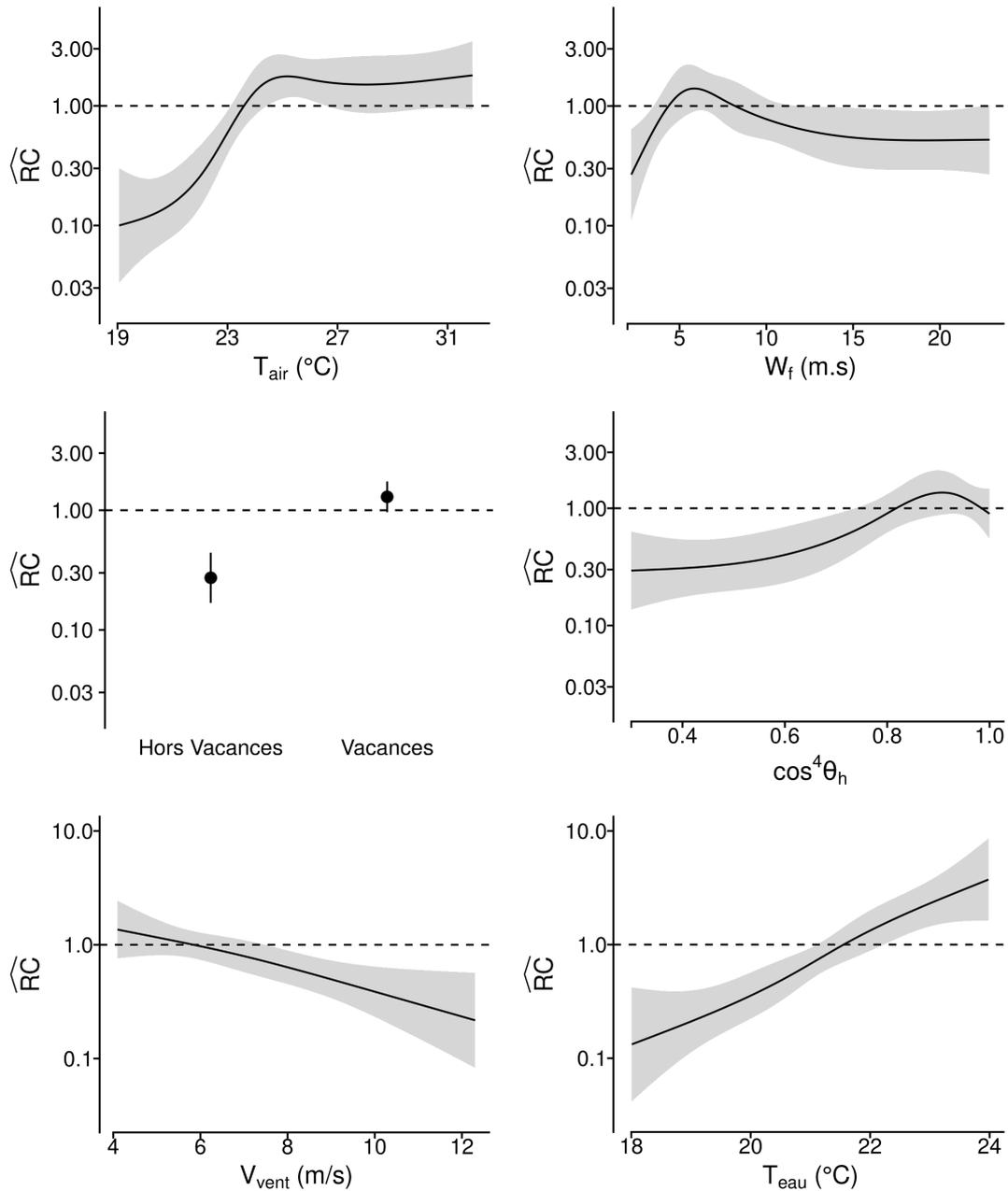


FIGURE 3.4 – Évolution des rapports de cotes estimés ( $\widehat{RC}$ ) du risque de traumatisme lié aux vagues de bord pour un jour donné en haute saison, en fonction de la température de l'air ( $T_{air}$ ), du facteur de vague ( $W_f$ ), de la température de l'eau ( $T_{eau}$ ), des vacances, de l'orientation de la houle ( $\cos^4 \theta_h$ ) et de la vitesse du vent ( $V_{vent}$ ), exprimés selon leur valeur maximale quotidienne. Les zones grisées correspondent à l'intervalle de confiance à 95 % des estimations. Modèles additifs généralisés univariés établis à partir des données météorologiques observées et des appels aux SAMU 33 du 15 juin au 15 septembre, années 2011–2013.

Enfin, le risque de survenue d'un traumatisme était inversement corrélé avec la vitesse du vent. En tenant compte de la direction du vent, on retrouvait le sur-risque pour des forces de vent faible, avec un risque plus important lorsque le vent venait du Sud (figure 3.5).

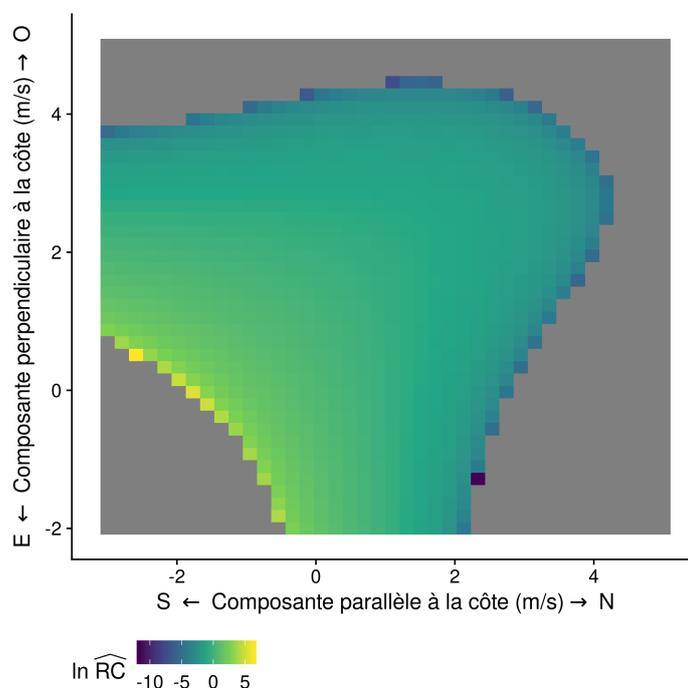


FIGURE 3.5 – Rapport de cotes du risque de traumatisme lié aux vagues de bord en fonction des composantes du vent par rapport à la cotes. Modèle additif généralisé établis à partir des données météorologiques observées et des appels aux SAMU 33 du 15 juin au 15 septembre, années 2011–2013.

Concernant la vitesse du vent, les distributions des valeurs n'étaient pas cohérentes entre les périodes prévisionnelles et observées (tableau 3.1, p. 62). La vitesse du vent n'a donc pas été intégrée dans le modèle prédictif. Les paramètres restants étaient la température de l'air, le facteur de vague, la direction de la houle et les vacances. Aucune interaction significative entre ces paramètres n'a été retrouvée. Le modèle final ne présentait pas de défaut d'adéquation ( $p = 0,47$ ). Il n'y avait pas d'autocorrélation significative.

3.3.3.2 Analyse multivariée

Les effets ajustés de chacun des paramètres sur le risque de traumatisme présentait les mêmes tendances qu'en analyse univariée. La direction de la houle n'avait pas d'effet significatif au-delà du coefficient linéaire. Cependant l'effet des vacances était moins marqué (figure 3.6).

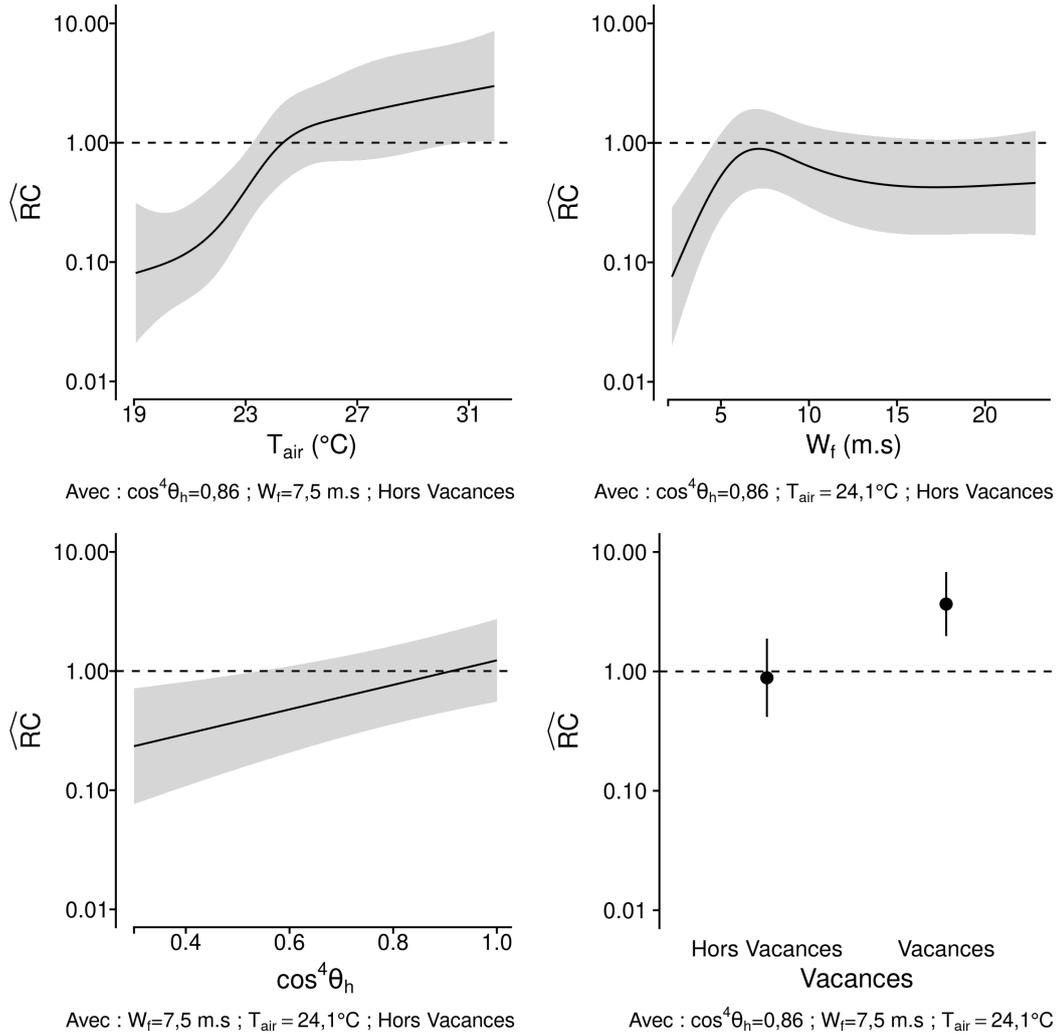


FIGURE 3.6 – Évolution du risque de traumatisme lié aux vagues de bord pour un jour donné en haute saison, en fonction de la température de l'air ( $T_{air}$ ), du facteur de vague ( $W_f$ ), de l'orientation de la houle ( $\cos^4 \theta_h$ ) et des vacances, ajustés aux autres. Les données météorologiques sont exprimées selon leurs valeurs maximales quotidiennes. Modèle additif généralisé multivarié établi à partir des données météorologiques observées et des appels aux SAMU 33 du 15 juin au 15 septembre, années 2011–2013.

Tous les paramètres, linéaires et non-linéaires, étaient significatifs (tableau 3.6). La température de l'air était le principal facteur associé (proportion du  $\chi^2$  : 56,2%), suivie des vacances (proportion du  $\chi^2$  : 23,7%).

TABLEAU 3.6 – Importance des variables ( $\chi^2$ , proportion du  $\chi^2$ , degrés de liberté—ddl), et leur significativité selon la statistique de Wald; modèle additif généralisé multivarié d'estimation du risque de traumatisme lié aux vagues de bord en haute saison; appels au SAMU 33, 2011–2013.

	$\chi^2$	%	ddl	<i>p</i>
Température de l'air, $T_{air}$	38,93	56,2	4	< 0,001
dont non-linéaire	8,92	13,9	3	0,030
Vacances	16,46	23,7	1	< 0,001
Facteur de vague, $W_f$	15,61	22,5	3	0,001
dont non-linéaire	15,37	22,1	2	< 0,001
Direction de la houle, $\cos^4 \theta_h$	8,96	12,9	1	0,003
Total non-linéaire	26,62	38,4	5	< 0,001
Total	69,34	100	9	< 0,001

Le modèle multivarié présentait une ASC de 0,85 [0,80–0,89] (figure 3.7). En utilisant les données prévisionnelles à 3 jours, l'ASC était à 0,75 [0,70–0,81]. Il n'y avait pas de différence significative entre les prévisions à 1, 2 et 3 jours ( $p > 0,05$  pour toutes les comparaisons).

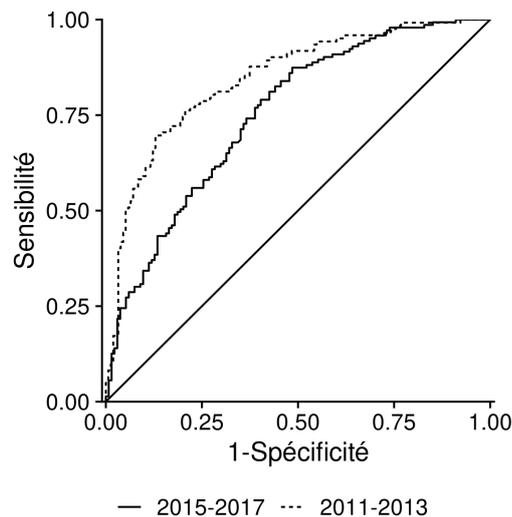


FIGURE 3.7 – Courbes ROC des modèles additifs généralisés du risque de traumatisme lié aux vagues de bord pour un jour donné, à partir des données observées (période 2011–2013, utilisées pour calibrer le modèle, ASC = 0,85 [0,80–0,89]) et les données prévisionnelles à trois jours (2015–2017, ASC = 0,75 [0,70–0,81]).

### 3.3.4 Discussion

Cette étude a mis en évidence l'association entre les facteurs environnementaux et les traumatismes liés aux vagues. La température de l'air, le facteur de vague et la direction de la houle étaient retrouvés comme facteurs prédictifs. Les vacances représentaient également une période à risque. Le facteur de loin le plus important était la température de l'air et donc un facteur d'exposition. Si on retrouve les conditions de houle comme facteurs prédictifs, le modèle ne permet pas d'explorer plus avant les conditions générant les vagues de bord.

Contrairement au risque de noyade, la qualité du modèle prévisionnel pour le risque lié aux vagues de bord ne permet pas d'envisager une application directe. On constate une forte dégradation de l'aire sous la courbe, et donc de la qualité de prévision, avec l'utilisation des données météorologiques prévisionnelles. Le modèle actuel n'est pas assez discriminant et générerait trop de fausses prévisions.

Cela est probablement dû au fait que les conditions générant les vagues de bord varient d'une année à l'autre à cause des changements de morphologie des plages. Ainsi, à partir des données des CRS, il a été montré que des plages très pentues en 2015 ont engendré de nombreux traumatismes liés aux vagues de bord, alors que les conditions de vagues n'étaient pas exceptionnelles (Castelle 2019). Un modèle incluant les caractéristiques de la plage et la marée, en se focalisant sur une échelle de temps plus petite, permettrait de mieux déterminer le risque. Cela fait actuellement l'objet d'une étude, en collaboration avec Bruno Castelle, avec l'utilisation d'un réseau bayésien.

La qualité des données est sujette à caution. En particulier, les données manquantes discutées dans la partie 2.3.2 constituent un facteur limitant la portée de ce modèle. Concernant les données météorologiques, il est possible qu'une partie des erreurs de prévisions soit liée à l'incertitude des prévisions météorologiques<sup>1</sup>. Cependant, les risques prévus sont similaires quel que soit le délai de prévision (1, 2, ou 3 jours).

Comme pour les noyades, un modèle prévisionnel du risque de traumatisme lié aux vagues de bord pourrait s'intégrer dans une stratégie de prévention des risques. Un outil

---

<sup>1</sup>Une simulation de l'impact des erreurs de prévision sur la qualité des prévisions est présentée partie 3.4.1.

prédictif fonctionnel doit être envisagé comme une aide pour les surveillants, et non comme un outil de prévention directement destiné au grand public. En effet, les risques liés aux vagues de bord concernent les périodes surveillées, et principalement les zones de baignades (Castelle 2018). Un tel outil permettrait d'adapter la surveillance et éventuellement d'effectuer des actions de prévention ciblées dans le temps.

## 3.4 Éléments complémentaires

Pour des raisons de concision, la discussion sur la qualité des données et les méthodes de modélisation ne sont pas détaillées. Deux méthodes différentes de modélisation ont été utilisées, mais certains détails méritent une explication. Enfin, j'ai été amené à explorer d'autres approches que je vais énumérer, sans donner les détails des résultats.

### 3.4.1 Qualité des données et influences sur les prévisions

Le fournisseur de données, Météo-France, a évalué la qualité des prévisions sur la région Sud-Ouest : la prévision expertisée (issue des modèles et de l'expertise humaine), du jour J pour le lendemain, est jugée exacte en moyenne à 86 %.

Pour le modèle de prévision français, des statistiques sont disponibles à l'échelle du pays pour la prévision à 24 heures d'échéance. Elles donnent une idée générale de l'erreur de prévision des modèles les plus fréquemment utilisés à Météo-France ; ces incertitudes correspondent aux valeurs moyennes des écarts quadratiques moyens de quelques paramètres :

- 1° à 1,5°C sur la température de l'air ;
- 5-10 km.h<sup>-1</sup> sur la force du vent, 30 à 40° sur la direction du vent ;
- 0,5 m sur la hauteur des vagues ;
- 1 s sur la période des vagues.

L'effet de cette incertitude peut être estimé sur les modèles. Nous avons simulé 1 000 répliquions des données observées (période 2011–2013), en ajoutant une erreur de mesure aléatoire, sans biais, sur la température de l'air, la hauteur et la période des vagues. Les probabilités estimées  $\hat{y}_{err}$  ont été calculées. Nous les avons ensuite comparées avec les

probabilités calculées à partir des données initiales  $\hat{y}$ . La distribution des erreurs  $\hat{y} - \hat{y}_{err}$  a été décrite pour chaque modèle.

Les courbes ROC de chaque réplification ont été calculées, avec leurs aires sous la courbe. Elles ont ensuite été comparées à la courbe ROC initiale du modèle.

### 3.4.1.1 Risque de noyade

Le modèle de risque de noyade est peu sensible aux variations de données (figure 3.8). L'erreur moyenne est de 0,001 (écart-type  $\sigma = 0,092$ ), avec une erreur quadratique moyenne de 0,008. En comparant les jours avec et sans noyade, on retrouve une différence d'erreur significative de -0,006 : pour les jours avec noyade, le modèle avec les erreurs a tendance à très légèrement surestimer le risque.

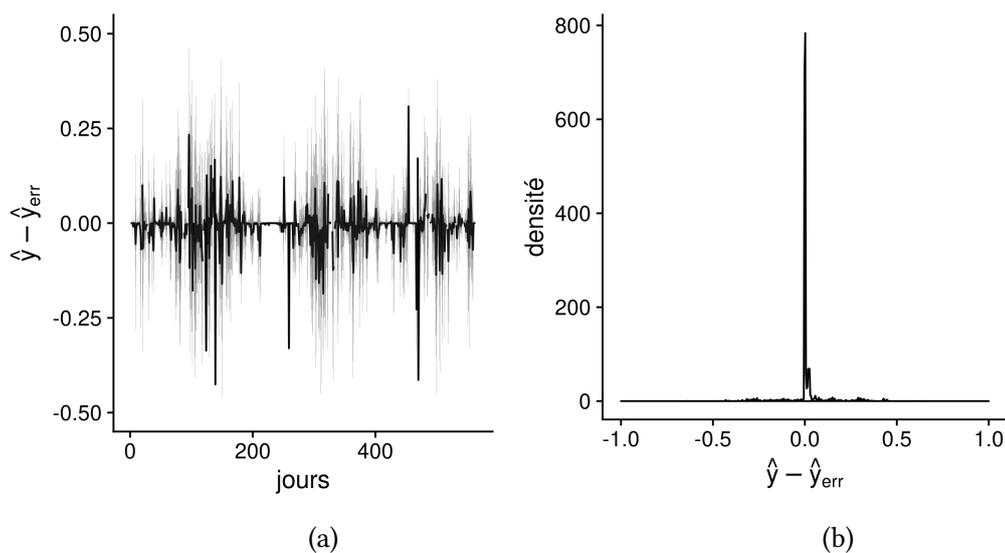


FIGURE 3.8 – Différences entre les estimations sur les données initiales ( $\hat{y}$ ) et les estimations faites à partir de 1 000 réplifications du jeu de données initial en ajoutant les erreurs de mesures ( $\hat{y}_{err}$ ). Modèle de prévision du risque de noyade, données 2011–2013. (a) Erreurs sur les 563 jours étudiés sur la période 2011–2013 (moyenne et intervalle de confiance à 95 %); (b) distribution des erreurs.

La courbe ROC du modèle à partir des données initiales a une aire sous la courbe de 0,88. Les courbes ROC obtenues à partir des réplifications avec l'introduction des erreurs ont une aire sous la courbe de 0,85, avec un intervalle de confiance à 95 % de [0,84–0,87] (figure 3.9).

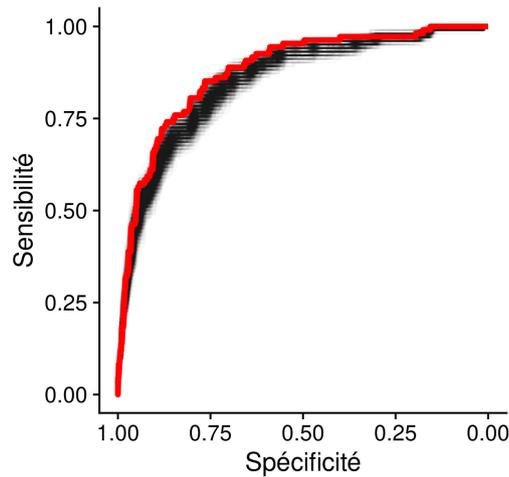


FIGURE 3.9 – Courbes ROC du modèle de prévision du risque de noyade à partir des données observées (en rouge) et avec 1 000 réplifications avec introduction d’erreurs.

### 3.4.1.2 Risque de traumatismes lié aux vagues de bord

Le modèle concernant le risque de traumatismes liés aux vagues de bord est lui plus affecté par ces variations (figure 3.10). L’erreur moyenne est de 0,046 ( $\sigma = 0,162$ ) et l’erreur quadratique moyenne de 0,028.

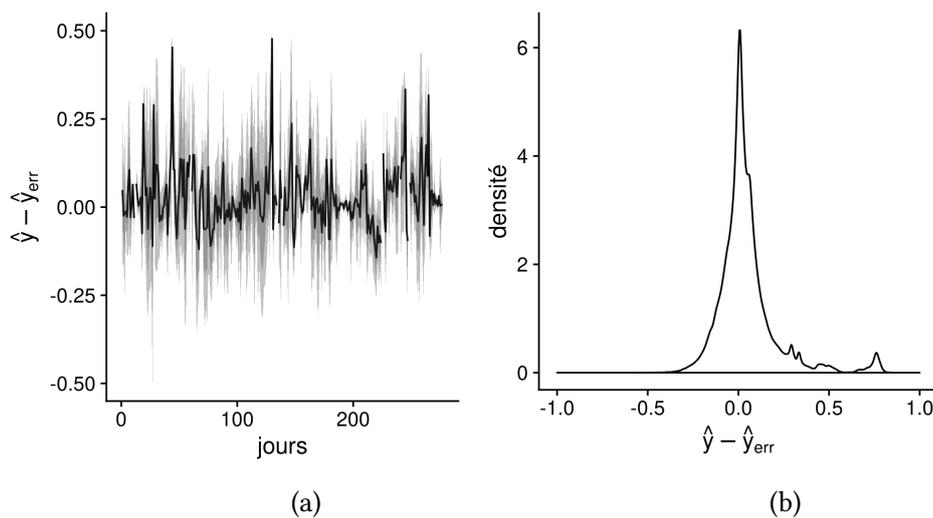


FIGURE 3.10 – Différences entre les estimations sur les données initiales ( $\hat{y}$ ) et les estimations faites à partir de 1 000 réplifications du jeu de données initial en ajoutant les erreurs de mesures ( $\hat{y}_{err}$ ). Modèle de prévision du risque de traumatisme lié aux vagues de bord, données 2011–2013. (a) Erreurs sur les 277 jours étudiés (moyenne et distribution à  $\pm 2\sigma$ ); (b) distribution des erreurs.

La courbe ROC du modèle de prévision du risque de traumatisme lié aux vagues présente initialement une aire sous la courbe de 0,85. Les courbes ROC obtenues à partir des répliques avec l'introduction des erreurs ont une aire sous la courbe de 0,79, avec un intervalle de confiance à 95 % de [0,77–0,80] (figure 3.11).

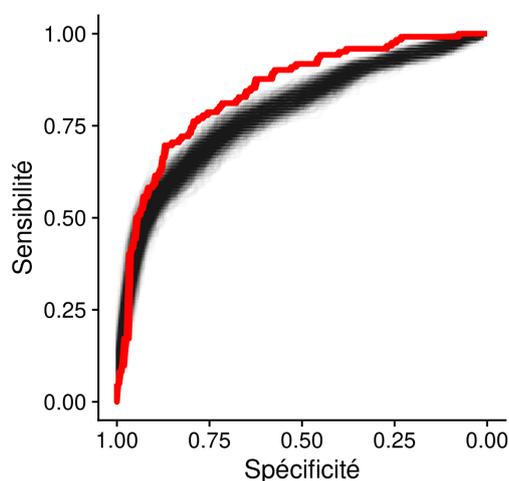


FIGURE 3.11 – Courbes ROC du modèle de prévision du risque de traumatisme lié aux vagues de bord à partir des données observées (en rouge) et sur 1 000 répliques avec introduction d'erreurs.

### 3.4.1.3 Discussion

Les résultats obtenus montrent ainsi une baisse significative de la qualité du modèle prévisionnel des traumatismes liés aux vagues de bord à la suite d'introduction d'erreurs de mesure. Ces erreurs influencent beaucoup moins le modèle de risque de noyade. Cette différence peut être due à la méthode utilisée car les modèles additifs généralisés ont une tendance au surapprentissage (Wood 2008).

D'autre part, ces résultats montrent que les erreurs de prévision n'expliquent pas à elles seules les variations observées entre les données observées et les données prévisionnelles. L'amélioration des modèles de prévision doit donc passer par la prise en compte d'effets additionnels. Notamment, il conviendrait d'introduire des effets variant au cours du temps, par exemple modifiant le risque d'une année à l'autre ou entre le début et la fin d'une saison. Cela est suggéré sur le plan physique par l'évolution du profil de la plage au cours du temps.

### 3.4.2 Méthode statistique

#### Sélection des variables

De nombreuses méthodes de sélection des variables d'intérêt pour les modèles de régression existent et ont fait l'objet d'études comparatives (Heinze 2018). La sélection des variables en utilisant les meilleurs modèles selon le critère d'information d'Akaike (AIC) a été proposée par Hosmer 1989. L'utilisation de l'AIC assure un compromis entre le nombre  $k$  de variables (et donc de catégories) et la vraisemblance du modèle,  $L$ . En effet, l'AIC se calcule selon l'équation 3.1.

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (3.1)$$

La catégorisation des variables continues relève d'un problème similaire : il s'agit de sélectionner le meilleur modèle parmi plusieurs présentant les différentes catégorisations. Les variables ont été catégorisées en les divisant en quantiles puis en minimisant l'AIC en situation multivariée. Il a été montré que la catégorisation en prenant en compte les covariables donnait de meilleurs résultats pour les modèles prédictifs (Mazumdar 2003).

Dans le cadre des noyades, une des premières applications envisagées du modèle prédictif était d'aider à la décision du postage de l'hélicoptère de la Sécurité Civile sur la base de Lacanau (cf. carte p. 8). Aussi, en accord avec les acteurs (préfecture, Sécurité Civile, SAMU 33), un tel modèle devait plutôt générer des faux positifs que des faux négatifs. Il vaut mieux poster quelques jours inutilement l'hélicoptère plutôt que d'avoir des noyades avec un délai d'intervention allongé.

L'utilisation d'un autre critère d'information aurait pu également être envisagée : le *Bayesian Information Criteria* qui pénalise plus fortement les modèles avec de nombreuses variables. Si les deux critères sont utiles à la sélection des modèles, l'AIC privilégie les faux positifs par rapports aux faux négatifs (Dziak 2012) et a donc été retenu ici.

Une méthode pour s'affranchir de la sélection des variables, tout en prenant compte des potentielles colinéarités des prédicteurs, est de faire appel à une méthode de régression logistique avec pénalisation des coefficients, type *ridge regression*. Une régression dite

« pénalisée » va rechercher les coefficients selon un critère habituel, mais en ajoutant une contrainte qui va limiter la valeur de ces coefficients (Friedman 2010 ; Tufféry 2015 ; Zou 2005). Plusieurs méthodes ont été décrites, la méthode la plus générale étant la pénalisation du maximum de vraisemblance. En notant  $\beta_i$  les coefficients,  $s_i$  les facteurs d'échelle pour chaque variable et  $\lambda$  un paramètre strictement positif à déterminer, cela revient à maximiser l'expression 3.2.

$$\ln(L) - \frac{1}{2}\lambda \sum_i (s_i \beta_i)^2 \quad (3.2)$$

L'autre avantage d'une régression pénalisée est de s'affranchir des limites du nombre d'évènements par variable. Le modèle de prévision du risque de noyade est issu d'une régression logistique non pénalisée. Le nombre de noyades est de 108 pour le modèle journalier, soit un nombre d'évènements par variable étudiée à 13,5. Supérieur à 10, cela rend *a priori* peu intéressant l'utilisation de méthodes de pénalisation (Pavlou 2015).

Cependant, la corrélation entre certains coefficients peut conduire à une instabilité du modèle et les méthodes pénalisées pourraient y pallier. Dans notre cas, cela change les effets estimés de manière marginale (cf. tableau et figures en annexe C). Les aires sous les courbes ROC restent inchangées.

### 3.4.3 Autres modélisations

D'autres modélisations ont été envisagées, avec chacune leurs avantages et leurs défauts. J'ai étudié l'utilisation de modèles de comptes avec des régressions de Poisson ou binomiales négatives (Jackman 2015). Ces modèles visent à prédire le nombre d'évènement pour un jour donné. Comme beaucoup de jours n'en comportent aucun, il a été nécessaire d'utiliser des modèles en inflation de zéro. Leur élaboration est délicate et la complexité limite vite l'exploration et l'analyse des résultats (Chebon 2016 ; Neelon 2016).

Les données dont nous disposons actuellement sont insuffisantes pour envisager les techniques d'apprentissage machine, comme les réseaux de neurones. Ces derniers nécessitent de grandes quantités de données et donnent pour l'instant des résultats inférieurs au modèle présenté pour la prévision des jours à risque.

### 3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, deux modèles de prévision des risques liés aux vagues et marées ont été détaillés. Le modèle de prévision des risques de traumatismes liés aux vagues de bord a mis en évidence les facteurs prédictifs environnementaux. Son pouvoir prédictif est cependant insuffisant pour envisager son utilisation.

Le risque de survenue de noyade s'avère bien prévisible jusqu'à trois jours à l'avance. Cette capacité de prévision peut donc être utilisée pour l'adéquation des moyens de sauvetage ou la diffusion de messages de prévention. L'adaptation des secours à partir des modèles de prévision du risque de noyade pourrait permettre, entre autre, de diminuer les délais de sauvetage. Cela m'a amené à m'interroger sur l'efficacité que pourrait avoir une réduction de ce délai sur la gravité des noyades. Pour cela, une modélisation de la chronologie de la noyade est nécessaire.

## CHAPITRE 4

# Modélisation de la chronologie de la noyade

---

### 4.1 Introduction

Les noyades liées aux courants résultent la plupart du temps d'un épuisement de la victime, ou d'un malaise secondaire à un effort prolongé important. La noyade est un processus partant d'un stade pré-clinique (victime dans l'impossibilité de sortir de l'eau) ou d'un stade clinique débutant (difficulté à maintenir les voies aériennes hors de l'eau), jusqu'au stade ultime d'Arrêt Cardio-Respiratoire (ACR). Entre les deux extrêmes, Szpilman a catégorisé la gravité en cinq stades (toux, crépitants aux bases, Œdème Aigu Pulmonaire [OAP] normotendu, OAP hypotendu et arrêt respiratoire, [Szpilman 2012]).

Le déroulement et la durée exacte de ces phénomènes sont mal connus. Ils dépendent probablement de facteurs individuels (endurance psychique et physique) et environnementaux (houle et température de l'eau). La gravité d'une noyade dépend également du délai des secours. Peu de données sont disponibles sur les délais d'alerte et d'intervention. Le délai moyen entre la reconnaissance d'une détresse et l'intervention des secours a été estimée entre 5 et 10 minutes sur les plages (Claesson 2014; Jeong 2016). La durée moyenne d'immersion était de l'ordre de 10 minutes pour les survivants et 20 minutes pour les cas létaux dans une série de 131 patients (Youn 2009). Cependant ces données ne concernent que les arrêts cardiaques.

Dans ce chapitre, je présente le développement d'un cadre théorique pour étudier la chronologie de la noyade. Cette approche permettra de modéliser l'impact d'une réduction du délai de sauvetage sur la gravité de la noyade ou d'identifier des facteurs individuels aggravants.

L'histoire naturelle de la noyade utilisant ces stades de gravité est décrite figure 4.1. À chaque instant, une victime de la noyade reste soit dans l'état de gravité actuel, soit s'aggrave et passe au stade suivant. Le stade 6 est le stade ultime. Nous considérons que l'aggravation est irréversible jusqu'à l'arrivée des secours. Une fois la victime extraite de l'eau, cette évolution est réversible, mais ne sera pas modélisée. Enfin, cette description ne prend pas en compte les noyades secondaires à un malaise ou un traumatisme.

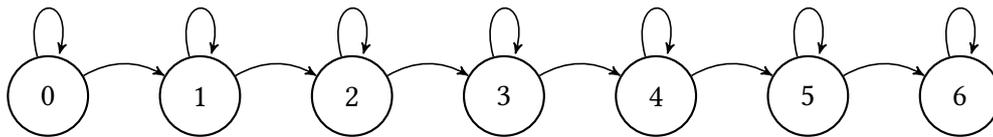


FIGURE 4.1 – Modélisation de l'histoire naturelle de la noyade à l'aide de l'échelle de gravité de Szpilman allant de 0 (personne sortie de l'eau sans atteinte respiratoire) à 6 (Arrêt Cardio-Respiratoire).

**Modèle de Markov** Si l'on considère la noyade comme un processus multi-états, on peut développer un modèle multi-états, dans lequel une variable aléatoire  $X$  pourra prendre un nombre fini  $K$  de valeurs entières en fonction du temps  $t$ , qui peut être discret ou continu. On a alors :

$$\{X(t), t \geq 0\}; X \in \{0, \dots, K\}; K \in \mathbb{N} \quad (4.1)$$

Un modèle vérifie la propriété de Markov si et seulement si la distribution conditionnelle de probabilité des états futurs, étant donnés les états passés et l'état présent, ne dépend en fait que de l'état présent et non pas des états passés (absence de « mémoire ») (Commenges 2015). Un processus de Markov est homogène dans le temps si les probabilités de transition

sont invariables dans le temps. L'estimation des probabilités de transition peut se faire de manière analytique si on connaît le temps  $t$ .

En dehors des arrêts cardiaques, nous n'avons pas retrouvé de données sur le temps estimé entre le début du processus de noyade et le sauvetage. Aussi, la détermination du temps  $t$  n'est pas possible directement, et nécessite d'être simulée. Un ordre de grandeur de 10 minutes semble une hypothèse crédible.

En considérant que les différentes étapes se succèdent tant que la personne n'est pas extraite du milieu aquatique, les délais de transition entre ces différentes étapes sont inconnus. Est-il possible de modéliser les probabilités d'aggravation clinique en fonction du temps à l'aide de nos données, et comment peut-on utiliser ces résultats ?

## 4.2 Méthodes

### 4.2.1 Hypothèses

Ce travail repose sur les hypothèses suivantes, dont les choix seront détaillés par la suite :

- la gravité de la noyade, processus continu, peut être catégorisée de manière ordonnée par l'échelle de Szpilman ;
- les stades de gravité sont franchis les uns après les autres, dans l'ordre croissant (pas de « saut » d'état) ;
- la gravité de la noyade est établie lors de l'extraction par les sauveteurs ;
- le délai d'extraction des victimes suit une loi de Weibull.

### 4.2.2 Données

La répartition de la gravité des patients est issue de la base de données présentée en 2.2.1 complétée avec les données de 2017, en excluant les noyades secondaires aux vagues de bord. Cela permet de s'assurer une certaine homogénéité de la population et des temps de sauvetage.

Le manque de données, notamment le faible nombre de stades 4 et 5, nous a amené à effectuer des regroupements. Ainsi ont été regroupés les stades 3 et 4 d’une part et les stades 5 et 6 d’autre part. Le modèle envisagé comportait finalement cinq états. La répartition des stades de gravité de noyade est différente selon la saisonnalité (tableau 4.1).

TABLEAU 4.1 – Répartition de la gravité des noyades non liées aux vagues de bord, selon l’échelle de Szpilman, dans les appels provenant des plages océaniques de Gironde reçus au SAMU 33, 2011–2017 (N, (%)).

Stade	Saison		Total
	Haute	Basse	
0	289 (62,0)	81 (63,8)	370 (62,4)
1	126 (27,0)	26 (20,5)	152 (25,6)
2	20 (4,3)	6 (4,7)	26 (4,4)
3-4	11 (2,4)	1 (0,9)	12 (2,0)
5-6	20 (4,3)	13 (10,2)	33 (5,6)
Total	466	127	593

### 4.2.3 Loi de probabilité

Ne connaissant pas le temps entre le début du processus de noyade et le sauvetage, il faut définir une distribution de valeurs possibles. Le temps étant une valeur strictement positive, et en estimant que plus celui-ci est grand, plus la probabilité d’être extrait de l’eau augmente, la distribution de Weibull est un choix cohérent. Cette loi est fréquemment utilisée pour les modèles de survie.

La distribution de Weibull est définie à l’aide de deux paramètres strictement positifs : le paramètre d’échelle  $\lambda$  et le paramètre de forme  $k$ . Elle suit la fonction de répartition énoncée ci-dessous (équation 4.2). Un paramètre de forme supérieur à 1 correspond à une augmentation de la probabilité qu’un évènement survienne à mesure que le temps passe (Commenges 2015).

$$F(t, \lambda, k) = 1 - e^{-(t/\lambda)^k} \quad (4.2)$$

Nous avons émis l'hypothèse d'un sauvetage médian de 10 minutes, avec 95 % des personnes extraites en moins de 30 minutes. Ces temps sont arbitraires, le plus important étant le ratio entre ces deux valeurs, qui définit l'aspect de la courbe.

Les paramètres de la distribution peuvent être facilement calculés à partir de la médiane et du 95<sup>e</sup> percentile, étant donné que le quantile  $Q$  à la probabilité  $p$  est donné par l'équation suivante :

$$Q(p; k, \lambda) = \lambda(-\ln(1-p))^{1/k} \quad (4.3)$$

En notant  $p_5$  la médiane et  $p_{95}$  la valeur du 95<sup>e</sup> percentile, on a alors :

$$\begin{aligned} & \begin{cases} p_5 &= \lambda \times (-\ln(0,5))^{1/k} \\ p_{95} &= \lambda \times (-\ln(0,05))^{1/k} \end{cases} \\ \Leftrightarrow & \begin{cases} \frac{p_5}{p_{95}} &= \frac{(\ln 2)^{1/k}}{(\ln 20)^{1/k}} \\ \lambda &= \frac{p_5}{(\ln 2)^{1/k}} \end{cases} \\ \Leftrightarrow & \begin{cases} \frac{p_5}{p_{95}} &= \left(\frac{\ln 2}{\ln 20}\right)^{1/k} \\ \lambda &= \frac{p_5}{(\ln 2)^{1/k}} \end{cases} \quad (4.4) \\ \Leftrightarrow & \begin{cases} k \ln\left(\frac{p_5}{p_{95}}\right) &= \ln\left(\frac{\ln 2}{\ln 20}\right) \\ \lambda &= \frac{p_5}{(\ln 2)^{1/k}} \end{cases} \\ \Leftrightarrow & \begin{cases} k &= \ln\left(\frac{\ln 2}{\ln 20}\right) / \ln\left(\frac{p_5}{p_{95}}\right) \\ \lambda &= \frac{p_5}{(\ln 2)^{1/k}} \end{cases} \end{aligned}$$

#### 4.2.4 Probabilités de transition

La matrice de transition infinitésimale  $Q$  a alors la forme présentée en 4.5. Celle-ci ne dépend que de quatre paramètres  $q_i, i \in \{1, \dots, 4\}$  et représente le modèle décrit par la figure 4.2.

$$Q = \begin{pmatrix} -q_1 & q_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -q_2 & q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -q_3 & q_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -q_4 & q_4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

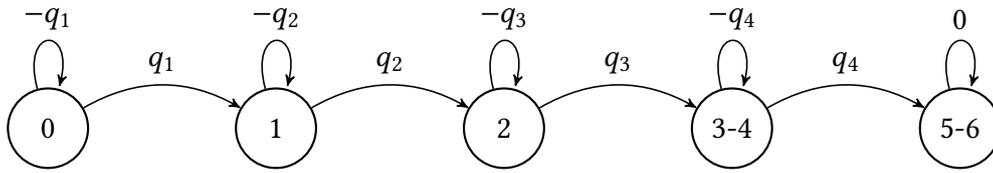


FIGURE 4.2 – Modélisation de l’histoire naturelle de la noyade à l’aide de l’échelle de gravité de Szpilman en regroupant les stades les moins fréquents.

### 4.2.5 Modèle

Le modèle final est donné par le système 4.6. Pour chaque victime, le stade  $s$  est déterminé par une loi catégorielle suivant une répartition calculée à partir du stade initial  $s_0$  (dans notre cas, à  $t = 0$  la victime est au stade 0) et du temps  $t$ , via la matrice de transition  $Q$  dont les coefficients sont à déterminer.

$$\begin{aligned} t &\sim \text{Weibull}(k, \lambda) \\ s &\sim \text{cat}(e^{Qt-s_0}) \end{aligned} \quad (4.6)$$

Dans un premier scénario, le modèle a été utilisé avec les données de la haute saison pour calculer la matrice de transition, en fixant une distribution des délais de sauvetage. Celle-ci était définie avec une médiane de 10 minutes et un 95<sup>e</sup> percentile de 30 minutes (soit  $k = 1,33$  et  $\lambda = 13,17$ ). À partir de cette matrice, l’évolution de la proportion des stades de gravité en fonction du temps a été étudiée. Ensuite, nous avons simulé l’impact d’une réduction des délais hors saison au niveau de ceux de la haute saison, c’est-à-dire en générant des

échantillons de 127 sauvetages avec la distribution des délais de la haute saison et la matrice de transition calculée. Cela a été fait dans le même temps.

Dans un deuxième scénario, nous avons voulu estimer la distribution des délais de sauvetage en basse saison. Pour cela, au lieu de reprendre la matrice du premier scénario, nous avons calculé dans le même temps cette matrice et les temps de sauvetage. .

Ces modèles ont été implémentés à l'aide des logiciels R et Stan (Carpenter 2017; *The Stan Core Library* 2018). Stan est un langage d'inférence statistique et permet de définir un modèle et d'en calculer les paramètres à l'aide des données disponibles. L'algorithme repose sur les méthodes d'échantillonnage de Monte-Carlo par chaîne de Markov. Le code des modèles est rapporté en annexe D.

Les calculs ont été faits sur huit chaînes avec 4 000 itérations. La première moitié des itérations constitue une étape de chauffage qui n'a pas été prise en compte. La validation a été faite sur 1 600 échantillons. La convergence a été assurée graphiquement et par la statistique  $\hat{R}$  qui quantifie la cohérence d'un ensemble de chaînes de Markov (Gelman 1992). Celle-ci tend vers 1 et une valeur inférieure à 1,1 indique une bonne convergence. Les résultats de l'inférence sont exprimés avec leur moyenne et l'intervalle de crédibilité au 10<sup>e</sup> et 90<sup>e</sup> percentiles noté IC<sub>80</sub>.

## 4.3 Résultats

### 4.3.1 Scénario 1

Le premier but de ce scénario était d'estimer la matrice de transition à partir des données de haute saison, avec  $p_5 = 10$  minutes et  $p_{95} = 30$  minutes. Le modèle avait une bonne convergence pour tous les paramètres à estimer (tableau 4.2). En moyenne, les victimes restaient longtemps aux stades 0 et 1 (respectivement  $q_1 = 0,04$  et  $q_2 = 0,04$ ), puis passaient moins de temps par le stade 2 ( $q_3 = 0,19$ ). Le stade 3-4 était encore plus rapidement franchi ( $q_4 = 0,27$ ). Une visualisation de ces transitions en fonction du temps est proposée en figure 4.3.

TABLEAU 4.2 – Résultats du scénario 1 : estimations des paramètres  $q_i$  sur 1 600 échantillons, à partir des données de la haute saison. Moyenne, intervalle de crédibilité à 80 % et statistique de convergence  $\hat{R}$ .

	Moyenne	IC <sub>80</sub>	$\hat{R}$
$q_1$	0,04	0,04-0,05	1,00
$q_2$	0,04	0,03-0,05	1,00
$q_3$	0,19	0,13-0,26	1,00
$q_4$	0,27	0,16-0,41	1,00

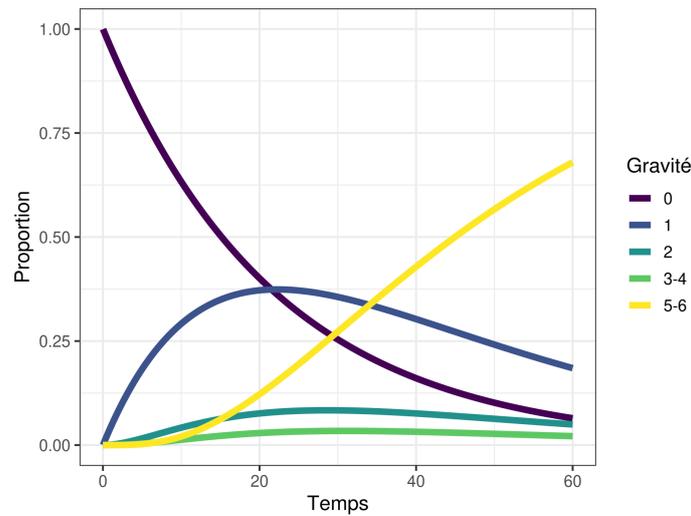


FIGURE 4.3 – Évolution des proportions des stades de gravité des noyades en fonction du temps à partir des hypothèses d’un délai médian de sauvetage de 10 minutes, avec le 95<sup>e</sup> percentile de 30 minutes.

En prenant la moyenne des 1 600 simulations, les valeurs générées avec les paramètres étaient cohérentes avec les valeurs observées (tableau 4.3). On retrouvait cependant une fluctuation des estimations en fonction des simulations.

TABLEAU 4.3 – Résultats du scénario 1 : comparaison des proportions des stades de gravité entre les valeurs observées et simulées sur un échantillonnage de 466 cas × 1 600 simulations. Les proportions simulées sont décrites par leur moyenne et l'intervalle de crédibilité à 80 % (IC<sub>80</sub>).

Stade	Observation (%)	Simulations (% , IC <sub>80</sub> )	
0	62,4	63,4	57,2;67,1
1	25,6	24,8	22,1;27,5
2	4,4	4,1	3,0;5,4
3-4	2,0	1,9	1,2;2,5
5-6	5,6	5,8	4,2;7,9

À partir de cette inférence, l'impact d'un alignement des délais de sauvetage de la basse saison sur ceux de la haute saison a été simulé (tableau 4.4). On retrouvait une augmentation des stades 1 (différence +7, IC<sub>80</sub> [2;13]). Le nombre de stade 2 était globalement inchangé (différence -1, IC<sub>80</sub> [-3;2]). Le nombre des cas d'arrêts respiratoires ou cardio-respiratoires (stade 5-6) était réduit de 13 à 6 (IC<sub>80</sub> [-10;-4]).

TABLEAU 4.4 – Résultats du scénario 1 : impact sur la gravité des noyades d'une réduction des temps de sauvetage en basse saison au niveau des temps estimés en haute saison : observations, médiane des simulations et différences entre les observations et les simulations avec intervalle de crédibilité à 80 %.

Stade	Observations		Simulations		Différence	
	N	(%)	N	(%)	N	IC <sub>80</sub>
0	81	(63,8)	80	(63,0)	-1	-8; +3
1	26	(20,5)	33	(26,0)	7	+2; +13
2	6	(4,7)	5	(3,9)	-1	-3; +2
3-4	1	(0,9)	3	(2,4)	2	0; +2
5-6	13	(10,2)	6	(4,7)	-7	-4; -10
Total	127		127			

### 4.3.2 Scénario 2

Ce scénario avait pour but d'estimer les paramètres de transition en utilisant les données de haute et basse saisons, et la répartition des temps de sauvetage en basse saison. La distribution des délais de sauvetage en haute saison était fixée.

La convergence du modèle était bonne. Les coefficients de transitions  $q_1$ ,  $q_2$  et  $q_3$  étaient similaires à ceux estimés dans le scénario 1 (tableau 4.5). Une transition plus rapide du stade 3-4 vers le stade 5-6 était observée, avec  $q_4$  qui était estimé à 0,36.

TABLEAU 4.5 – Résultats du scénario 2 : estimations des paramètres  $q_i$  de la matrice de transition infinitésimale et des paramètres  $k_2$  et  $\lambda_2$  de la distribution de Weibull des temps de sauvetage en basse saison. Valeurs moyennes, intervalles de crédibilités à 80 % (IC<sub>80</sub>) et statistiques  $\hat{R}$  d'un échantillonnage de 1 600 simulations.

	Moyenne	IC <sub>80</sub>	$\hat{R}$
$q_1$	0,04	0,04-0,04	1,00
$q_2$	0,04	0,04-0,05	1,00
$q_3$	0,19	0,14-0,25	1,00
$q_4$	0,36	0,22-0,54	1,00
$k_2$	1,68	1,40-1,99	1,00
$\lambda_2$	18,65	15,80-21,68	1,00

Les moyennes des paramètres de la fonction de distribution estimés,  $k_2$  et  $\lambda_2$ , étaient supérieures aux valeurs de la distribution en haute saison. Les temps de sauvetage estimés à partir des stades observés en basse saison étaient donc plus importants qu'en haute saison (figure 4.4). Ils étaient également plus dispersés. Toutefois, les délais estimés restaient en deçà de 60 minutes. En prenant la distribution avec les valeurs  $k_2$  et  $\lambda_2$  estimées, 95 % des sauvetages étaient réalisés dans un temps inférieur à 35,8 minutes. Selon ce scénario, la médiane des délais de sauvetage en basse saison était de 15,3 minutes et la moyenne de 16,6 minutes.

## 4.4 Discussion

Le but de cette étude était de créer un modèle représentant l'évolution clinique d'une victime de noyade au cours du temps, en partant d'une étape pré-clinique, jusqu'au sauvetage et la prise en charge par les secouristes. Il a été possible d'estimer les paramètres d'un modèle de Markov à temps continu à partir d'une inférence statistique.

La première application a été la visualisation de la gravité de la noyade au cours du temps. Dans cette approche, on constate que les victimes restent assez longtemps aux stades

0 et 1. À chaque instant, il y a relativement peu de stades 2 et 3-4, les victimes passaient rapidement ces étapes jusqu'au stade 5-6.

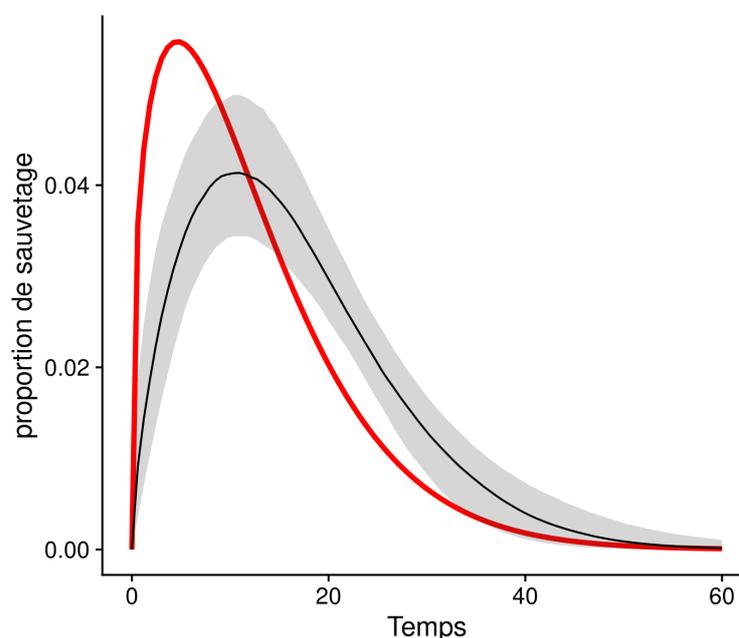


FIGURE 4.4 – Répartition des délais de sauvetage simulés à partir des données observées en haute saison (ligne rouge), dont le délai suit une loi définie, et la répartition estimée hors saison (ligne noire, zone grisée comprenant 95 % des valeurs simulées).

Le regroupement des stades ne permettait pas d'observer les transitions entre les stades 3 et 4, ni entre les stades 5 et 6. Pour la même raison, il n'était pas possible de simuler l'impact de la réduction du temps de sauvetage sur le nombre d'arrêts cardio-respiratoires (stade 6).

Un scénario de réduction du délai de sauvetage en période de basse saison a estimé une forte réduction des cas graves. Notamment, si les hypothèses du modèle sont correctes, une réduction du délai en basse saison aurait un impact fort sur le nombre de victimes nécessitant une prise en charge médicale immédiate. Cependant, le scénario 2 a retrouvé une différence importante entre les délais de sauvetage des deux saisons. Une telle réduction de délai nécessiterait donc probablement des moyens importants, tant sur le plan humain que financier.

L'estimation des délais hors saison repose cependant sur l'hypothèse—forte—que les populations sont comparables. Or, les données démographiques actuelles sont insuffisantes

pour étayer cette hypothèse. La différence, quoique faible, des coefficients de transition estimés  $q_4$  entre le stade 3-4 et le stade 5-6 est un indice en ce sens.

Ces résultats sont généraux et ne prennent pas en compte d'éventuels facteurs individuels, telles que l'âge et le sexe. Si le sexe ne joue *a priori* pas de rôle selon les résultats énoncés précédemment (cf. 2.2.2.2), l'âge est susceptible d'influencer les résultats obtenus.

Avec davantage de données, il serait possible d'estimer les modifications de la matrice de transition en fonction de l'âge. Cela permettrait d'établir des pistes de recherches sur la physiologie. Il serait également intéressant de voir l'influence d'autres facteurs, tels que les facteurs de risques cardio-vasculaires. Il serait possible d'étudier l'hypothèse d'une transition plus rapide vers les stades 3-4 (œdème aigu pulmonaire), causée par une insuffisance cardiaque.

## 4.5 Conclusion

Nous avons pu, grâce aux données récoltées, mettre en pratique l'utilisation d'un modèle de Markov à temps continu décrivant l'évolution naturelle de la noyade. Ce cadre théorique mérite d'être testé avec d'autres données et en intégrant d'autres facteurs d'influence. Pour cela, un recueil de données épidémiologiques de qualité est nécessaire.

Ce type de modélisation pourrait également servir d'aide à la décision. Le positionnement des secours et les délais d'intervention peuvent faire l'objet de simulations mesurant leur impact sur la gravité des noyades.

La chaîne de Markov peut également être modifiée ou étendue pour intégrer une réversion des stades à l'arrivée des premiers secours, puis des secours médicalisés. Le modèle permettrait alors d'évaluer les différentes stratégies de prise en charge.

## CHAPITRE 5

# Identification des pistes d'intervention : scoping review et proposition d'un cadre théorique

---

### 5.1 Introduction

En Gironde, le fardeau de la traumatologie océane requière l'engagement de moyens conséquents de sauvetage. Comme nous l'avons observé, plusieurs décès sont recensés chaque année malgré le dispositif. Un modèle de prévision des risques de noyade a été mis au point et présenté ci-dessus (cf. 3.2). L'impact d'une réduction des délais de secours sur la gravité des noyades a ensuite été simulé (cf. 4). Cependant, étant donné la rapidité des phénomènes, la prévention primaire est probablement le mode d'intervention le plus efficace pour en diminuer l'impact. L'intégration d'un modèle de prévision dans une politique de prévention de la traumatologie océane reste à construire.

Actuellement, la prévention de la traumatologie océane en Gironde repose sur les MNS, par l'affichage de messages ou la diffusion de tracts (cf. annexe B.3). De temps en temps, principalement en début de saison ou après une série de noyades, le journal local Sud Ouest rappelle les dangers de la plage et des baignes (Lestage 2019 ; SudOuest 2019).

Pour avoir une intervention efficace amenant à des changements de comportement, il est nécessaire de prendre en compte des phénomènes complexes. Il faut s'appuyer pour

cela sur une théorie de l'intervention. Celle-ci doit être pensée en intégrant également son évaluation.

Les évaluations des interventions de prévention utilisent traditionnellement une approche avant/après. L'inférence causale par cette méthode est cependant limitée et ne permet pas de prendre en compte certains effets. L'évaluation guidée par la théorie (*Theory Driven Evaluation*, TDE), a été proposée pour fournir une réponse à ces limitations (Chen 1989). En effet, dans le cadre des politiques de prévention, la complexité apparaît lorsqu'on prend en compte le contexte. Celui-ci est défini par « la conjonction spatiale et temporelle d'événements, d'individus et d'interactions sociales générant des mécanismes causaux qui interagissent avec l'intervention et qui peuvent modifier ses résultats » (Poland 2008).

Le changement de comportement est le résultat de mécanismes causaux (Michie 2013). Ceux-ci peuvent être la combinaison de facteurs humains (connaissances, représentations sociales, capacités...) ou matériels. Ils sont définis comme « les processus par lesquels une technique de changement de comportement régule le comportement » (ibid.).

Les composants de l'intervention et le contexte dans lequel elle se situe créent un processus de changement, qui va produire un mécanisme, qui va ensuite avoir un effet. Celui-ci peut être le critère d'évaluation, intermédiaire ou final. Deux méthodes existent pour construire et évaluer les interventions complexes (Cambon 2019) : la théorie du changement (*Theory of Change*, De Silva 2014) et l'évaluation réaliste (*Realistic Evaluation*). Ces deux approches sont complémentaires. La première explique la théorie liée à l'intervention et permet ainsi sa planification, son amélioration et le développement d'une surveillance adaptée de sa mise en œuvre. La deuxième approche permet d'identifier quels sont les aspects les plus prometteurs de l'intervention (par exemple, quels sont les sous-groupes dans lesquels l'intervention a été la plus efficace, et pourquoi).

La théorie du changement permet de confirmer, ou non, que les observations correspondent à une théorie explicative. Les observations comportent non seulement la mesure des résultats de l'intervention, mais également les facteurs de succès individuels ou sociaux,

l'efficacité des actions et les moyens engagés. Ces observations doivent être intégrées dans une évaluation planifiée en parallèle du développement de l'intervention.

La théorisation doit être faite avant la mise en œuvre de l'intervention. Elle s'établit à partir de la littérature et du savoir théorique et pratique des acteurs. Elle permet de lier entre eux, à l'aide d'hypothèses de causalité, les actions menées, les mécanismes, les résultats et les paramètres contextuels. Ces hypothèses nécessitent l'utilisation de théories comportementales et de techniques de changement de comportement.

Plusieurs théories comportementales ont été proposées, comme nous l'avons vu en introduction (1.4.2). Parmi celles-ci, le *Health Belief Model* est fréquemment utilisé dans la prévention des traumatismes (Aldoory 2005 ; Denehy 2016 ; Rosenstock 1974). Ces théories peuvent être utilisées pour décrire le modèle d'action.

Concernant les techniques de changement de comportement, plusieurs analyses sont disponibles. La roue de changement comportemental (*Behaviour Change Wheel*) est une méthode permettant de caractériser et de créer des interventions (Michie 2011). Elle divise les interventions selon trois niveaux. Le premier niveau qui constitue le cœur est le comportement, utilisant le modèle COM-B (*Capability, Opportunity, Motivation-Behaviour*), qui décrit les sources de modification du comportement comme le résultat de l'interaction des trois composantes (figure 5.1).

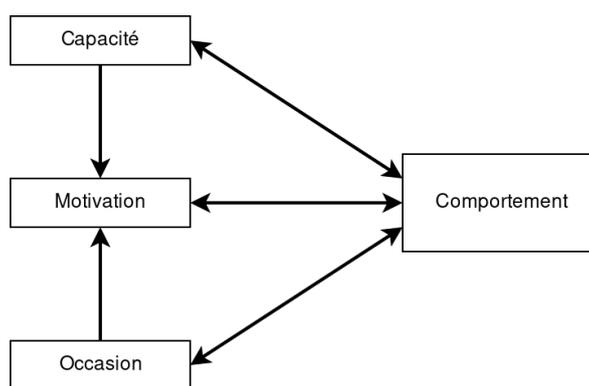


FIGURE 5.1 – Interactions possibles entre les trois composantes du modèle COM-B (*Capability, Opportunity, Motivation - Behaviour*), associé à la roue du changement comportemental, d'après Michie 2011.

Le deuxième niveau est la fonction d'intervention qui agira sur le niveau inférieur, le comportement. Neuf types d'interventions ont été identifiés (tableau 5.1). Enfin, le troisième

niveau est la politique menée. Celle-ci permet d'appliquer la fonction d'intervention choisie. Sept catégories de politiques ont été listées (tableau 5.2).

TABLEAU 5.1 – Définitions des fonctions d'intervention dans le cadre de l'analyse de Michie 2011.

Intervention	Terme original	Définition
Éducation	<i>Education</i>	Améliorer les connaissances ou la compréhension
Persuasion	<i>Persuasion</i>	Utiliser la communication pour induire un sentiment positif ou négatif, ou stimuler une action
Encouragement	<i>Incentivisation</i>	Créer un espoir de récompense
Contrainte	<i>Coercion</i>	Créer la menace d'amende ou de punition
Entraînement	<i>Training</i>	Améliorer les compétences
Restriction	<i>Restriction</i>	Utiliser les règles pour diminuer la possibilité d'adopter un comportement
Restructuration environnementale	<i>Environmental restructuring</i>	Changer le contexte physique ou social
Exemplarité	<i>Modelling</i>	Fournir un exemple à suivre ou à imiter
Capacitation	<i>Enablement</i>	Accroître les moyens ou diminuer les obstacles pour augmenter la capacité ou l'occasion

TABLEAU 5.2 – Définitions des politiques dans le cadre de l'analyse de Michie 2011.

Intervention	Terme original	Définition
Communication/ marketing	<i>Communication/ marketing</i>	Utiliser des médias
Recommandations	<i>Guidelines</i>	Établir et diffuser les conduites à tenir
Fiscale	<i>Fiscal</i>	Utiliser les taxes pour réduire ou augmenter les coûts
Régulation	<i>Regulation</i>	Établir des règles et principes de comportement ou de pratique
Législation	<i>Legislation</i>	Changer ou créer la loi
Planification environnementale ou sociale	<i>Environmental or social planning</i>	Concevoir ou maîtriser l'environnement physique ou social
Fourniture de services	<i>Service Provision</i>	Fournir un service

Dans le cadre de cette thèse, la première approche pour proposer une intervention fondée sur la théorie, intégrant une évaluation, a été d'utiliser les revues de la littérature existantes sur la prévention de la noyade ou d'autres traumatismes. Une revue non exhaustive de la littérature s'est intéressée à la psychologie des usagers de la plage et leurs comportements (Ménard 2018). Aucune théorie comportementale ni intervention n'était évoquée.

Une seule revue de la littérature recensant les interventions de prévention de la noyade dans les activités de loisir chez les adultes a été trouvée (Leavy 2015). Elle recensait six interventions menées entre 1990 et 2012, dont deux reposaient sur un modèle théorique. L'utilisation, ou non, de théories comportementales a été notée par les auteurs pour toutes ces interventions. Cependant, elles n'ont pas été caractérisées selon leur mode d'action. Par ailleurs, aucune revue de la littérature plus récente n'a été retrouvée. Des recherches supplémentaires sont donc nécessaires pour développer une théorie de l'intervention et planifier une intervention intégrant un modèle de prévision.

Lors de la création du modèle de prévision, nous avons l'idée d'une diffusion du niveau de risque, similaire à ce qui se fait pour le « risque avalanche ». Il s'agit en effet d'un exemple connu de prévision d'un danger lié à une activité de loisir. Aux États-Unis, au Canada et dans les pays d'Europe avec de la haute montagne, des modèles prévoyant le risque de survenue d'une avalanche ont été développés et sont diffusés durant l'hiver.

Ces modèles sont mis en œuvre depuis longtemps, aussi il peut être intéressant de rechercher dans la littérature des interventions associées. Il convient également de rechercher si ces modèles ont été évalués. L'exemple des avalanches n'était pas répertorié dans Ménard 2018, au contraire d'autres domaines : le risque d'inondation et le risque d'éruption volcanique.

**Questions de recherche :** Depuis 2012, quelles théories comportementales ont été utilisées pour la prévention des noyades, dans le cadre de loisirs, chez l'adulte ? Quelles étaient les caractéristiques des interventions de prévention de la noyade chez l'adulte ? Quelles théories comportementales ont été utilisées pour la prévention du risque lié aux avalanches ?

**Objectif :** L'objectif de cette *scoping review* était d'identifier dans la littérature existante quelles pouvaient être les théories et les techniques de changement de comportement utilisables dans le cadre d'une intervention de prévention de la noyade intégrant un modèle prévisionnel du risque, chez l'adulte.

## 5.2 Méthodes

J'ai mené une *scoping review*, dont la méthode a suivi le cadre défini par Arksey (2005) et Peters (2015). Le but étant d'identifier les concepts relatifs à la question de recherche, les articles n'ont pas été sélectionnés selon le type d'étude ni leur qualité méthodologique. Seuls les articles publiés en anglais jusqu'en 2019 ont été analysés.

Concernant les études antérieures à 2012, seules les interventions de prévention de la noyade retrouvées dans la revue de la littérature citée précédemment (Leavy 2015) ont été incluses. Pour retrouver les interventions postérieures à 2012, une recherche a été effectuée sur MEDLINE, avec les mots-clés « drowning », « intervention » et « prevention ». Par la suite, les actions de prévention associées aux avalanches ont été recherchées sur MEDLINE à l'aide des mots-clés « avalanche » et « prevention ». Enfin, la recherche d'utilisations des modèles comportementaux a été faite en associant « drowning » ou « avalanche » aux mots-clés « model » ou « behaviour ».

Les critères d'exclusion étaient les suivants :

- population d'âge cible inférieur à 10 ans ;
- cadre professionnel ou hors loisirs.

Une première recherche a été effectuée, puis celle-ci a été affinée en ajoutant des mots-clés d'exclusion (*driver, alcohol, epilepsy*). Une première sélection a été faite sur les titres, puis sur les résumés des articles. Les articles ainsi sélectionnés étaient lus dans leur intégralité. Les résultats des recherches ont été listés sur un fichier de données (LibreOffice Calc v. 6.3). Ce fichier a été complété avec, pour chaque article, les références, le type d'étude, la population étudiée, la théorie comportementale utilisée, les résultats principaux et le type d'interventions.

Les interventions ont été analysées selon la *Behaviour Change Wheel* (Michie 2011) en décrivant les fonctions d'interventions (tableau 5.1 p. 104), les politiques (tableau 5.2 p. 104) et les sources du changement attendus présentés en introduction ; la composante utilisée du modèle COM-B a également été notée.

La *scoping review* est encore en cours, car ces analyses doivent être validées par un deuxième chercheur. Elle nécessite également l'application formelle d'une technique de cartographie et de synthèse des concepts rencontrés et de leur pertinence pour intégrer un modèle de prédiction.

### 5.3 Résultats

Les trois axes de recherche ont ramené 545 résultats dont 40 doublons (diagramme de flux figure 5.2). Cinquante articles ont été lus. Deux études interventionnelles et quatre évaluations d'interventions concernant la noyade ont été retrouvées. Cinq autres études associant théorie comportementale et noyade ont été identifiées. Enfin, six études utilisant des théories comportementales ont été retrouvées dans le cadre de la prévention des risques liés aux avalanches.

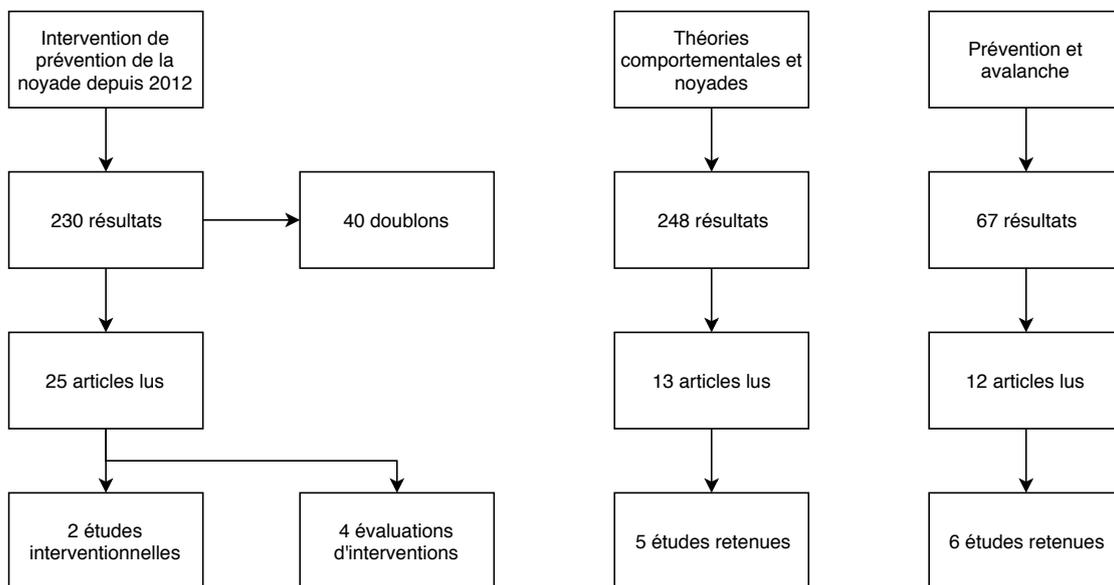


FIGURE 5.2 – Diagramme de flux des recherches d'interventions de prévention de la noyade chez l'adulte, de l'utilisation de théories comportementales dans ce domaine et d'actions de prévention dans le domaine des avalanches.

### 5.3.1 Interventions de prévention de la noyade chez l'adulte

La recherche d'intervention de prévention de la noyade depuis 2012 a ramené 230 résultats dont 40 étaient en doublon. Deux études interventionnelles ont été trouvées. Avant 2012, six interventions étaient recensées par Leavy (2015).

La première intervention portait sur la prévention des noyades chez les pêcheurs de bord de mer en Australie (Hatfield 2012). Les théories cognitives comportementales ont été utilisées pour mettre en place des signalisations et des messages de prévention diffusés par des tracts. Ceux-ci mettaient l'accent sur la reconnaissance du danger et la consigne de se baigner dans les zones surveillées. Des brochures indiquaient la conduite à tenir lorsqu'on est pris dans un courant d'arrachement. L'évaluation mesurait le taux de pénétration de la campagne parmi les usagers des plages, comparant la zone d'intervention à d'autres plages. La contamination entre les zones d'étude n'a pas été prise en compte. Les résultats montraient une meilleure reconnaissance des dangers après l'intervention, 62,8 % des personnes interrogées identifiaient correctement les courants, contre 47,2 % auparavant. Il était retrouvé une diminution des personnes déclarant vouloir aller sur une plage non surveillée, mais l'intention de nager dans la zone de bain n'était pas améliorée (68,7 % après contre 61,1 % avant, différence non significative).

La deuxième intervention concernait les MNS dans les piscines, aux États-Unis (Schwebel 2007). Elle utilisait le *Health Belief Model* pour mettre au point une formation brève des MNS pour améliorer leurs capacités de surveillance. L'évaluation mesurait la reconnaissance des comportements à risque et montrait une amélioration de la surveillance après intervention. Le temps de distraction des MNS était divisé par trois. Le nombre de balayage du regard de la zone surveillée durant la période de mesure était augmenté de 27 %.

La troisième étude concernait les pêcheurs du bord de mer en Nouvelle-Zélande (Moran 2011). L'intervention consistait en une campagne de communication et une signalisation du danger lié aux vagues sur les lieux de pêche. La population à risque étant d'origine chinoise, des médiateurs sinophones avaient été employés. L'étude a montré une amélioration de la connaissance des dangers. L'utilisation de gilets de sauvetage a été significativement

augmentée de 34 % à 72 %. Le comportement en cas de mauvais temps n'était cependant pas modifié.

La quatrième étude était une mesure de l'utilisation des gilets de sauvetages chez les plaisanciers dans l'État de Washington aux États-Unis (Treser 1997). L'intervention consistait en une campagne d'information, des incitations à l'achat de gilets et des événements communautaires. Si une amélioration du port de gilet de sauvetage a été observée, cette étude ne permettait pas d'étudier les mécanismes du changement de comportement.

Les deux dernières études mentionnées par Leavy étaient des évaluations rétrospectives de la mise en place d'une régulation locale aux États-Unis. La première portait sur les gilets de sauvetage (Cummings 2011) et la seconde sur l'augmentation de l'âge minimal légal pour la consommation d'alcool (Howland 1998).

Le premier résultat de la nouvelle recherche effectuée est une intervention auprès de 135 adolescents, en Nouvelle-Zélande (Petross 2014). Il n'y avait pas de modèle comportemental associé à l'intervention. Celle-ci consistait en une série de 12 formations hebdomadaires comprenant une session théorique et deux sessions pratiques, avec l'enseignement de généralités sur la noyade, de gestes de secourisme, de consignes de sécurité... L'évaluation était réalisée par un questionnaire. Les résultats ont montré une amélioration des connaissances et de la capacité de nage, mais pas de l'attitude vis-à-vis du danger. En particulier, le respect de la consigne « nager entre les drapeaux » n'était pas amélioré.

La seconde est une intervention réalisée sur la façade maritime caspienne de l'Iran, concernant la population locale et les touristes (Davoudi-Kiakalayeh 2013). Il n'y avait pas de théorie comportementale sous-jacente mentionnée pour guider cette intervention. Elle consistait en une diffusion de messages de prévention *via* les médias, la formation de promoteurs de santé publique, l'aménagement des côtes et une augmentation des moyens de surveillance et de sauvetage. L'évaluation comparait l'incidence des noyades sur deux ans avant et deux ans pendant l'intervention, et la zone d'intervention à une zone témoin. L'intervention s'est révélée efficace avec une division par deux du taux de noyades mortelles. L'investissement semblait toutefois important : multiplication du nombre de MNS par 10,

des postes de secours par 7,5 et deux heures de messages radiophoniques ou télévisés par jour pendant les trois mois d'été.

Ainsi, par rapport à la revue de la littérature publiée en 2015, nous n'avons pas retrouvé de nouvelle intervention reposant sur une théorie comportementale dans le cadre de la noyade chez l'adulte.

La caractérisation des théories de changement de comportement utilisées par les six premières interventions montrait une forte proportion de politiques de communication (tableau 5.3). Toutes les interventions en comprenaient au moins une, à l'exception de l'étude de Schwebel (2007) qui consistait uniquement en une formation des MNS pour améliorer leurs capacités de surveillance.

L'intervention la plus répandue était l'éducation, principalement pour renforcer les capacités psychologiques de reconnaissance du danger. Seule l'étude iranienne a explicitement fait appel à une modification de l'environnement de baignade. La fourniture de services était présente dans deux interventions (Davoudi-Kiakalayeh 2013 ; Treser 1997).

TABLEAU 5.3 – Analyse des théories de changement comportemental utilisées dans les interventions de prévention de la noyade chez l'adulte et l'adolescent, selon la *Behaviour Change Wheel*.

Auteur (année)	Pays	Population/lieu	Théorie comportementale	Politique	Intervention	Source du changement	COM-B
Hatfield (2012)	Australie	Adultes/plage	Théorie cognitive comportementale	Communication	Éducation	Réfléchi	Motivation
				Communication	Éducation	Psychologique	Capacité
				Communication Recommandations	Encouragement Capacitation	Réfléchi Psychologique	Motivation Capacité
Schwebel (2007)	États-Unis	MNS/piscine	<i>Health Belief Model</i>	Recommandations	Éducation	Psychologique	Capacité
Moran (2011)	Nouvelle-Zélande	Pêcheurs/plage	NR <sup>1</sup>	Communication	Éducation	Réfléchi	Motivation
Treser (1997)	États-Unis	Adultes/bateaux	NR <sup>1</sup>	Communication	Éducation	Réfléchi	Motivation
				Fourniture de services	Capacitation	Social	Occasion
Petrass (2014)	Nouvelle-Zélande	Adolescents/tous	NR <sup>1</sup>	Communication	Éducation	Réfléchi	Motivation
				Fourniture de services	Entraînement	Psychologique Physique	Capacité Capacité
Davoudi-Kiakalayeh (2014)	Iran	Générale/tous	NR <sup>1</sup>	Communication	Éducation	Psychologique	Capacité
				Fourniture de services	Éducation	Physique	Capacité
				Communication Planification env.	Exemplarité Restruct. env.	Automatique Social	Motivation Occasion

<sup>1</sup>NR : Non Renseignée

Concernant l'utilisation de théories comportementales dans le cadre de la noyade, les recherches menées ont ramené 248 résultats. Parmi ceux-ci, cinq études utilisaient spécifiquement une théorie. Une mentionnait le *Health Belief Model* (Glassman 2018) et l'utilisait chez l'enfant et l'adolescent. La théorie du comportement planifié a été utilisée dans trois autres études (Hamilton 2015; Quistberg 2014; K. White 2010). La *Protection Motivation Theory* a été utilisée pour analyser la perception du risque dans une étude (McCool 2009).

Trois études évaluaient spécifiquement une intervention. Toutes concernaient le port de gilets de sauvetage et avaient été menées après l'intervention (Bugeja 2014; Cassell 2015; Mangione 2014). Une étude utilisait la méthode de *focus group* pour déterminer quels pouvaient être les facteurs incitant au port du gilet de sauvetage (Quistberg 2014).

Une étude a comparé une campagne d'information et la mise en place d'une réglementation concernant le port de gilets de sauvetage, dans deux États différents aux États-Unis (Chung 2014). L'étude a évalué le taux de port des gilets et a montré une supériorité de la législation.

### 5.3.2 Interventions de prévention dans le contexte des avalanches

Dans le contexte des avalanches, un article a recensé les modèles comportementaux susceptibles d'être utilisés pour comprendre les facteurs humains à l'origine des accidents (McCammon 2009). Ces modèles sont orientés vers la prise de décision (skier hors-piste ou non). En particulier, le modèle de vigilance limité (*Bounded Vigilance Model*) émet l'hypothèse que la prise de conscience du risque peut être améliorée par l'apport d'un petit nombre d'informations judicieusement choisies.

La corrélation entre les prévisions du danger et les accidents liés aux avalanches a été étudiée dans la région du Tyrol autrichien (Rainer 2008). Cette étude analysant 76 avalanches avec 137 victimes sur 10 ans n'a pas retrouvé de lien entre le risque prévu et la fréquence des accidents. Aucune avalanche n'a fait l'objet d'intervention des secours lorsque le risque était au plus bas. Mais les auteurs ont montré que 63 % des avalanches, représentant 44,4 % des décès, ont eu lieu alors que le risque était modéré (niveau 3 sur 5). L'étude ne permettait

pas de déterminer si le faible nombre de victimes pour les niveaux de risques élevés était la conséquence des prévisions ou non. Il est possible, en effet, que lorsqu'un risque 4 ou 5 sur 5 est annoncé, les usagers de la montagne s'exposent moins au danger.

Nous avons retrouvé une étude comparant le risque d'avalanche prévu et le risque perçu (Silverton 2009). Au total, 353 personnes ont été interrogées sur leur perception du risque, et les résultats ont été confrontés avec les niveaux de risque donnés par l'organisme de prévision local. La perception du risque était différente selon l'activité pratiquée. Deux groupes comportaient une forte proportion de personnes sous-estimant le risque : les randonneurs en raquette (45,5 %) et les utilisateurs de motoneiges (22,7 %). Au contraire, seuls 10 % des skieurs et snowboarders sous-estimaient le risque. Des tendances étaient remarquées en fonction de l'âge et du sexe.

Au Canada, un outil d'estimation du risque, à utiliser sur site par les usagers de la montagne, a été développé (Avaluator, McCammon 2007). Mais les évaluations de sa fiabilité sont discordantes selon les années et les régions. Aussi son usage est remis en cause (Uttl 2008). Nous n'avons pas trouvé d'évaluation.

L'influence d'un modèle de prévision des avalanches sur la prise de risque a été étudiée par Haegeli (2012). Cet article présente une méthode intéressante qui permet, entre autre, d'évaluer l'impact d'une échelle de risque sur les choix des skieurs hors-pistes. Cette étude a également pris en compte divers facteurs individuels qui interagissent avec la prise de décision. Les skieurs étaient évalués selon deux axes : la recherche de sensations fortes, *via* une échelle validée (BSSS-8)<sup>1</sup> et les habitudes de pratiques.

Les interventions des secours en montagne liées à une avalanche en Norvège ont été analysées sur 21 ans (Lunde 2019). Cette étude a constaté que les secours sont fréquemment déclenchés sans qu'il n'y ait de victime. Les auteurs ont alors intégré le niveau de risque prévu dans la décision du type de secours engagé. Il n'est pas précisé si cette modification fera l'objet d'une évaluation.

---

<sup>1</sup>BSSS : *Brief Sensation Seeking Scale* (Hoyle 2002)

## 5.4 Discussion

Les interventions de prévention de la noyade chez l'adulte dans le cadre de loisir ont fait l'objet de peu d'études. Certaines politiques de prévention ont été étudiées *a posteriori*. Nous avons également retrouvé plusieurs études d'analyses comportementales qui n'ont pas fait l'objet d'intégration dans une intervention.

L'analyse des interventions montre une forte prédominance de la fonction d'éducation des populations cibles. Deux approches complémentaires ont été relevées : une instruction pour reconnaître le danger et une diffusion de consignes pour l'éviter (« se baigner entre les drapeaux »). La connaissance ou la reconnaissance du danger n'implique pas nécessairement une modification de comportement et l'explicitation de ce mécanisme est nécessaire. Ce lien doit être mesuré : associé à la mesure de l'impact d'une campagne de prévention, cela permettrait de mieux en estimer l'efficacité.

Seule l'étude Iranienne a pris en compte l'aménagement des plages au-delà de la mise en place de panneaux de signalisation. Pourtant, la disposition des accès aux plages peut orienter le baigneur vers les zones surveillées (Ménard 2018). Cette politique mérite d'être étudiée, en particulier en Gironde où les accès sont nombreux et parfois éloignés des postes de secours. Une seule intervention mesurait spécifiquement le nombre de noyades (Davoudi-Kiakalayeh 2013). Celles portant sur le gilet de sauvetage ont pu mesurer le taux d'utilisation.

Des mesures du taux de personnes se baignant en zone de bain peuvent être envisagées. À l'aide d'algorithmes de traitement vidéo, les images de caméras disposées sur les plages pourraient être analysées. Cela permettrait de connaître les facteurs décourageant les personnes à aller se baigner dans la zone de bain (densité, distance...), la proportion de baigneurs et la durée de baignade.

Le dénominateur, à savoir le nombre de personnes sur la plage, est un point-clé de l'évaluation. Un dispositif de caméra statique serait insuffisant pour le déterminer sur de grandes zones. On peut imaginer utiliser le dénombrement des connexions aux antennes relais ou la mesure d'affluence aux parking, comme cela a déjà été fait pour d'autres buts.

Parmi les études recensées, plusieurs utilisaient des questionnaires pour mesurer l'exposition au risque. L'utilisation de questionnaires peut être associée à des biais, notamment de désirabilité sociale. Ils restent cependant nécessaires pour évaluer l'impact des messages de prévention sur les connaissances et certaines modifications de comportement. Ils doivent être élaborés en utilisant des théories comportementales.

Nous avons identifié plusieurs théories comportementales utilisées dans la prévention de la noyade chez l'adulte. Le *Health Belief Model* a été principalement employé, à l'instar des autres domaines de prévention des traumatismes. La théorie du comportement planifié a également été utilisée. Les recherches concernant les avalanches ont utilisé d'autres modèles, notamment dans l'analyse de la prise de risque. Ces théories comportementales sont probablement plus adaptées aux personnes pratiquant des sports à risque. Leur utilisation peut donc être envisagée pour étudier le comportement des bodyboarders ou des surfeurs. Adapté à la communication, ce type de modèle suppose par exemple que la diffusion d'un niveau de risque, associé à des messages-clés simples, peut améliorer la conscience des dangers existants sur les plages.

Les méthodes de surveillances et de prévention des MNS n'ont pas fait l'objet de mesure d'efficacité. Cette évaluation, en y associant l'analyse des populations et comportements à risques, permettrait aux MNS de cibler leurs actions et d'en améliorer l'efficacité. Une intervention visant à limiter la traumatologie océane doit également s'intégrer dans la chaîne de secours actuelle et être acceptée par les différents acteurs. Un modèle de prévision permettrait d'anticiper les moyens des MNS et de la Sécurité Civile, particulièrement hors saison. Une étude qualitative, du type *focus group*, portant sur les MNS permettrait de connaître leurs réactions face à certaines politiques, en particulier l'intégration d'un modèle de prévision du risque.

Enfin, d'autres études qualitatives permettraient d'établir les croyances et représentations qui pourraient faire obstacle à la modification des comportements. L'évaluation des usagers des plages pourrait permettre d'élaborer les messages adéquats. D'autre part, l'évaluation des modèles de prévisions concernant le risque volcanique ou le risque d'inondation ont

montré que les différences entre le niveau prévu, le danger réel et le danger tel qu'il est perçu peuvent affecter la confiance des usagers dans les modèles prévisionnels (Kellens 2013 ; Njome 2010). Cela peut être anticipé par ces études. On peut également envisager d'analyser les différences de représentations selon les populations concernées (baigneurs, surfeurs...).

## 5.5 Proposition d'un cadre théorique

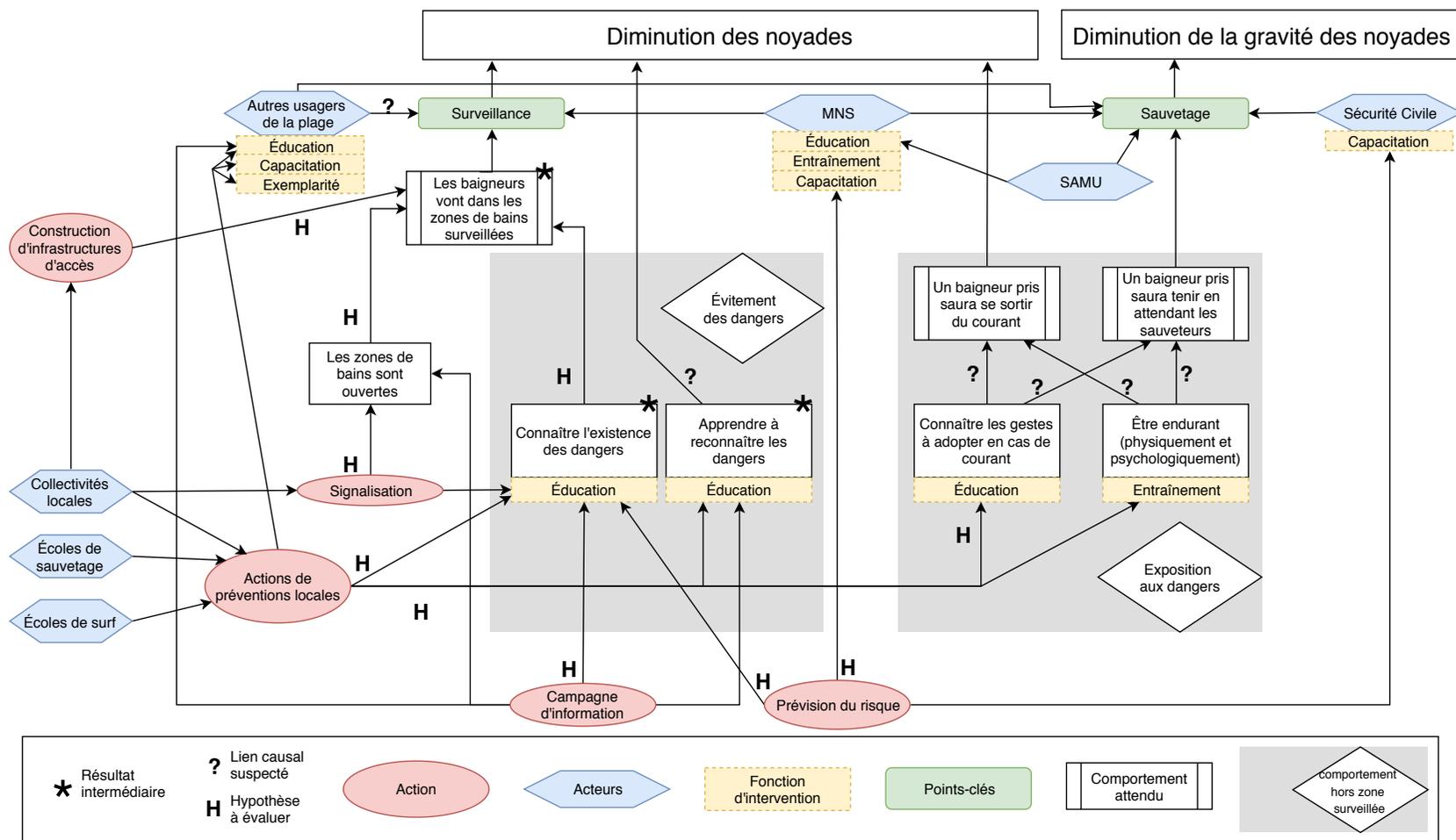
Partant de ces résultats, une ébauche d'intervention et son évaluation peut être envisagée. La prise en compte du contexte dans le cadre d'une évaluation guidée par la théorie permettrait d'étudier le lien entre les actions de prévention et les modifications des comportements. Particulièrement, le lien entre connaissance du risque et comportement doit être étudié.

Cette évaluation reposant sur la théorie du changement permettrait d'éviter les écueils retrouvés dans le dispositif de prévention du « risque avalanche », dont l'efficacité n'a jamais pu être démontrée. Une telle intervention doit prendre en compte les difficultés évoquées par les maires. En effet, il convient de se demander si diminuer l'exposition aux dangers n'aurait pas pour conséquence de diminuer le tourisme. Les coûts des interventions et la survenue d'effets indésirables doivent pouvoir être mesurés.

En attendant la mise en place d'une intervention, il est possible de modéliser certaines décisions. On peut ainsi étudier, en utilisant le modèle développé dans le chapitre 4, la mise en place de moyens supplémentaires de surveillance et de sauvetage et leur potentiel impact sur la gravité des noyades. Cependant, cela nécessite de renforcer le système d'information.

La figure 5.3 montre une ébauche d'intervention de prévention de la noyade chez les baigneurs. Les acteurs de la prévention et du sauvetage et les modifications comportementales attendues peuvent être liés entre eux, ces liens constituant des hypothèses de causalité à vérifier. La figure ne se veut pas exhaustive et d'autres liens existent, mais elle permet de représenter une partie de la complexité.

FIGURE 5.3 – Ébauche d'évaluation guidée par la théorie d'une intervention de prévention des noyades sur les côtes girondines. Les résultats souhaités sont la diminution de la quantité et de la gravité des noyades. Pour cela, les deux axes sont la surveillance des baigneurs et le sauvetage des personnes en difficultés (points-clés). Les acteurs interagissent entre eux via des actions dont les principales sont représentées. Elles mettent en œuvre des fonctions d'intervention visant à modifier les comportements, pour aboutir au comportements attendus. Les résultats intermédiaires permettent de mesurer différents mécanismes d'actions. Certaines hypothèses peuvent être évaluées (H), mais certains liens suspectés (?) ne peuvent pas être mesurés directement.



L'intervention comporte deux objectifs finaux : la diminution du nombre de noyades et la diminution de la gravité des noyades. Le premier objectif passe par l'amélioration de la surveillance, le deuxième par l'augmentation des capacités de sauvetage.

La surveillance dépend, dans notre modèle théorique, de trois facteurs. Tout d'abord, les MNS, qui surveillent directement les baigneurs. D'autre part, les autres usagers de la plage, qui peuvent constituer des surveillants occasionnels. Cependant, ce lien suspecté est mal évalué. Enfin, l'efficacité de la surveillance dépend de la proportion de baigneurs se rendant dans les zones de bain. Ce comportement doit faire l'objet de mesures utilisant des moyens innovant, comme nous l'avons vu auparavant.

Plusieurs facteurs peuvent diriger les usagers de la plage vers les zones de bain. En premier lieu, les zones surveillées ouvertes doivent être signalées localement par des panneaux et régionalement par des médias. Secondairement, nous avons émis l'hypothèse que la connaissance d'un danger incite à aller vers les zones de bain. Cette hypothèse doit faire l'objet d'une évaluation.

Certains liens sont suspectés mais difficilement évaluables. Le lien entre la reconnaissance d'un danger et la diminution des noyades n'est pas évident. D'autre part, en cas d'exposition au danger, la force du lien entre la connaissance des gestes à adopter et la capacité de survie est seulement suspecté et sera difficile à évaluer.

La diffusion d'information sur les dangers peut passer par les médias locaux ou les offices de tourisme. L'importance du tourisme sur la côte n'incite pas les municipalités à évoquer les dangers. D'autre part, l'acceptabilité du danger est probablement difficile à admettre pour les touristes. D'autres acteurs peuvent participer à des actions de prévention : les écoles de sauvetage sportif, dont quelques-unes ont été créées récemment sur la côte girondine (Lège-Cap Ferret, Lacanau...) et les écoles de surf, très présentes sur toute la côte.

Un axe de modification comportementale à étudier est l'exemplarité : en formant certains groupes, certaines personnes, cela inciterait les autres usagers à adopter un comportement similaire. En effet, une étude montrait une altération de la confiance des personnes interro-

gées dans un modèle de prévision des courants de baïnes, car les autres usagers de la plages ne modifiaient pas leur comportements (Houser 2017).

L'augmentation des capacités de sauvetage passe par une adéquation des moyens de secours (MNS, Sécurité Civile, SAMU). Hors zones surveillées, les premiers intervenants sont généralement les autres usagers de la plage, notamment les surfeurs. L'amélioration de leur comportement peut passer par une éducation aux gestes de premiers secours et une sensibilisation à la surveillance. Ces actions peuvent passer par des structures existantes, comme les écoles de surf ou les écoles de sauvetage sportif récemment créées.

## CHAPITRE 6

# Discussion générale

---

Après avoir étudié la démographie des victimes des dangers liés aux vagues et marées sur les plages girondines, j'ai mis en place des modèles prédictifs des risques. En particulier, le niveau de risque de noyade peut être anticipé jusqu'à trois jours à l'avance. L'utilisation de ces modèles et son intégration dans une politique de prévention a fait l'objet de discussions. Autour de ces projets de recherches, plusieurs actions ont été entreprises durant mon doctorat.

### 6.1 Actions menées dans le cadre de ce travail

Dans le cadre de ce travail, j'ai cherché à faire partager les résultats non seulement avec la communauté scientifique, mais aussi avec les différentes institutions impliquées dans la surveillance des plages et la prévention de la noyade. Étant également praticien hospitalier au sein du pôle Urgences Adultes–SAMU/SMUR du CHU de Bordeaux, j'ai pu être au cœur de la chaîne de secours. Aussi, avec le docteur Bruno Simonnet, médecin dans le même pôle, j'ai participé à plusieurs actions envers les institutions.

#### 6.1.1 Lien avec les institutions

##### **Syndicat Intercommunal à Vocation Unique**

La surveillance des plages relève d'une compétence communale ; néanmoins certaines communes de Gironde se sont regroupées en Syndicat Intercommunal à Vocation Unique (SIVU)

afin notamment de gérer le recrutement des sauveteurs. Dès 2017, nous nous sommes mis en relation avec cette instance pour leur présenter nos travaux. Je participe depuis aux réunions d'avant et d'après saison en tant que conseiller technique avec Bruno Simonnet. Ces réunions ont permis d'avancer sur les problématiques de liaison entre le SAMU et les postes de secours. Des réunions d'échanges avec les secouristes ont été mises en place. Ainsi, depuis juin 2017, un rendez-vous avec les chefs des postes de secours civils est organisé en début de saison.

### **Direction Zonale Sud-Ouest des CRS**

La surveillance des postes étant assurée sur une partie de l'été (juillet et août) par des fonctionnaires de police des CRS, nous avons également travaillé avec la Direction Zonale Sud-Ouest des CRS. Cette instance est en charge de cette mission sur la côte girondine mais aussi sur le reste de la côte aquitaine. Une de leurs demandes a été de simplifier, de mettre à jour et d'uniformiser la fiche bilan utilisée par les secouristes.

Ce document, complété par les postes de secours pour être secondairement archivé, n'avait pas été mis à jour depuis plus de 10 ans ; de plus, les fonctionnaires de police se plaignaient de devoir remplir plusieurs documents redondants (préfecture, ministère de l'intérieur, main courante, fiche bilan). Nous avons donc modifié la fiche bilan pour la condenser et la mettre à jour. La classification de Szpilman et les éléments permettant de coder les noyades selon celle-ci ont été introduits. Cette fiche bilan a par ailleurs été intégrée à l'Ordre Particulier de Transmission (OPT) conditionnant l'organisation des secours sur les lieux de baignade surveillés de la Gironde (annexe B).

### **Préfecture et Agence Régionale de Santé**

L'OPT est un document émis pour chaque saison par le Service Interministériel de la Défense et de Protection Civile (SIDPC) de la préfecture de la Gironde. Depuis 2018, je suis sollicité, avec Bruno Simonnet, pour la validation de ce document, notamment sur le versant médical (nouvelle fiche bilan, mise à jour de la classification en quatre stades selon la définition

utilisée par Santé Publique France). Nous avons également pris contact directement avec le Préfet de la Gironde lors de la journée de présentation des dispositifs de secours estivaux en juin 2017 à Carcans-Maubuisson, occasion qui nous a permis de présenter le modèle prédictif.

Depuis, nous poursuivons les échanges avec la préfecture et la SIDPC et la directrice de cabinet de la Préfecture. Ce travail, en concertation avec l'Agence Régionale de Santé et le commandement de la base hélicoptère de la sécurité civile de Mérignac (responsable de Dragon 33), a débouché pour la saison 2019 sur une adaptation des moyens en fonction du risque prévu.

En effet, les périodes avant le 15 juin et après le 15 septembre sont des périodes où les postes de secours ne sont pas ouverts ou très partiellement. La question se posait de la mise en place d'un moyen hélicoptère disposant d'un plongeur, de sa médicalisation ainsi que son positionnement. Or, le manque de personnel médical rendait impératif d'identifier les périodes les plus à risque, qui nécessiteraient le positionnement d'un médecin directement dans l'aéronef. L'intégration du modèle prédictif a donc permis de préciser les différentes postures en fonction du niveau de risque, coté de 1 à 5.

Aux vues des potentielles répercussions en termes de santé publique, nous avons pris contact rapidement avec l'Agence Régionale de Santé de la Nouvelle-Aquitaine : en effet, l'utilisation à plus ou moins grande échelle d'un modèle prédictif sur le mode « bulletin météo / risque baignade » pourrait modifier la politique de prévention liée à ce risque spécifique.

### **Groupement d'Intérêt Public littoral**

Le Groupement d'Intérêt Public (GIP) littoral de Nouvelle-Aquitaine est un organisme qui est chargé de la gestion de la bande côtière et de la planification des projets d'aménagement touristique et des milieux touristiques. Nous avons donc participé le 14 juin 2019, à Capbreton, à une journée thématique dont une partie était consacrée à la sécurité des usagers sur les plages. Cependant la gestion du secours n'est pas directement de la compétence de cet organisme.

À cette occasion, nous avons pu prendre contact avec le Syndicat Mixte de Gestion des Baignades Landaise (SMGBL) qui gère les postes de secours sur les plans d'eau et le littoral des Landes et des Pyrénées-Atlantiques, ainsi qu'avec le SDIS 17 en charge de l'organisation des secours côtiers en Charente-Maritime. Ces liens permettront d'envisager l'extension d'une intervention au niveau de la région Nouvelle Aquitaine et, éventuellement, de choisir des territoires témoins dans le cadre d'une évaluation.

### **6.1.2 Liaison avec les SAMU côtiers néo-aquitains**

Toute la côte de Nouvelle-Aquitaine étant soumise aux mêmes conditions de houle et présentant des plages similaires, nous avons souhaité partager notre expérience avec les SAMU des Pyrénées Atlantique (64A), des Landes (40) et de la Charente Maritime (17). Les contraintes et difficultés rencontrées dans la prise en charge des événements liés à la plage (noyade et traumatismes essentiellement) sont identiques et nous ont conduit à entamer un travail commun.

## **6.2 Autres perspectives**

À l'issue de ce travail, plusieurs pistes se dessinent pour les futures recherches. La suite logique est l'amélioration et l'extension du recueil des données à la région. Il est également indispensable, dans cet environnement côtier, de s'interroger sur les effets des changements globaux (changement climatique, érosion des plages, élévation du niveau de la mer). Ces pistes de travail ont été intégrées dans un projet de collaboration avec des physiciens, sociologues et économistes. Celui-ci a été proposé dans le cadre d'un Grand Projet de Recherche de l'université de Bordeaux.

### **6.2.1 Amélioration du recueil de données**

L'estimation de l'exposition aux dangers sur la plage est une donnée essentielle, qui manque actuellement. Plusieurs pistes ont été envisagées pour mesurer l'affluence sur les plages.

Il serait possible d'utiliser des caméras avec des programmes de reconnaissance d'image permettant de compter les personnes présentes, en séparant les baigneurs des personnes sur la plage. Les données de connexion aux réseaux téléphoniques peuvent être également utilisées. Cela a déjà été fait pour anticiper les trafics routiers durant l'été 2016 sur six plages de Gironde<sup>1</sup>. Dans le cadre d'une étude sur une plage donnée, une mesure des entrées et sorties sur la plage pourrait être faite à l'aide de bracelets donnés à l'arrivée, associés à des incitatifs pour rendre le bracelet au départ. L'acceptabilité de telles mesures doit être évaluée par des approches qualitatives.

Une base de données unique, regroupant les informations provenant des secouristes et du SAMU, est également à l'étude. Associée à une remontée d'information en temps réel, elle permettrait une surveillance continue et précise de la traumatologie océane. Plusieurs procédés de liaison entre les postes de secours et le SAMU sont envisagés. En particulier, l'utilisation de moyens de télé-médecine fait l'objet d'un dossier régional d'Aide aux Missions d'Intérêt (AMI) en cours d'élaboration.

### **6.2.2 Implications du changement climatique**

Les risques liés aux vagues et marées sur la côte girondine sont intimement liés aux conditions météorologiques de l'Atlantique nord. En effet, la houle est majoritairement formée au large des côtes. Les houles longues sont la conséquence de tempêtes, voire de cyclones, évoluant dans cette région. Or, ces houles longues, avec l'allongement de la période des vagues, sont propices à l'apparition de forts courants et de puissantes vagues de bord, sans pour autant que l'apparence des vagues ne soit modifiée, car la hauteur des vagues reste initialement inchangée. Ainsi, les tempêtes au large sont génératrices de danger sur les plages girondines.

Le changement climatique en cours fait craindre l'augmentation en nombre et en intensité des cyclones et des tempêtes (Grinsted 2013). La saison des cyclones va de juin à novembre dans l'Atlantique nord, avec un pic en septembre. Il y a donc le risque que des conditions dangereuses apparaissent plus tôt, dès le mois de juillet, et que la fréquence et l'intensité

---

<sup>1</sup>Description succincte à l'adresse [weareants.fr](http://weareants.fr), vérifié le 17 septembre 2019

des dangers augmentent en août. Ces hypothèses méritent d'être évaluées, ainsi que les implications qu'elles auraient sur les secours à la plage.

D'autre part, il est possible que les modèles de prévision nécessitent des ajustements pour prendre en compte les modifications des dangers et des facteurs d'exposition. Enfin, l'élévation du niveau de mer et les modifications du trait de côte pourraient impacter les infrastructures et la morphologie des plages, donc la survenue des dangers et la prise en charge des victimes. Ces effets doivent également être pris en compte.

### **6.2.3 Projet SWYM**

La prise en compte des dimensions sociales, économiques, physiques et médicales des noyades et traumatismes liés aux vagues et marées est le cœur du projet SWYM (*Surf zone hazards, recreational beach use and Water safety Management in a changing climate*). Il a été proposé comme *Work Package* au sein d'un Grand Projet de Recherche, mené par Bruno Castelle, physicien à l'université de Bordeaux, en collaboration avec Jeffrey Dehez, économiste à l'université de Bordeaux.

Le projet fera appel à des partenaires pour le développement de technologies liées au recueil de données ou à la surveillance des plages. Enfin, des collaborateurs internationaux y participeront (Rob Brander –University of New South Wales, Australie– et Tim Scott –Plymouth University, Royaume-Uni). La lettre d'intention est disponible en annexe F.

# Références

---

- Agresti, A. (2010). *Analysis of ordinal categorical data*. doi :10.1002/9780470594001
- Aldoory, L. (2005). Using communication theory in injury prevention campaigns. *Injury Prevention*, 11(5), 260–263. doi:10.1136/ip.2004.007104
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19–32. doi:10.1080/1364557032000119616
- Austin, M., Scott, T., Russell, P., & Masselink, G. (2013). Rip current prediction: development, validation, and evaluation of an operational tool. *Journal of Coastal Research*, 29(2), 283–300. doi:10.2112/JCOASTRES-D-12-00093.1
- Barthe, X. & Castaing, P. (1989). tude théorique de l'action des courants de marée et des houles sur les sédiments du plateau continental du Golfe de Gascogne. *Oceanologica Acta*, 12(4), 325-334.
- Bierens, J. (2014). *Drowning* (Springer). doi:10.1007/978-3-642-04253-9
- Bradstreet, A., Brander, R., McCarroll, J., Brighton, B., Howes, D., Drozdowski, D., ... MacMahan, J. (2014). Rip current survival principles: towards consistency. *Journal of Coastal Research*, 72, 85–92. doi:10.2112/si72-016.1
- Brannstrom, C., Trimble, S., Santos, A., Brown, H., & Houser, C. (2014). Perception of the rip current hazard on Galveston Island and North Padre Island, Texas, USA. *Natural Hazards*, 72(2), 1123–1138. doi:10.1007/s11069-014-1061-3

- Bruneau, N., & Castelle, B. (2009). Field observations of an evolving rip current on a meso-macrotidal well-developed inner bar and rip morphology. *Continental Shelf Research*, 29, 1650–1662. doi:10.1016/j.csr.2009.05.005
- Bugeja, L., Cassell, E., Brodie, L. R., & Walter, S. J. (2014). Effectiveness of the 2005 compulsory personal flotation device (PFD) wearing regulations in reducing drowning deaths among recreational boaters in Victoria, Australia. *Injury Prevention*, 20(6), 387–392. doi:10.1136/injuryprev-2014-041169
- Cambon, L., Terral, P., & Alla, F. (2019). From intervention to interventional system: towards greater theorization in population health intervention research. *BMC Public Health*, 19(1), 339. doi:10.1186/s12889-019-6663-y
- Canals, M. & Morell, J. (2015). A nearshore breaker prediction system for Puerto Rico and the United States Virgin Islands in support of beach safety and drowning prevention. In *OCEANS'15 MTS/IEEE Washington* (p. 1-10). IEEE.
- Carpenter, B., Gelman, A., Hoffman, M., Lee, D., Goodrich, B., Betancourt, M., ... Riddell, A. (2017). *Stan* : a probabilistic programming language. *Journal of Statistical Software*, 76(1). doi:10.18637/jss.v076.i01
- Cassell, E., & Newstead, S. (2015). Did compulsory wear regulations increase personal flotation device (PFD) use by boaters in small power recreational vessels? A before-after observational study conducted in Victoria, Australia. *Injury Prevention*, 21(1), 15–22. doi:10.1136/injuryprev-2014-041170
- Castelle, B., Bonneton, P., Dupuis, H., & Sénéchal, N. (2007). Double bar beach dynamics on the high-energy meso-macrotidal French Aquitanian Coast: A review. *Marine Geology*, 245, 141–159. doi:10.1016/j.margeo.2007.06.001
- Castelle, B., Brander, R., Tellier, E., Simonnet, B., Scott, T., McCarroll, J., ... Lechevrel, P. (2018). Surf zone hazards and injuries on beaches in SW France. *Natural Hazards*, 93(3), 1317–1335. doi:10.1007/s11069-018-3354-4

- Castelle, B., Scott, T., Brander, R., McCarroll, J., Robinet, A., Tellier, E., ... Salmi, L. (2019). Environmental controls on surf zone injuries on high-energy beaches. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1–35. doi:10.5194/nhess-2019-96
- Castelle, B., Scott, T., Brander, R., & McCarroll, R. (2016). Rip current types, circulation and hazard. *Earth-Science Reviews*, 163, 1–21. doi:10.1016/j.earscirev.2016.09.008
- CEREMA Eau, mer et fleuves - ER/MMH. (2014). Candhis (Centre d'Archivage National de Données de Houle In-Situ). Récupérée à partir de <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>
- Chang, S., Tominaga, G., Wong, J., Weldon, E., & Kaan, K. (2006). Risk factors for water sports-related cervical spine injuries. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, 60(5), 1041–1046. doi:10.1097/01.ta.0000218256.39295.8f
- Chebon, S., Faes, C., Cools, F., & Geys, H. (2016). Models for zero-inflated, correlated count data with extra heterogeneity: when is it too complex? *Statistics in Medicine*, 36(2), 345–361. doi:10.1002/sim.7142
- Chen, H.-T., & Rossi, P. H. (1989). Issues in the theory-driven perspective. *Evaluation and Program Planning*, 12(4), 299–306. doi:10.1016/0149-7189(89)90046-3
- Chung, C., Quan, L., Bennett, E., Kernic, M. A., & Ebel, B. E. (2014). Informing policy on open water drowning prevention: an observational survey of life jacket use in Washington State. *Injury Prevention: Journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention*, 20(4), 238–243. doi:10.1136/injuryprev-2013-041005
- Claesson, A., Lindqvist, J. & Herlitz, J. (2014). Cardiac arrest due to drowning—changes over time and factors of importance for survival. *Resuscitation*, 85(5), 644–648. doi :10.1016/j.resuscitation.2014.02.006
- Claesson, A., Svensson, L., Nordberg, P., Ringh, M., Rosenqvist, M., Djarv, T., ... Hollenberg, J. (2017). Drones may be used to save lives in out of hospital cardiac arrest due to drowning. *Resuscitation*, 114, 152–156. doi :10.1016/j.resuscitation.2017.01.003

- Cole, S., & Ananth, C. (2001). Regression models for unconstrained, partially or fully constrained continuation odds ratios. *International Journal of Epidemiology*, 30(6), 1379–1382. doi:10.1093/ije/30.6.1379
- Commenges, D. & Jacqmin-Gadda, H. (2015). *Modèles biostatistiques pour l'épidémiologie* (1re Édition). de Boeck supérieur.
- Cortés, L., Hargarten, S. & Hennes, H. (2006). Recommendations for water safety and drowning prevention for travelers. *Journal of Travel Medicine*, 13(1), 21-34. doi :10.1111/j.1708-8305.2006.00002.x
- Cummings, P., Mueller, B. A., & Quan, L. (2011). Association between wearing a personal floatation device and death by drowning among recreational boaters: a matched cohort analysis of United States Coast Guard data. *Injury Prevention*, 17(3), 156–159. doi:10.1136/ip.2010.028688
- Davoudi-Kiakalayeh, A., Mohammadi, R., Yousefzade-Chabok, S., & Jansson, B. (2013). Evaluation of a community-based drowning prevention programme in northern Islamic Republic of Iran. *Eastern Mediterranean Health Journal = La Revue De Sante De La Mediterranee Orientale = Al-Majallah Al-Sihhiyah Li-Sharq Al-Mutawassit*, 19(7), 629–637.
- De Silva, M., Breuer, E., Lee, L., Asher, L., Chowdhary, N., Lund, C., & Patel, V. (2014). Theory of Change: a theory-driven approach to enhance the Medical Research Council's framework for complex interventions. *Trials*, 15(1), 267. doi:10.1186/1745-6215-15-267
- DeLong, E., DeLong, D., & Clarke-Pearson, D. (1988). Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics*, 44(3), 837. doi:10.2307/2531595
- Denehy, M., Crawford, G., Leavy, J., Nimmo, L., & Jancey, J. (2016). Formative research to develop theory-based messages for a Western Australian child drowning prevention television campaign: study protocol. *BMJ open*, 6(5), e010033. doi:10.1136/bmjopen-2015-010033

- Denehy, M., Leavy, J., Jancey, J., Nimmo, L., & Crawford, G. (2017). This Much Water: a qualitative study using behavioural theory to develop a community service video to prevent child drowning in Western Australia. *BMJ open*, 7(7), e017005. doi:10.1136/bmjopen-2017-017005
- Dicker, D., Nguyen, G., Abate, D., Abate, K., Abay, S., Abbafati, C., ... Murray, C. J. L. (2018). Global, regional, and national age-sex-specific mortality and life expectancy, 1950–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, 392(10159), 1684–1735. doi:10.1016/S0140-6736(18)31891-9
- Doelp, M., Puleo, J., Cowan, P., & Arford-Granholm, M. (2018). Characterizing surf zone injuries from the five most populated beaches on the Atlantic-fronting Delaware coast. *The American Journal of Emergency Medicine*, 36(8), 1372–1379. doi:10.1016/j.ajem.2017.12.053
- Dziak, J., Coffman, D., Lanza, S., & Li, R. (2012). *Sensitivity and Specificity of Information Criteria* (Technical Report No. 12-119). The Pennsylvania State University.
- Gelman, A., & Rubin, D. B. (1992). Inference from iterative simulation using multiple sequences. *Statistical Science*, 7(4), 457–472. doi:10.1214/ss/1177011136
- Glassman, T., Castor, T., Karmakar, M., Blavos, A., Dagenhard, P., Domigan, J., ... Kucharewski, R. (2018). A social marketing intervention to prevent drowning among inner-city youth. *Health Promotion Practice*, 19(2), 175–183. doi:10.1177/1524839917732559
- Green, L. (1974). Toward cost-benefit evaluations of health education: some concepts, methods, and examples. *Health Education Monographs*, 2, 34–64. doi:10.1177/10901981740020S106
- Grinsted, A., Moore, J., & Jevrejeva, S. (2013). Projected Atlantic hurricane surge threat from rising temperatures. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(14), 5369–5373. doi:10.1073/pnas.1209980110
- Haegeli, P., Gunn, M., & Haider, W. (2012). Identifying a high-risk cohort in a complex and dynamic risk environment: out-of-bounds skiing—an example from avalanche

- safety. *Prevention science : the official journal of the Society for Prevention Research*, 13(6), 562–573. doi:10.1007/s11121-012-0282-5
- Hamilton, K., White, K. M., Wihardjo, K., & Hyde, M. K. (2015). Targets to promote swimming between the flags among Australian beachgoers. *Health Promotion International*, 31, 908–914. doi:10.1093/heapro/dav079
- Harada, S., Goto, R. & Nathanson, A. (2011). Analysis of lifeguard-recorded data at Hanauma Bay, Hawaii. *Wilderness & Environmental Medicine*, 22(1), 72-6. doi :10.1016/j.wem.2010.10.012
- Harrell, F. (2015). *Regression Modeling Strategies*. doi :10.1007/978-3-319-19425-7
- Hatfield, J., Williamson, A., Sherker, S., Brander, R. & Hayen, A. (2012). Development and evaluation of an intervention to reduce rip current related beach drowning. *Accident Analysis & Prevention*, 46(0), 45-51. doi :10.1016/j.aap.2011.10.003
- Heinze, G., Wallisch, C. & Dunkler, D. (2018). Variable selection – A review and recommendations for the practicing statistician. *Biometrical Journal. Biometrische Zeitschrift*, 60(3), 431-449. doi :10.1002/bimj.201700067
- Hosmer, D., Jovanovic, B., & Lemeshow, S. (1989). Best subsets logistic regression. *Biometrics*, 45(4), 1265. doi:10.2307/2531779
- Houser, C., Trimble, S., Brander, R., Brewster, B., Dusek, G., Jones, D., & Kuhn, J. (2017). Public perceptions of a rip current hazard education program: 'Break the Grip of the Rip!' *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 17(7), 1–43. doi:10.5194/nhess-2017-16
- Howland, J., Birckmayer, J., Hemenway, D., & Cote, J. (1998). Did changes in minimum age drinking laws affect adolescent drowning (1970-90)? *Injury Prevention*, 4(4), 288–291. doi:10.1136/ip.4.4.288
- Hoyle, R., Stephenson, M., Palmgreen, P., Lorch, E., & Donohew, R. (2002). Reliability and validity of a brief measure of sensation seeking. *Personality and Individual Differences*, 32(3), 401–414. doi:10.1016/S0191-8869(01)00032-0

- Hwang, V., Shofer, F., Durbin, D., & Baren, J. (2003). Prevalence of traumatic injuries in drowning and near drowning in children and adolescents. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, 157(1), 50. doi:10.1001/archpedi.157.1.50
- Idier, D. & Pedreros, R. (2005). *Observatoire de la Côte Aquitaine, Modélisation hydrodynamique de la Côte Basque. Partie 1 : marées, courants de marée et surcotes* (Rapport public N° RP-53705-FR). BRGM.
- Iribarren, C. & Nogales, C. (1949). Protection des ports. Section II, Communication, 4, pp. 31–80. Proceedings XVIIth International Navigation Congress, Lisbon.
- Jackman, S. (2015). *Pscl: classes and methods for R developed in the political science computational laboratory, stanford university*. Stanford, California: Department of Political Science, Stanford University.
- Jeong, J., Hong, K., Shin, S., Ro, Y., Song, K., Lee, E. J., ... Ahn, K. O. (2016). Relationship between drowning location and outcome after drowning-associated out-of-hospital cardiac arrest: nationwide study. *The American Journal of Emergency Medicine*, 34, 1799–1803. doi:10.1016/j.ajem.2016.06.008
- Kaminski, A., Bell, K., Noblet, C., & Evans, K. (2017). An economic analysis of coastal beach safety information-seeking behavior. *Agricultural and Resource Economics Review*, 46(2), 365–387. doi:10.1017/age.2017.17
- Kellens, W., Terpstra, T., & De Maeyer, P. (2013). Perception and communication of flood risks: a systematic review of empirical research: perception and communication of flood risks. *Risk Analysis*, 33(1), 24–49. doi:10.1111/j.1539-6924.2012.01844.x
- Kumar, A., & Prasad, K. (2014). Rip current-related fatalities in India: a new predictive risk scale for forecasting rip currents. *Natural Hazards*, 70(1), 313–335. doi:10.1007/s11069-013-0812-x
- Lasbeur, L., Szego-Zguem, E. & Thélot, B. (2016). *Surveillance épidémiologique des noyades - Enquête NOYADES 2015, 1er juin - 30 septembre 2015*. Santé publique France. Saint-Maurice.

- Lasbeur, L. & Thélot, B. (2013a). *Enquête NOYADES 2012 Premiers résultats définitifs 1er juin - 30 septembre 2012*. Institut de Veille Sanitaire. Saint-Maurice.
- Lasbeur, L. & Thélot, B. (2013b). *Surveillance épidémiologique des noyades - Enquête NOYADES 2012, 1er juin - 30 septembre 2012*. Institut de veille sanitaire. Saint-Maurice.
- Leavy, J., Crawford, G., Leaversuch, F., Nimmo, L., McCausland, K., & Jancey, J. (2016). A review of drowning prevention interventions for children and young people in high, low and middle income countries. *Journal of community health, 41*(2), 424–441. doi:10.1007/s10900-015-0105-2
- Leavy, J., Crawford, G., Portsmouth, L., Jancey, J., Leaversuch, F., Nimmo, L., & Hunt, K. (2015). Recreational drowning prevention interventions for adults, 1990–2012: a review. *Journal of community health, 40*(4), 725–735. doi:10.1007/s10900-015-9991-6
- Lestage, J. (2019). Le Porge (33) : un drame évité de justesse pour huit baigneurs pris dans une baine et de fortes vagues - 15 août 2019. *Sud Ouest*.
- Lunde, A., & Tellefsen, C. (2019). Patient and rescuer safety: recommendations for dispatch and prioritization of rescue resources based on a retrospective study of Norwegian avalanche incidents 1996-2017. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine, 27*(1), 5. doi:10.1186/s13049-019-0585-7
- Lunetta, P., Modell, J., & Sajantila, A. (2004). What is the incidence and significance of 'dry-lungs' in bodies found in water ? *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology, 25*(4), 291–301. doi:10.1097/01.paf.0000146240.92905.7e
- Mackie, I. (1999). Patterns of drowning in Australia, 1992-1997. *Medical Journal of Australia, 171*, 587-90.
- Mangione, T., & Chow, W. (2014). Changing life jacket wearing behavior: An evaluation of two approaches. *Journal of Public Health Policy, 35*(2), 204–218. doi:10.1057/jphp.2013.51
- Matthews, B., Andronaco, R., & Adams, A. (2014). Warning signs at beaches: do they work? *Safety Science, 62*, 312–318. doi:10.1016/j.ssci.2013.09.003

## RÉFÉRENCES

---

- Mazumdar, M., Smith, A., & Bacik, J. (2003). Methods for categorizing a prognostic variable in a multivariable setting. *Statistics in Medicine*, 22(4), 559–571. doi:10.1002/sim.1333
- McCammon, I. (2009). Human factors in avalanche accidents: evolution and interventions. International Snow Science Workshop, Davos.
- McCammon, I., & Hägeli, P. (2007). An evaluation of rule-based decision tools for travel in avalanche terrain. *Cold Regions Science and Technology*, 47(1-2), 193–206. doi:10.1016/j.coldregions.2006.08.007
- McCarroll, R., Brander, R., MacMahan, J., Turner, I., Reniers, A., Brown, J. A., ... Sherker, S. (2014). Evaluation of swimmer-based rip current escape strategies. *Natural Hazards*, 71(3), 1821–1846. doi:10.1007/s11069-013-0979-1
- McCool, J., Ameratunga, S., Moran, K., & Robinson, E. (2009). Taking a risk perception approach to improving beach swimming safety. *International Journal of Behavioral Medicine*, 16(4), 360. doi:10.1007/s12529-009-9042-8
- Ménard, A., Houser, C., Brander, R., Trimble, S., & Scaman, A. (2018). The psychology of beach users: importance of confirmation bias, action, and intention to improving rip current safety. *Natural Hazards*, 94(2), 953–973. doi:10.1007/s11069-018-3424-7
- Michie, S., Richardson, M., Johnston, M., Abraham, C., Francis, J., Hardeman, W., ... Wood, C. E. (2013). The behavior change technique taxonomy (v1) of 93 hierarchically clustered techniques: building an international consensus for the reporting of behavior change interventions. *Annals of Behavioral Medicine*, 46(1), 81–95. doi:10.1007/s12160-013-9486-6
- Michie, S., van Stralen, M. M., & West, R. (2011). The behaviour change wheel: A new method for characterising and designing behaviour change interventions. *Implementation Science*, 6(1), 42. doi:10.1186/1748-5908-6-42
- Modell, J. (2010). Prevention of needless deaths from drowning. *Southern Medical Journal*, 103(7), 650-3. doi :10.1097/SMJ.0b013e3181e10564
- Moran, K. (2011). Rock-based fisher safety promotion: five years on. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 5(2), 164–173. doi:10.25035/ijare.05.02.04

## RÉFÉRENCES

---

- Moran, K., Quan, L., Franklin, R., & Bennett, E. (2011). Where the evidence and expert opinion meet: a review of open-water recreational safety messages. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 5(3). doi:10.25035/ijare.05.03.05
- Moran, K., & Webber, J. (2014). Leisure-related injuries at the beach: An analysis of lifeguard incident report forms in New Zealand, 2007–12. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 21(1), 68–74. doi:10.1080/17457300.2012.760611
- Morgan, D. & Ozanne-Smith, J. (2012). Surf bather drowning risk and exposure-related factors identified by an expert panel. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 6(4), 8. doi :10.25035/ijare.06.04.08
- Morgan, D. & Ozanne-Smith, J. (2013). Surf lifeguard rescues. *Wilderness & Environmental Medicine*, 24(3), 285-290. doi :10.1016/j.wem.2013.02.001
- Nathanson, A., Bird, S., Dao, L., & Tam-Sing, K. (2007). Competitive surfing injuries: a prospective study of surfing-related injuries among contest surfers. *The American Journal of Sports Medicine*, 35(1), 113–117. doi:10.1177/0363546506293702
- Nathanson, A., Haynes, P., & Galanis, D. (2002). Surfing injuries. *The American Journal of Emergency Medicine*, 20(3), 155–160. doi:10.1053/ajem.2002.32650
- Neelon, B., O'Malley, A., & Smith, V. (2016). Modeling zero-modified count and semicontinuous data in health services research Part 1: background and overview. *Statistics in Medicine*, 35(27), 5070–5093. doi:10.1002/sim.7050
- Nguyen, M., Poupart, G., Normandeau, J., Laplante, L. & Damestoy, N. (2002). Comportements et croyances des amateurs d'activités nautiques et de plein air. *Canadian Journal of Public Health*, 93(3), 208-212.
- Njome, M., Suh, C., Chuyong, G., & de Wit, M. (2010). Volcanic risk perception in rural communities along the slopes of mount Cameroon, West-Central Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 58(4), 608–622. doi:10.1016/j.jafrearsci.2010.08.007
- O'Leary, A. (1985). Self-efficacy and health. *Behaviour research and therapy*, 23(4), 437–451. doi:10.1016/0005-7967(85)90172-x

## RÉFÉRENCES

---

- Pavlou, M., Ambler, G., Seaman, S., Guttman, O., Elliott, P., King, M., & Omar, R. (2015). How to develop a more accurate risk prediction model when there are few events. *BMJ*, h3868. doi:10.1136/bmj.h3868
- Pearn, J., Nixon, L., Franklin, R., & Wallis, B. (2008). Safety legislation, public health policy and drowning prevention. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 15(2), 122–123. doi:10.1080/17457300802150587
- Peden, M., McGee, K., & Sharma, K. (2002). *The injury chart book: a graphical overview of the global burden of injuries*. World Health Organization.
- Peters, M., Godfrey, C., Khalil, H., McInerney, P., Parker, D., & Soares, C. (2015). Guidance for conducting systematic scoping reviews. *International Journal of Evidence-Based Healthcare*, 13(3), 141–146. doi:10.1097/XEB.0000000000000050
- Petrass, L. A., & Blitvich, J. D. (2014). Preventing adolescent drowning: Understanding water safety knowledge, attitudes and swimming ability. The effect of a short water safety intervention. *Accident Analysis & Prevention*, 70, 188–194. doi:10.1016/j.aap.2014.04.006
- Pitman, S., & Lee, D. (2019). Determining the accuracy of visual wave height observations and the perception of surf-zone hazards made by lifeguards. *Journal of Coastal Research*, 35(4), 776. doi:10.2112/JCOASTRES-D-18-00128.1
- Poland, B., Frohlich, K. L., & Cargo, M. (2008). Context as a fundamental dimension of health promotion program evaluation. In L. Potvin, D. V. McQueen, M. Hall, L. de Salazar, L. M. Anderson, & Z. M. Hartz (Eds.), *Health Promotion Evaluation Practices in the Americas* (pp. 299–317). doi:10.1007/978-0-387-79733-5\_17
- Porter, B., Bliss, J., & Sleet, D. (2010). Human factors in injury control. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 4(1), 90–97.
- Powell, C. (2007). The perception of risk and risk taking behavior: implications for incident prevention strategies. *Wilderness & Environmental Medicine*, 18(1), 10–15. doi:10.1580/1080-6032(2007)18[10:TPORAR]2.0.CO;2

- Puleo, J., Hutschenreuter, K., Cowan, P., Carey, W., Arford-Granholm, M., & McKenna, K. (2016). Delaware surf zone injuries and associated environmental conditions. *Natural Hazards*, *81*(2), 845–867. doi:10.1007/s11069-015-2108-9
- Quan, L., Bierens, J., Lis, R., Rowhani-Rahbar, A., Morley, P., & Perkins, G. (2016). Predicting outcome of drowning at the scene: A systematic review and meta-analyses. *Resuscitation*, *104*, 63–75. doi:10.1016/j.resuscitation.2016.04.006
- Quan, L., Pilkey, D., Gomez, A., & Bennett, E. (2011). Analysis of paediatric drowning deaths in Washington State using the child death review (CDR) for surveillance: what CDR does and does not tell us about lethal drowning injury. *Injury Prevention*, *17*, i28–i33. doi:10.1136/ip.2010.026849
- Quistberg, D. A., Bennett, E., Quan, L., & Ebel, B. E. (2014). Low life jacket use among adult recreational boaters: a qualitative study of risk perception and behavior factors. *Accident; Analysis and Prevention*, *62*, 276–284. doi:10.1016/j.aap.2013.10.015
- R Core Team. (2017). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Rainer, B., Frimmel, C., Sumann, G., Brugger, H., Kinzl, J., & Lederer, W. (2008). Correlation between avalanche emergencies and avalanche danger forecast in the alpine region of Tyrol. *European Journal of Emergency Medicine*, *15*(1), 43–47. doi:10.1097/mej.0b013e3282b974bd
- Ramos, W., Beale, A., Chambers, P., Dalke, S., Fielding, R., Kublick, L., ... Wernicki, P. (2015). Primary and secondary drowning interventions: The American Red Cross circle of drowning prevention and chain of drowning survival. *International Journal of Aquatic Research and Education*, *9*(1), 8. doi:10.25035/ijare.09.01.08
- Reynolds, J., Michiels, E., Nasiri, M., Reeves, M., & Quan, L. (2017). Observed long-term mortality after 18,000 person-years among survivors in a large regional drowning registry. *Resuscitation*, *110*, 18–25. doi:10.1016/j.resuscitation.2016.10.005
- Richards, D. (2011). Drowning. *African Journal of Emergency Medecine*, *1*, 33-38.

- Robles, L. (2006). Cervical spine injuries in ocean bathers: wave-related accidents. *Neurosurgery*, 58(5), 920–923. doi:10.1227/01.NEU.0000209941.18102.35
- Rogers, R. (1975). A protection motivation theory of fear appeals and attitude change. *The Journal of psychology*, 91(1), 93-114. doi :10.1080/00223980.1975.9915803
- Rosenstock, I. (1974). The Health Belief Model and preventive health behavior. *Health Education Monographs*, 2(4), 354–386. doi:10.1177/109019817400200405
- Salmi, L., Tellier, É. & Simonnet, B. (2018). PW 2149 Issues in data availability and results in two international surveys on drowning. In *Abstracts (A158.3-A159)*. Safety 2018 abstracts. doi :10.1136/injury-prevention-2018-safety.437
- Schmidt, A., Sempsrott, J., Hawkins, S., Arastu, A., Cushing, T., & Auerbach, P. (2016). Wilderness Medical Society practice guidelines for the prevention and treatment of drowning. *Wilderness & Environmental Medicine*, 27(2), 236–251. doi:10.1016/j.wem.2015.12.019
- Schwebel, D., Lindsay, S., & Simpson, J. (2007). Brief report: A brief intervention to improve lifeguard surveillance at a public swimming pool. *Journal of Pediatric Psychology*, 32(7), 862–868. doi:10.1093/jpepsy/jsm019
- Scott, T., Masselink, G., Austin, M. & Russell, P. (2014). Controls on macrotidal rip current circulation and hazard. *Geomorphology*, 214, 198-215. doi :10.1016/j.geomorph.2014.02.005
- Seguin, C., Blaquièrre, G., Loundou, A., Michelet, P., & Markarian, T. (2018). Unmanned aerial vehicles (drones) to prevent drowning. *Resuscitation*, 127, 63–67. doi:10.1016/j.resuscitation.2018.04.005
- Shaw, W., Goff, J., Brander, R., Walton, T., Roberts, A., & Sherker, S. (2014). Surviving the surf zone: Towards more integrated rip current geographies. *Applied Geography*, 54, 54–62. doi:10.1016/j.apgeog.2014.07.010
- Sherker, S., Williamson, A., Hatfield, J., Brander, R. & Hayen, A. (2010). Beachgoers' beliefs and behaviours in relation to beach flags and rip currents. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1785-1804. doi :10.1016/j.aap.2010.04.020

## RÉFÉRENCES

---

- Silverton, N., McIntosh, S. & Kim, H. (2009). Risk assessment in winter backcountry travel. *Wilderness & Environmental Medicine*, 20(3), 269-274. doi :10.1580/08-WEME-OR-209R1.1
- Söderlund, A., Nordgren, L., Sterling, M. & Stålnacke, B.-M. (2018). Exploring patients' experiences of the whiplash injury-recovery process – a meta-synthesis. *Journal of Pain Research*, 11, 1263-1271. doi :10.2147/JPR.S158807
- Sturzenegger, M., Radanov, B. P., & Di Stefano, G. (1995). The effect of accident mechanisms and initial findings on the long-term course of whiplash injury. *Journal of Neurology*, 242(7), 443–449. doi:10.1007/BF00873547
- SudOuest. (2019). Littoral : le danger des baignes expliqué en vidéo, 16 août 2019. Récupérée à partir de <https://www.sudouest.fr/2019/08/16/littoral-le-danger-des-baignes-explique-en-video-6451826-2780.php>
- Suominen, P., Baillie, C., Korpela, R., Rautanen, S., Ranta, S. & Olkkola, K. T. (2002). Impact of age, submersion time and water temperature on outcome in near-drowning. *Resuscitation*, 52(3), 247-254. doi :http://dx.doi.org/10.1016/S0300-9572(01)00478-6
- Szpilman, D. (1997). Near-drowning and drowning classification: a proposal to stratify mortality based on the analysis of 1831 cases. *Chest*, 112, 660–665.
- Szpilman, D. (2007). How lifeguards would know the severity, treatment and outcome of drowning on the accident site? (pp. 212–213). World Water Safety. Matosinhos, Portugal.
- Szpilman, D., Bierens, J., Handley, A., & Orłowski, J. (2012). Drowning. *New England Journal of Medicine*, 366(22), 2102–2110. doi:10.1056/NEJMra1013317
- Szpilman, D., Elmann, J., & Cruz, F. (2002). Drowning Classification: a revalidation study based on the analysis of 930 cases over 10 years. World Congress on Drowning, Amsterdam, Pays-Bas.
- Szpilman, D., Tipton, M., Sempstrott, J., Webber, J., Bierens, J., Dawes, P., ... Queiroga, A. C. (2016). Drowning timeline: a new systematic model of the drowning process. *The*

- American Journal of Emergency Medicine*, 34(11), 2224–2226. doi:10.1016/j.ajem.2016.07.063
- Szpilman, D., Webber, J., Quan, L., Bierens, J., Morizot-Leite, L., Langendorfer, S. J., ... Løfgren, B. (2014). Creating a drowning chain of survival. *Resuscitation*, 85(9), 1149–1152. doi:10.1016/j.resuscitation.2014.05.034
- Tellier, É., Gil-Jardiné, C., Simonnet, B. & Salmi, L.-R. (2019a). Modeling the drowning process using continuous Markov chain. World Conference on Drowning Prevention 2019, Durban.
- Tellier, É., Salmi, L., & Simonnet, B. (2018a). PA 14-3-2098 Implementation of a risk prediction model into drowning prevention policy: a scoping review. In *Abstracts (A32.2–A32)*. Safety 2018 abstracts. doi:10.1136/injury-prevention-2018-safety.87
- Tellier, É., Simonnet, B., Bailhache, M., & Salmi, L.-R. (2018b). Modelling and predicting drowning risk along the Gironde's Oceanic Coast: Retrospective, prospective observational and pilot experimental studies. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 66, S334–S335. doi:10.1016/j.respe.2018.05.259
- Tellier, É., Simonnet, B., Gil-Jardiné, C., Bailhache, M., Castelle, B., & Salmi, L. (2019b). Predicting drowning from sea and weather forecasts: development and validation of a model on surf beaches of southwestern France. *preprint, soumis à PLOS One*. doi:10.1101/721142
- Tellier, É., Simonnet, B., Gil-Jardiné, C., Castelle, B., Bailhache, M., & Salmi, L. (2019c). Characteristics of drowning victims in a surf environment: a 6-year retrospective study in southwestern France. *Injury Epidemiology*, 6(1), 17. doi:10.1186/s40621-019-0195-x
- Treser, C. D., Trusty, M. N., & Yang, P. P. (1997). Personal floatation device usage: do educational efforts have an impact? *Journal of Public Health Policy*, 18(3), 346. doi:10.2307/3343315

- Trifiletti, L., Gielen, A., Sleet, D., & Hopkins, K. (2005). Behavioral and social sciences theories and models: are they used in unintentional injury prevention research? *Health Education Research*, 20(3), 298–307. doi:10.1093/her/cyg126
- Tritz, D., Dormire, K., Brachtenbach, T., Gordon, J., Sanders, D., Gearheart, D., ... Vassar, M. (2018). Research gaps in wilderness medicine. *Wilderness & Environmental Medicine*, 29(3), 291–303. doi:10.1016/j.wem.2018.02.008
- Tufféry, S. (2015). *Modélisation prédictive et Apprentissage statistique avec R* (Technip). Paris.
- Uttl, B., Henry, M., & Uttl, J. (2008). The Avaluator's obvious clues accident prevention values: are they replicable? International Snow Science Workshop.
- van Beeck, E., Branche, C., Szpilman, D., Modell, J., & Bierens, J. (2005). A new definition of drowning: towards documentation and prevention of global public health problem. *Bulletin of the World Health Organization*, 83(11), 801–880.
- Venkatraman, E. (1996). A distribution-free procedure for comparing receiver operating characteristic curves for a paired experiment. *Biometrika*, 83(4), 835–848. doi:10.1093/biomet/83.4.835
- Wallis, B., Watt, K., Franklin, R., Taylor, M., Nixon, J., & Kimble, R. M. (2015). Interventions associated with drowning prevention in children and adolescents: systematic literature review. *Injury Prevention*, 21(3), 195–204. doi:10.1136/injuryprev-2014-041216
- Watson, P., Cummings, P., Quan, L., Bratton, S., & Weiss, N. (2001). Cervical spine injuries among submersion victims. *The Journal of Trauma*, 51(4), 658–662. doi:10.1097/00005373-200110000-00006
- White, I., Daniel, R. & Royston, P. (2010). Avoiding bias due to perfect prediction in multiple imputation of incomplete categorical variables. *Computational Statistics & Data Analysis*, 54(10), 2267-2275. doi :10.1016/j.csda.2010.04.005
- White, K., & Hyde, M. (2010). Swimming between the flags: A preliminary exploration of the influences on Australians' intentions to swim between the flags at patrolled beaches. *Accident Analysis & Prevention*, 42(6), 1831–1838. doi:10.1016/j.aap.2010.05.004

## RÉFÉRENCES

---

- WHO. (2014). *Global report on drowning: preventing a leading killer*. World Health Organization. Geneva.
- WHO. (2017). *Preventing drowning: an implementation guide*. World Health Organization. Geneva.
- Wilks, J., Kanasa, H., Pendergast, D., & Clark, K. (2017). Beach safety education for primary school children. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 24(3), 283–292. doi:10.1080/17457300.2016.1170043
- Williamson, A. (2006). Feasibility study of a water safety data collection for beaches. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9(3), 243-8.
- Williamson, A., Hatfield, J., Sherker, S., Brander, R., & Hayen, A. (2012). A comparison of attitudes and knowledge of beach safety in Australia for beachgoers, rural residents and international tourists. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 36(4), 385–391. doi:10.1111/j.1753-6405.2012.00888.x
- Wood, S. (2008). Fast stable direct fitting and smoothness selection for generalized additive models. *Journal of the Royal Statistical Society*, 70(3), 495–518. doi:10.1111/j.1467-9868.2007.00646.x
- Youn, C., Choi, S., Yim, H., & Parkemail, K. (2009). Out-of-hospital cardiac arrest due to drowning: An Utstein style report of 10 years of experience from St. Mary's Hospital. *Resuscitation*, 80(7), 778–783. doi:10.1016/j.resuscitation.2009.04.007
- Zou, H. & Hastie, T. (2005). Regularization and variable selection via the elastic net. *Journal of the Royal Statistical Society*, 67(2), 301-320. doi :10.1111/j.1467-9868.2005.00503.x

## ANNEXE A

# Publications en lien avec la thèse

---

### Articles

#### Publiés

Castelle, B., Brander, R., Tellier, E., Simonnet, B., Scott, T., McCarroll, J., ... Lechevrel, P. (2018). Surf zone hazards and injuries on beaches in SW France. *Natural Hazards*, 93(3), 1317–1335. doi:10.1007/s11069-018-3354-4

Castelle, B., Scott, T., Brander, R., McCarroll, J., Robinet, A., Tellier, E., ... Salmi, L. (2019). Environmental controls on surf zone injuries on high-energy beaches. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1–35. doi:10.5194/nhess-2019-96

Tellier, É., Simonnet, B., Gil-Jardiné, C., Castelle, B., Bailhache, M., & Salmi, L. (2019c). Characteristics of drowning victims in a surf environment: a 6-year retrospective study in southwestern France. *Injury Epidemiology*, 6(1), 17. doi:10.1186/s40621-019-0195-x

#### En cours de revue

Tellier, É., Simonnet, B., Gil-Jardiné, C., Bailhache, M., Castelle, B., & Salmi, L. (2019b). Predicting drowning from sea and weather forecasts: development and validation of a model on surf beaches of southwestern France. *preprint, soumis à PLOS One*. doi:10.1101/721142

## Communications lors de congrès avec comité de lecture

### Communications orales

Tellier, É., Gil-Jardiné, C., Simonnet, B. & Salmi, L.-R. (2019a). Modeling the drowning process using continuous Markov chain. World Conference on Drowning Prevention 2019, Durban.

Tellier, É., Salmi, L., & Simonnet, B. (2018a). PA 14-3-2098 Implementation of a risk prediction model into drowning prevention policy: a scoping review. In *Abstracts (A32.2–A32)*. Safety 2018 abstracts. doi:10.1136/injury-prevention-2018-safety.87

### Posters

Salmi, L., Tellier, É. & Simonnet, B. (2018). PW 2149 Issues in data availability and results in two international surveys on drowning. In *Abstracts (A158.3-A159)*. Safety 2018 abstracts. doi :10.1136/injury-prevention-2018-safety.437

Tellier, É., Simonnet, B., Bailhache, M., & Salmi, L.-R. (2018b). Modelling and predicting drowning risk along the Gironde's Oceanic Coast: Retrospective, prospective observational and pilot experimental studies. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 66, S334–S335. doi:10.1016/j.respe.2018.05.259

**Castelle *et al.* Natural Hazards**Nat Hazards  
https://doi.org/10.1007/s11069-018-3354-4

ORIGINAL PAPER

**Surf zone hazards and injuries on beaches in SW France****Bruno Castelle<sup>1,2</sup>** · **Rob Brander<sup>3</sup>** · **Eric Tellier<sup>4,5,6</sup>** · **Bruno Simonnet<sup>6</sup>** · **Tim Scott<sup>7</sup>** · **Jak McCarroll<sup>7</sup>** · **Jean-Michel Campagne<sup>8</sup>** · **Thibault Cavaillhes<sup>1,2</sup>** · **Pierre Lechevrel<sup>2</sup>**Received: 12 February 2018 / Accepted: 10 May 2018  
© Springer Science+Business Media B.V., part of Springer Nature 2018

**Abstract** Surf zone injuries (SZIs) are common worldwide, yet limited data are available for many geographical regions, including Europe. This study provides the first preliminary overview of SZIs along approximately 230 km of hazardous surf beaches in SW France during the summer season. A total of 2523 SZIs over 186 sample days during the summers of 2007, 2009 and 2015 were analysed. Documented injury data included date and time; beach location; flag colour; outside/inside of the bathing zone; age, gender, country and home postal code of the victim; activity; cause of injury; injury type and severity. Injuries sustained ranged from mild contusion to fatal drowning, including severe spinal injuries, wounds and luxation. While the most severe injuries (drowning) were related to rip currents, a large number of SZIs occurred as a result of shore-break waves (44.6%;  $n = 1125$ ) and surfing activity (31.0%;  $n = 783$ ) primarily inside and outside of lifeguard-patrolled bathing zones, respectively. Victims were primarily French living more than 40 km from the beach (75.9% of the reported addresses;  $n = 1729$ ), although a substantial number of victims originated from Europe (14.7% of the addresses reported;  $n = 335$ ), including the Netherlands (44.2%;  $n = 148$ ), Germany (26.3%;  $n = 88$ ) and Belgium (12.5%;  $n = 49$ ). The

✉ Bruno Castelle  
Bruno.castelle@u-bordeaux.fr<sup>1</sup> CNRS, UMR EPOC, University of Bordeaux, Pessac, France<sup>2</sup> UMR EPOC, University of Bordeaux, Pessac, France<sup>3</sup> School of Biological, Earth and Environmental Sciences, UNSW Sydney, Kensington, Australia<sup>4</sup> ISPED, Centre INSERM U1219 Bordeaux Population Health Research, INSERM, Bordeaux, France<sup>5</sup> ISPED, Centre INSERM U1219 Bordeaux Population Health Research, University of Bordeaux, Bordeaux, France<sup>6</sup> CHU de Bordeaux, Pôle Urgences adultes, SAMU-SMUR, Bordeaux, France<sup>7</sup> Coastal Processes Research Group, School of Biological and Marine Sciences, University of Plymouth, Plymouth, UK<sup>8</sup> Emergency Medical Service SAMU-SMUR, Hospital Centre Côte Basque, Bayonne, France

Published online: 21 May 2018

Springer

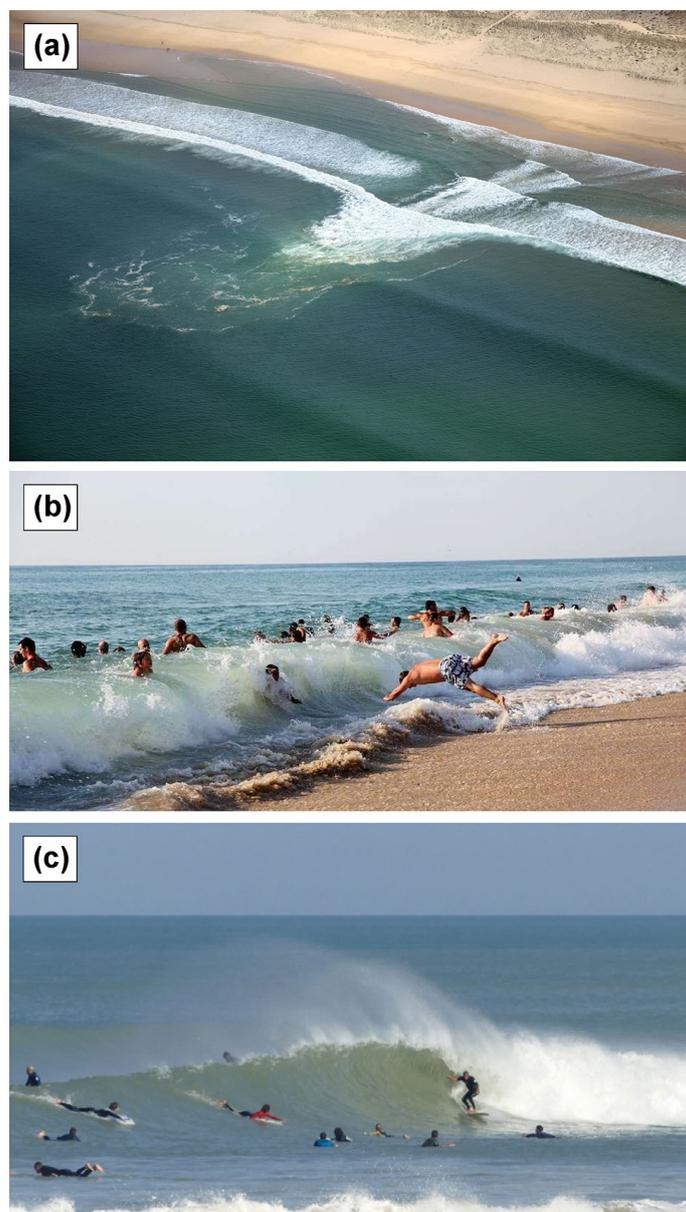
predominant age group involved in the incidents was between 10 and 25 years (54.5%;  $n = 1376$ ) followed by between 35 and 50 years (22.6%;  $n = 570$ ), with the majority of SZIs involving males (69.6%,  $n = 1617$ ). Despite the large predominance (74.1%;  $n = 33$ ) of males involved in the most severe drowning incidents, all of which occurred outside the bathing zone, a surprisingly large proportion of females (48.0%;  $n = 133$ ) experienced milder drowning incidents involving only minor to moderate respiratory impairment, peaking at 58.2% ( $n = 85$ ) within the age group 10–25. The spine/cervical injury population is very young, with 58.5% ( $n = 313$ ) within the age group 10–20. Specific injuries tended to occur in clusters (e.g. rip-current drowning or shore-break injury) with particular days prone to rip-current drowning or hazardous shore-break waves, suggesting the potential to predict the level of risk to beachgoers based on basic weather and marine conditions. This study calls for increased social-based beach safety research in France and the development of more effective public awareness campaigns to highlight the surf zone hazards, even within a supervised bathing zone. These campaigns should be targeted towards young males and females, in order to reduce the number of injuries and drownings occurring on beaches in SW France.

**Keywords** Surf zone hazards · Drowning · Spinal injuries · Rip currents · Shore break · Surfing

## 1 Introduction

Sandy beaches are an attractive and natural playground for the millions of people who visit them each year worldwide. Beachgoers represent a diverse demographic group and visit beaches for a variety of recreational activities including sun bathing, swimming and wading, bodyboarding and surfing (West 2005). However, despite their attractive qualities, beaches can also be dangerous environments. This is particularly true of beaches characterised by waves breaking at the shoreline and across a wide surf zone, where dangerous wave conditions and strong currents pose a threat to those beachgoers entering the water (Short and Brander 2014; Short and Weir 2016; Castelle et al. 2016a). Although it is not possible to estimate the number of beach-related injury and drowning incidents globally, lifeguards rescue tens of thousands of people in distress each year and beach-related fatal drownings worldwide are easily in the hundreds (Gilchrist and Branche 2016). Each surf drowning is associated with significant emotional, societal and economic costs and in the case of serious near-drowning or surf-related injuries, may also involve lifetime medical costs (Sherker et al. 2008).

It is now well established that the main cause of fatal drowning and lifeguard rescue on surf beaches globally are rip currents (e.g. Gensini and Ashley 2009; Brighton et al. 2013; Arozarena et al. 2015; Brander and Scott 2016). These strong, narrow, often channelised seaward flows of water (Fig. 1a) originate within the surf zone and sometimes extend well beyond the seaward extent of breaking waves (Castelle et al. 2016a). Rip currents flow at speeds often exceeding 0.5 m/s (MacMahan et al. 2006; Dalrymple et al. 2011; Castelle et al. 2016a) easily capable of carrying unsuspecting bathers of all swimming abilities (Drozdowski et al. 2012, 2015) into deeper water where, in the worst-case scenario, a combination of exhaustion and panic can ultimately result in a drowning death (Brander et al. 2011). There has been a recent increase in interest in the rip-current hazard (see Castelle et al. 2016a for a review); in particular, numerous studies have taken a socio-physical approach to profile beachgoer behaviour (Ballantyne et al. 2005; Sherker et al.



**Fig. 1** Primary hazards to recreational beach users, with all photographs taken in SW France: **a** rip currents, strong, narrow seaward flows through the surf zone capable of carrying bathers offshore often leading to drowning (Ph. Y. Lavigne); **b** dangerous shore-break waves, occurring mostly at high tide, with the potential to cause severe spinal injuries (Ph. J. Lestage); **c** bodyboarding, body surfing and particularly surfing are popular activities potentially causing impact injuries, e.g. wounds, joint dislocation, head and cervical spine injuries (Ph. @Lacanausurfinfo.com)

2010; Williamson et al. 2012; Woodward et al. 2013; Houser et al. 2016), their understanding and recognition of rip currents (Hatfield et al. 2012; Caldwell et al. 2013; Brannstrom et al. 2014) and how people may escape rip currents when caught in one (McCarroll et al. 2014, 2015; Castelle et al. 2016b; Van Leeuwen et al. 2016). This approach has yielded valuable information assisting the development of future educational interventions related to the rip-current hazard (Bradstreet et al. 2014; Houser et al. 2017).

However, despite this understandable focus on rip currents there are other risks to beachgoers. For instance, on steep beaches the rapid transition from deep to shallow water results in plunging/dumping wave conditions at the shore break that are associated with concentrated and intense wave impact. In these conditions (Fig. 1b), being knocked over and tumbled in the shallow breaking waves can cause severe spine injuries (Robles 2006; Puleo et al. 2016). Injuries resulting from surfing and bodyboarding (Fig. 1c) are also recognised to occur more frequently in shore-break conditions (e.g. Beratan and Osborne 1987; Chang et al. 2006; Barucq et al. 2009; Hay et al. 2009). Even away from the shore break, surfing is far from a safe pastime with a wide spectrum of spinal pathologies sustained while surfing (Dimmick et al. 2013; Nathanson 2013) as well as lacerations/cuts (Moran and Webber 2013).

In comparison with the rip-current hazard, there has been much less research on surf zone impact injury and similar surf-zone-related risks and exposure (Pikora et al. 2012; Puleo et al. 2016; Doelp et al. 2017) and most of these have been restricted to the Delaware coast in the USA. There is clearly a need for studies throughout a variety of other regions and countries to examine and gain insight into the range of coastal hazards causing surf zone injuries (SZIs) as well as victim demographics. This knowledge can ultimately be used to assist in the development and dissemination of more effective local or generic prevention interventions.

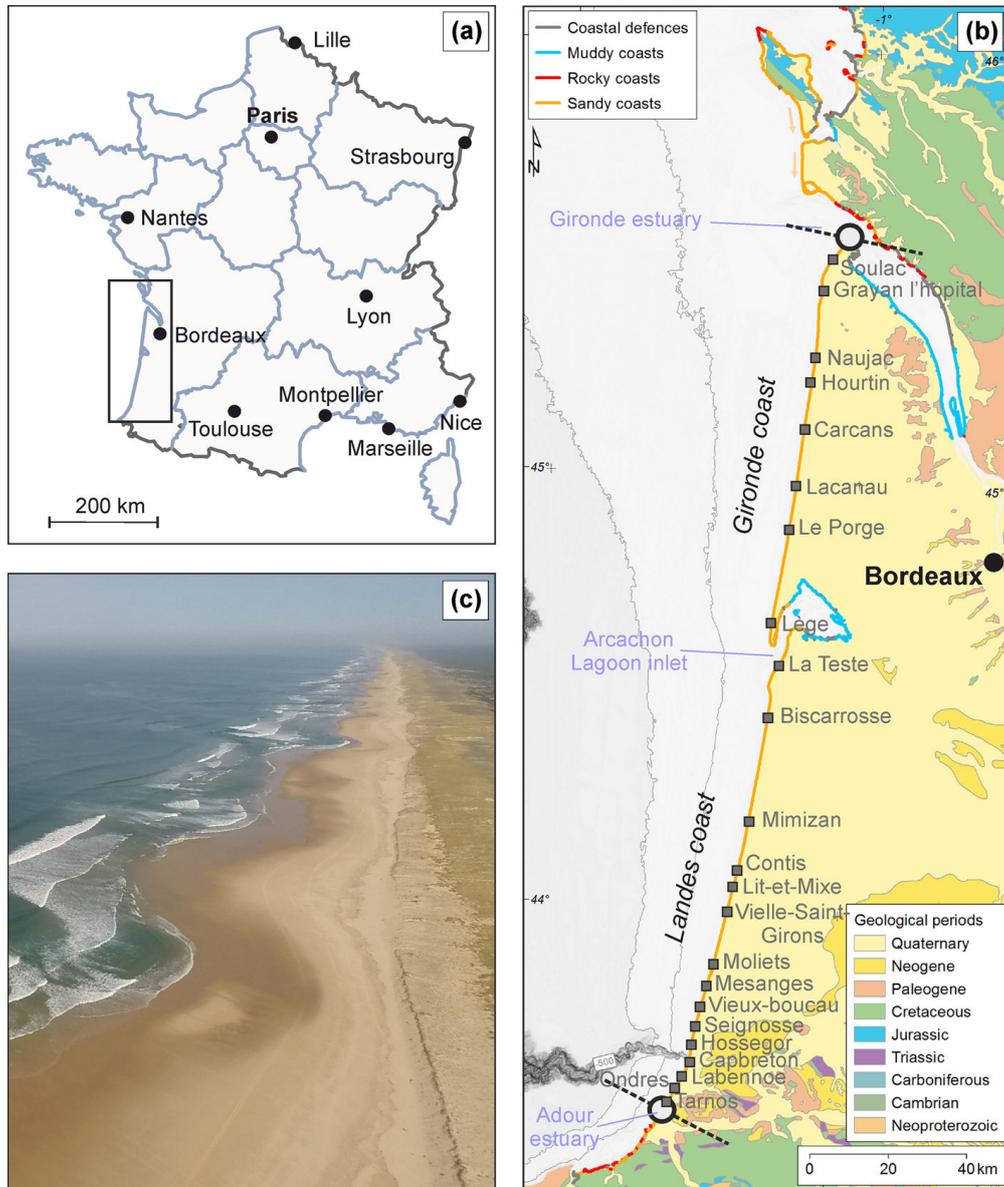
The south-west coast of France hosts hundreds of kilometres of attractive sandy surf beaches. This region is also renowned for its pleasant climate through the year, especially the warmer summer months. Each summer approximately 10–15 million people visit the Aquitaine coast in SW France (Brumaud 2016), many of whom enter the water thus exposing themselves to surf zone hazards. Each summer, on the order of a thousand to a few thousands of recreational water users are injured in the surf zone, with injuries ranging from mild contusion to fatal drowning, but more commonly spinal injuries of varying severity, wounds and luxation (Lapaty 2004). However, like many other coastal regions globally, little is known about the epidemiology of summer SZIs along this coast.

The aim of this study is to provide a preliminary description and insight into SZIs along an approximately 230-km section of surf beaches in SW France. The study location and injury data collection are described in Sects. 2 and 3, respectively. Results are presented in Sect. 4 and are further discussed in Sect. 5 with respect to global implications of the findings.

## 2 Study location

### 2.1 General settings

The study area located in SW France extends from the Adour estuary in the south to the Gironde estuary in the north (Fig. 2). This 230-km stretch of coastline is interrupted by the large-scale Arcachon inlet separating the Landes and Gironde coasts in the south and north, respectively (Castelle et al. 2018; Fig. 2). The landscape essentially consists of relatively straight sandy beaches backed by high and wide coastal dunes. The coast is exposed to high-energy ocean waves generated in the North Atlantic Ocean coming from the WNW direction, with a summer mean significant wave height of 1.1 m and occasional summer events exceeding 3 m (Castelle et al. 2017). The coast is meso-macrotidal with a mean tidal range of approximately 3 m.



**Fig. 2** **a** France with location of the 10 largest cities and box showing study location; **b** study location between the 2 large black circles with the 230 km length of coast being dominated by high-wave-energy sandy beaches with the Arcachon lagoon tidal inlet delimiting the Landes and Gironde coasts. Grey squares indicate coastal municipalities where incident/injury report forms were gathered. **c** Aerial photograph showing the typical beach–dune landscape and wave conditions in SW France with prominent rip-current channels apparent (Ph. V. Marieu)

It is estimated that approximately 4–5 million tourists, primarily from France and other European nations, come to the Gironde and Landes coasts each year to enjoy the beach (Brumaud 2016). The coast hosts some of the finest surfing beaches in Europe attracting many surfers of all abilities. The coast is characterised by only a small number of coastal resorts providing direct access to the beach. Apart from these resorts, beaches are mostly accessed through coastal dune tracks from inland car parks. Some of these access points

lead to beaches patrolled by lifeguards with a designated and supervised bathing zone, but many access points are situated on unpatrolled sections of beaches, kilometres away from any lifeguard presence, a scenario also described by McKay et al. (2014) in New South Wales, Australia.

## 2.2 Primary surf zone hazards

The beaches of SW France are characterised by strong rip currents (Bruneau et al. 2011) with mean flow speeds reaching 1 m/s even in relatively low wave energy conditions (< 1 m wave height; Castelle et al. 2016b). Channelised rip currents (Castelle et al. 2016a) are common (Fig. 1a), and the meso-tide range ( $\sim 3$  m) modulates breaking wave patterns and rip-current flow throughout the tide cycle (Bruneau et al. 2009). On average, rip-current channels are spaced 400 m alongshore and rip-current activity is maximised between low and mid-tide. Other rip types (Castelle et al. 2016a) can form during other stages of the tide cycle, but are much less common than channelised rip currents. At high tide, or near high tide, waves can break close to the shoreline on the steepest beach sections creating hazardous shore-break conditions (Fig. 1b). During busy summer months, large numbers of surfers of all ability, including surf schools, congregate in many areas away from the bathing zones. In crowded conditions, surfers are exposed to additional hazards as the risk of collisions is increased (Fig. 1c).

## 3 Injury data collection

The beaches of the 230-km Aquitaine open coast are patrolled by lifeguards from May to September each year, with most of the (less popular) beaches patrolled only in July and August. Unlike other countries, many of the lifeguards are from the general reserve of the French National Police, namely the *Compagnies Républicaines de Sécurité* (CRS), who are in charge of general security missions including crowd and riot control. CRS are typically trained in anti-insurrection and anti-riot techniques, but some are also cross-trained and serve as lifeguards on beaches in summer. For each patrolled area, CRS work together with civil lifeguards under the responsibility of a CRS chief lifeguard. Each coastal municipality along the coast (grey squares in Fig. 2b) is responsible for the security of their stretch of coast that can cover up to approximately 20 km (Lège, Fig. 2b). The stretch of coast under the responsibility of a coastal municipality can include one or several supervised bathing areas, each delimited by 2 blue flags, typically extending no more than 100 m alongshore. The beach is also patrolled both to the north and to the south of the bathing area, although bathing is forbidden in these areas. Some coastal municipalities, which cover a long stretch of coast, also have completely unpatrolled areas. The bathing zone is typically located on a shore-connected shoal away from rip currents that flow through deeper channels. Beaches are patrolled from 11 AM to 7 PM although lifeguards often train along the beach before and after the patrolled hours.

Lifeguards are responsible for performing surf rescues and enforcement of beach ordinance. They also respond to medical emergencies and provide medical first aid before medical services arrive at the beach. During patrol hours, a flag is hoisted on a 10+ m mast with the colour indicating the level of risk: (1) green flag means that bathing is watched with no particular danger; (2) yellow-orange flag means that bathing is dangerous, but watched; and (3) red flag means that bathing is forbidden. Red flags are usually hoisted due

to high waves and dangerous surf, but also much more rarely due to pollution or lightning. Overall, the yellow-orange flag is hoisted more than 85% of the time along Gironde and Landes coasts (Lapaty 2004).

Whenever a medical incident occurs on the beach, a lifeguard responds to the scene to provide patient care and to potentially assist paramedics. The CRS chief lifeguard is responsible for ascertaining information about the incident including patient information and surf conditions at the time of the incident. Since the summer of 1999, a report is filed for every incident that occurs on the beach during the lifeguard season and all incident reports are stored at lifeguard headquarters (Lapaty 2004). At the end of each summer, copies of the accident/injury incident report forms (Fig. 3) are sent to the CRS SW France headquarters and to the Emergency Medical Service SAMU-SMUR of the Hospital Centre Côte Basque. In contrast to SZI report forms designed in other countries (e.g. Muller 2018), rip currents are not pre-defined as a check box. Instead, rip-current-related incidents were deduced from the indication of drowning and the comments provided in the 'Accident description' box indicating that the beachgoer was caught in a rip current, as for each drowning incident the causes and circumstances are given in detail.

To save time in the data collection process, not all variables listed on report forms and filled in by the lifeguards (Fig. 3) were entered into our database. Variables examined were as follows: date; beach location (municipality); start time of the incident; flag colour; accident inside or outside of the bathing zone; age; gender; country and home postal code of the victim; activity (wading/swimming, surfing, bodyboarding, other); cause of injury (rip current, shore break, collision against someone else, collision against their board, collision against someone else's board, falling, other); injury type (drowning, wound/contusion, spine/cervical, fracture/luxation, other); and additional comments if relevant to the injury. In case of a drowning incident, the drowning stage was also provided according to a four-stage classification widely used in France (Menezes and Costa 1972; Dupoux et al. 1981): (1) exhaustion, but no sign of aspiration of water; (2) moderate respiratory impairment, anxiety; (3) altered consciousness, severe respiratory impairment or acute pulmonary oedema, tachycardia or hypotension; (4) coma, respiratory or cardiac arrest. Only incidents that occurred in the surf zone were gathered in the data set.

Unfortunately, large data gaps exist essentially because the forms have not been properly archived and stored, sometimes including entire lifeguard seasons, making it impossible to analyse temporal trends of SZIs. Although we did our best to retrieve as much data as possible both at the CRS SW France headquarters and at the academic health centre of Bayonne, data from only 8 lifeguard seasons were collected (out of 17), 3 of which were incomplete. In this study, data from the 3 most recent full summer seasons were analysed. The 2 other full summer seasons (2000 and 2001) were disregarded to focus on the more recent SZIs statistics. This data set consists of 2523 incident report forms gathered over a total of 186 individual calendar days during the summers of 2007, 2009 and 2015. Of these, 99.6% describe incidents that occurred in July or August, with only 12 calendar days in July/August having no form reported along the entire coast. Data set limitations will be discussed in Sect. 5.

Date: <u>19 / 08 / 2015</u>	Form #: <u>26</u>	Location: <u>Lacanau</u>
Lifeguard's station: <u>Northern beach</u>	Start: <u>17 h 15</u>	End: <u>18 h 00</u>
Flag: <input type="checkbox"/> G <input checked="" type="checkbox"/> Y <input type="checkbox"/> R	Patrolled hour <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	Accident on the beach <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
		Patrolled area <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No
		Bathing zone <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No

**IDENTITY**

NAME: XXXXXX xxxx Age: 29 M  F

Address: 23, Second Street, 33600

**ACCIDENT**

Activity:  Wading / swimming  Surfing  Bodyboarding  Shorebreak  Other

▶ Accident description: In the bathing zone she got pounded by a shorebreak, swallowed a little bit of water. She was able to go back to shore alone.

Saved by:  Lifeguard  Helicopter  Boat  Bystander  Alone  Other

**MEDICAL REVIEW**

Faint:  Yes  No

Desease:  Yes  No

Traumatology:

	Head	Spine	Limb	Thorax	Abdomen
Contusion					
Wound					
Fracture					
Luxation					

● **Drowning stage**  1  2  3  4

● **Other**

▶ Summary: The victim is shocked, with moderate respiratory impairment

<b>VITAL SIGNS</b>	<b>SEVERITY</b>
Conscious <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Initial loss of consciousness	<input type="checkbox"/> No severity <input type="checkbox"/> Mild severity
Breathing <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Labored	<input checked="" type="checkbox"/> Severe <input type="checkbox"/> Very severe
Pulse: <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> Fatal

**CARE**

O<sub>2</sub>  Cervical collar  Upper airway release  Ventilation  Recovery position  Chest compression

**TRANSPORT FROM THE BEACH**

Fire brigade  Emergency Medical Services  Helicopter  Private Ambulance  On their own  Local doctor

Towards:  Hospital  Clinic  Doctor office  No transportation  Medical committee

Location name: xxxxx  REFUSAL

▶ Intervention lifeguard(s): xxxxx xxxxx  
(optional)

Lifeguard Chief: xxxxx

**Fig. 3** An example of a CRS lifeguard incident/injury report form used in SW France. In this example, information that is used (blue) and not used (light grey) for the data collection and further analysis is indicated

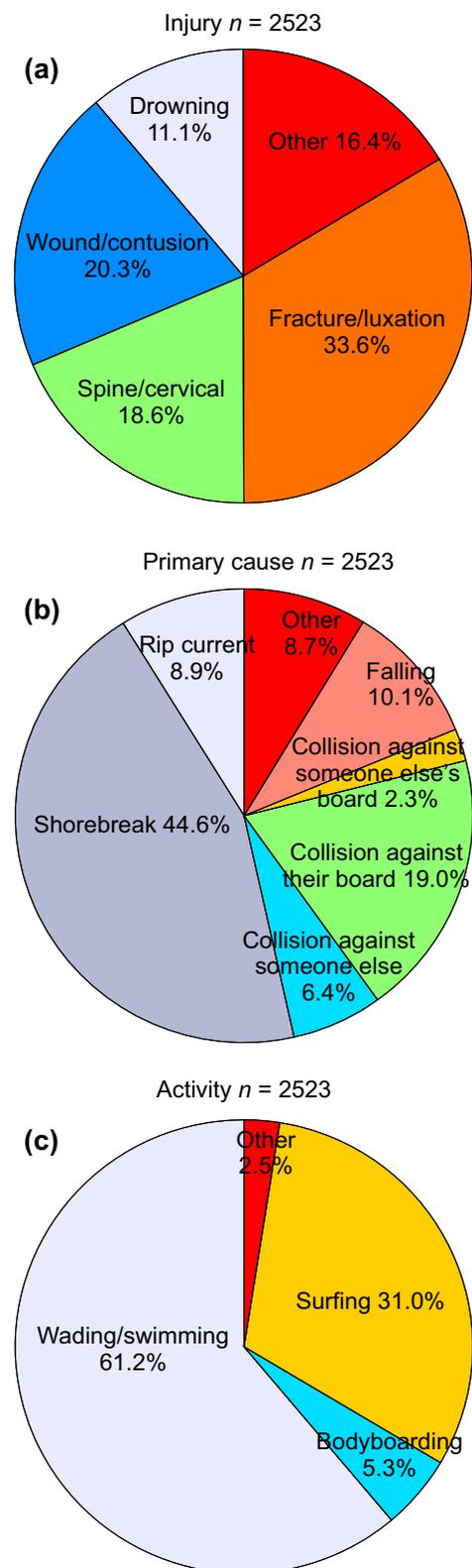
## 4 Results

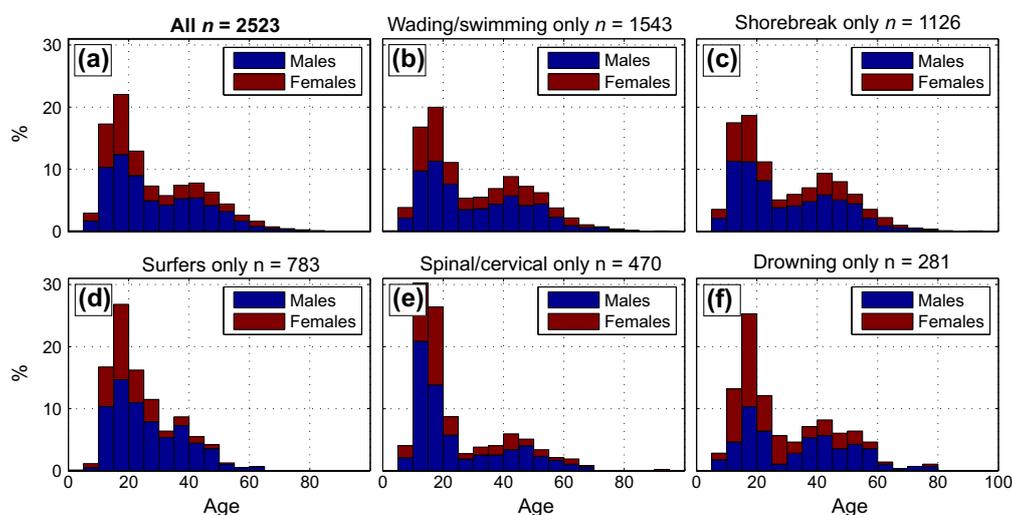
Reports were obtained from all 23 municipalities shown in Fig. 2b, with the municipality of the busy coastal resort of Lacanau providing the largest amount of data (14.7%;  $n = 371$ ). Figure 4 provides an overview of SZI types including primary cause and beachgoer activity at time of incident. Drowning (from stage 1 to stage 4) only covers 11.1% ( $n = 281$ ) of the injuries (Fig. 4a). The most common injury type is fracture/luxation (33.6%;  $n = 847$ ) followed by wound/contusion (20.3%;  $n = 511$ ) and spine/cervical injuries (18.6%;  $n = 470$ ). Various other injuries were also reported (16.4%;  $n = 413$ ) such as minor pains that did not require any assistance. Shore-break waves are the most important cause of SZIs (44.6%;  $n = 1125$ , Fig. 4b), to which can be added impacts with other wading people (6.4%;  $n = 162$ ) that primarily occur in shore-break waves in crowded bathing zones. Figure 4b shows that another large proportion of injuries are related to surfing (31%;  $n = 783$ ) and bodyboarding (5.3%;  $n = 134$ ) activities as evidenced by the large proportion of injuries caused by collision against their board (19%;  $n = 479$ ), someone else's board (2.3%;  $n = 68$ ) and falling (10.1%;  $n = 254$ ), although the latter involves a majority of wading beachgoers. Wading/swimming is the most common activity recorded in the incident/injury report forms (61.2%;  $n = 1543$ , Fig. 4c).

Figure 5 shows the distribution of SZIs according to age and gender for the entire data set (Fig. 5a) and for specific activity, primary cause and injury type (other panels in Fig. 5). Figure 5a shows that, overall, males were most frequently injured, comprising 69.6% ( $n = 1617$ ) of the entire sample. The distribution of age group within gender was non-normal, with on average injured females being younger than males. The median and mean ages were 24 (19) years and 28.3 (26.0) years for males (females), respectively. Two age groups stand out in particular: (1) 10–25 years (39.5% females; 60.5% males) representing 54.5% ( $n = 1376$ ) of the data set; and (2) 35–50 years (30.7% females; 69.3% males) representing 22.6% ( $n = 570$ ; Fig. 5a). Similar age/gender distributions are observed for swimming/wading activity (Fig. 5b) and shore-break-related injuries (Fig. 5c). In contrast, the population injured while surfing is younger with 62.6% ( $n = 490$ ) within the age group 10–25. Of note, the spine/cervical injury population is even younger with 58.5% ( $n = 313$ , Fig. 5e) within the age group 10–20. Within the age group 10–25 of the drowning population (all stages included), which is associated with 52% of the drowning incidents, the majority were females (58.2%;  $n = 85$ ) in contrast to all the other gender distributions. Table 1 provides more insight into the drowning population and shows that there is a large majority (74.1%;  $n = 33$ ) of males involved in severe drowning incidents (stages 3 and 4), while milder drowning incidents (stages 1 and 2) are approximately equally distributed between males and females. Overall, 79% ( $n = 222$ ) of the drowning incidents are caused by rip currents, a proportion that ranges from 50 to 82% depending on the drowning stage (Table 1).

Figure 6 shows the hourly variation of SZIs. 93.6% ( $n = 2362$ ) of injuries occurred during patrolled hours, peaking at 18.9% ( $n = 533$ ) between 4 and 5 PM with the majority of injuries (51.8%;  $n = 1357$ ) occurring between 3 and 6 PM. While there is no significant hourly variation in the injured gender distribution, 56.4% ( $n = 368$ ) of injuries in the morning and early afternoon (before 2 PM) are related to surfing activities. This is largely because: (1) beaches are not yet crowded with beachgoers enjoying swimming and wading; (2) surf schools typically provide surf training courses in the morning and early afternoon; (3) offshore wind conditions, which greatly improve surf-break quality, generally occur early in the day before the onshore marine sea breeze picks up.

**Fig. 4** Surf zone incidents related to: **a** injury type; **b** primary cause; and **c** activity



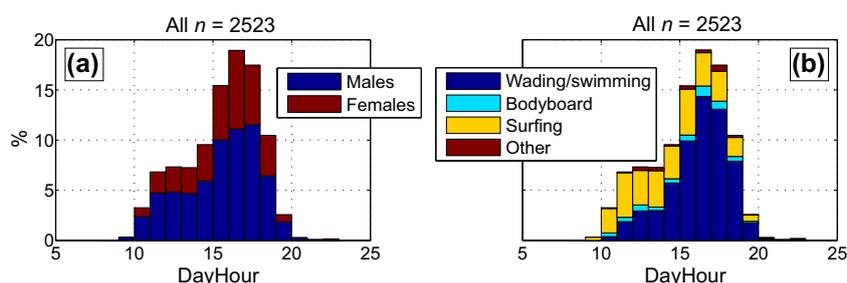


**Fig. 5** Age and gender distribution of SZIs for: **a** all incidents, and specific activity, primary cause and injury type; **b** wading/swimming; **c** shore break; **d** surfing; **e** spinal injuries; and **f** fatal and non-fatal drowning

**Table 1** Drowning incidents as related to gender, location (inside or outside of the bathing zone) and rip currents

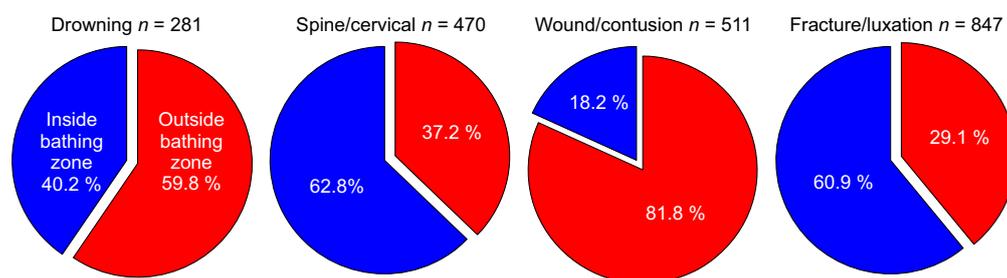
Drowning stage	Total	Male	Female	Inside bathing zone	Outside bathing zone	Rip current zone
1	26	10 (38%)	16 (62%)	16 (62%)	10 (38%)	19 (73%)
2	223	114 (51%)	109 (49%)	91 (41%)	131 (59%)	183 (82%)
3	14	8 (62%)	5 (38%)	6 (43%)	8 (57%)	7 (50%)
4	18	15 (83%)	3 (17%)	0 (0%)	17 (100%)	13 (76.5%)
Total	281	147 (52%)	133 (48%)	113 (40%)	166 (60%)	222 (79%)

The gender of 1 out of the 14 stage 3 drowning victims was not filled in the form



**Fig. 6** SZI occurrence as a function of time and as a function of **a** gender and **b** activity

Overall, 48% ( $n = 1210$ ) of SZIs occurred inside the bathing zone, albeit with large variabilities of injury type (Fig. 7). A large proportion (81.8%;  $n = 418$ ) of wound/contusion injuries occurred outside of the bathing zone. This is due to these injuries being sustained primarily when surfing (73.4%;  $n = 375$ ) and because 100% of the injuries related



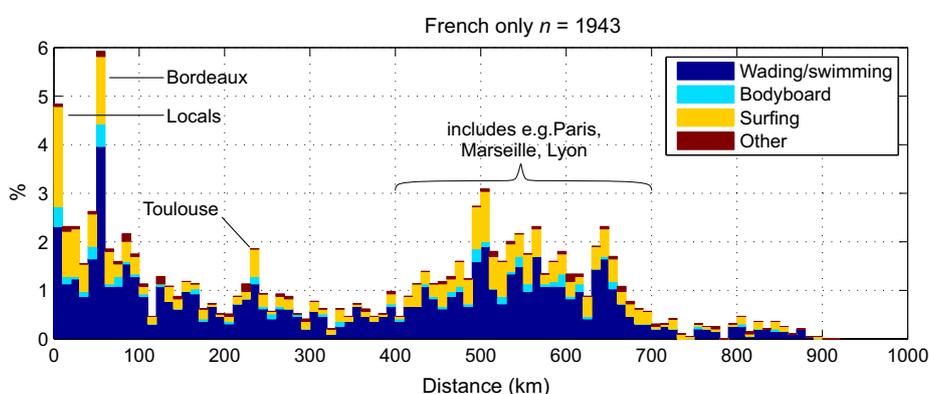
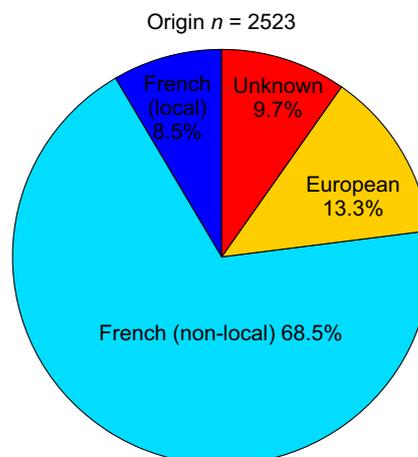
**Fig. 7** Percentage of SZI types inside (blue) and outside (red) of the bathing zone

to surfing occurred outside of the bathing zone as surfing is forbidden in these zones. Of interest, Fig. 7 also shows that spine/cervical and fracture/luxation injuries primarily occur inside the bathing zone. This is because spine/cervical (73.8%;  $n = 347$ ) and fracture/luxation (66.4%;  $n = 562$ ) are primarily sustained in the shore break, and because 74.1% ( $n = 834$ ) of shore-break-related injuries occur inside the bathing zone. These findings highlight that shore breaks are clearly a major hazard in the bathing zone when beachgoers enter the water. Finally, a substantial amount (40%;  $n = 113$ ) of drowning incidents occur inside the bathing zone. However, 94.7% ( $n = 107$ ) of these drowning incidents were of mild severity (stages 1 and 2, see Table 1), and no fatal or stage 4 drowning occurred in the bathing zone in this data set. This is presumably because water is shallow, and water users are close to shore favouring self-rescue and enabling supervising lifeguards to react quickly to incidents.

The number of SZIs per day was highly variable in the data set, with some days having no incident reports and others with a large number of SZIs. 18 August 2007 received the highest number of incidents (60) with a proportion of primary causes and injury types roughly in line with the overall data set presented above. More interesting were the second and third days with the highest number of SZIs. 4 August 2009 and 20 August 2009 were characterised by 59 and 52 SZIs, respectively. Both days were dominated by injuries caused by the shore break corresponding to 81.4 and 76.9% of the incidents, respectively. This demonstrates that the shore break can be highly hazardous to swimmers and that widespread incidents can occur even inside the bathing zone during particular days. Other days were also particularly prone to drowning due to rip currents. 5 August 2007 was the day with the highest number of drowning incidents (17; 14 stage 2, 1 stage 3 and 2 fatal stage 4) corresponding to 45.9% of incident forms filled in that day.

Beach location and home postal code for each victim allowed a systematic quantification of the distance between the French victim and the beach. Overall, 85.3% ( $n = 1943$ ) of the victims were French when postal address was provided (90.3%,  $n = 2278$ ). Although it is not possible to comment on the beachgoing frequency of the victims, those living within 40 km from the beach where the injury occurred were subjectively described as 'locals' and those beyond that distance described as 'non-locals' as they typically have more than a half-an-hour drive from their home to the beach. Approximately 89% ( $n = 1729$ ) of French victims were non-locals, while 90.6% ( $n = 2064$ ) of all victims were non-locals. Figure 8 shows that 13.3% ( $n = 335$ ) of victims were European (non-French) with the most common countries of origin being the Netherlands (44.2% of non-French European;  $n = 148$ ), followed by Germany (26.3% of non-French European;  $n = 88$ ) and Belgium (12.5% of non-French European;  $n = 49$ ), which are all coastal countries, albeit with different wave climate and surf zone current conditions to SW France. Figure 9

**Fig. 8** Geographic distribution of SZIs in SW France (from patient home postal code)



**Fig. 9** Distribution of the distance between the beach and patient home (from postal code) as a function of activity

provides more insight into the geographical distribution of the French victims. Peaks clearly identify the victims from the closest and largest French cities shown in Fig. 2a with, for instance, victims from the nearby large cities of Bordeaux and Toulouse standing out. These patterns are consistent for both wading/swimming and surfing activities (Fig. 9).

## 5 Discussion and conclusions

The patterns of SZIs along the high-wave-energy sandy beaches of SW France show some clear similarities with findings in other countries. The predominant age group involved in the incidents was between 10 and 25 years, the majority of SZIs (69.6%) involved males, and most victims were non-locals, which is consistent with trends found elsewhere (UK: RNLI 2014; USA: USLA 2015; Australia: SLSA 2017). The three primary causes of SZIs found in this study, namely rip currents, shore break and surfing activity, which were mostly treated separately in other studies (e.g. Barucq et al. 2009; Brighton et al. 2013), are also clearly identified as the three primary hazards to recreational beachgoers in SW France. The major difference here is that these three primary hazards were addressed together in relation to SZI type, allowing a better assessment of the relative proportions and

severity, which is critical to making more informed decisions about funding and targeting public safety programmes. Wading was also identified to be the dominant activity associated with SZI (61.2%), also consistent with other studies (e.g. 50.1% on the Delaware beaches, Doelp et al. 2017).

Some findings in this study are inconsistent with observations along other coasts. An example is the large proportion of females (48%) involved in drowning incidents on beaches in SW France. This is in contrast to all existing drowning epidemiology studies (Brighton et al. 2013; USLA 2015; SLSA 2017), which highlight the large predominance of young males in drowning incidents. Indeed, a recent beach safety educational campaign by Surf Life Saving Australia has focussed on targeting young males (<https://sls.com.au/young-men-risk-getting-caught-dying-rip-currents/>). Although beyond the scope of this study, the physical, social and cultural reasons why young females are highly exposed to drowning incidents in SW France should be explored further. Both males and females within the age group between 35 and 50 years old were also found to be the second most common age group receiving SZIs, similarly to the anomalous and unexplained peak in the 35–55 age of SZIs reported along the Delaware coast (Puleo et al. 2016). Reasons to explain this are also unclear, although it is possible that somewhat older children are more likely to be less supervised by parents aged 35–55 and that declining physical fitness place middle-aged adults at high risk. This can also be the signature of the vulnerable ‘weekend warriors’ (Roberts et al. 2014), a category of people, most likely middle-aged, who are active, but not on a regular basis and tend to engage in demanding recreational sporting activities at similar intensities to when they were aged in their 20s. This can also be due to the beach user demographic, which will be discussed later. Finally, contrary to other studies performed along coastlines with a large range of wave exposures and different beach types (e.g. Arozarena et al. 2015), there was little spatial variation in SZI data along the quasi-straight sandy coast of SW France.

The fact that shore-break waves are the most important cause of SZIs (44.6%) is also somewhat surprising as this is not the case in other countries where rip currents are by far the primary cause [81% USA (USLA 2015); 57.4% Australia (Brighton et al. 2013); 45% UK (RNLI 2014)]. Contrary to SW France, shore-break waves are typically associated with a low proportion of surf zone hazards in most of the existing studies [8.5% Australia (Brighton et al. 2013); UK 16% (RNLI 2014)]. Notable exceptions can occur, such as along the steep beaches of the Delaware coast where shore-break waves are identified as the primary surf zone hazard (Puleo et al. 2016; Doelp et al. 2017), although the proportion with respect to the other surf zone hazards was not quantified. The beaches of SW France are, however, not particularly steep except near high tide, which limits the temporal duration of, and exposure to, hazardous shore-break conditions (Masselink and Short 1993). Clearly, the link between tide/beach slope and shore-break injuries should be investigated further, but is beyond the scope of the present study. Finally, although the SW coast of France is known to attract many surfers, both from France and from other European countries, the rate of SZIs related to surfing activity is surprisingly high (31%) compared to elsewhere. For instance, only 3% of SZIs are related to surfing activity along the Delaware coast (Doelp et al. 2017), behind body surfing (13.3%) and bodyboarding (18.4%). Although this was not quantified here, a large proportion of the injuries associated with surfing activity occurred during learn-to-surf courses as often indicated by the accident description in the incident/injury report forms.

The results of this study are similar to those of Puleo et al. (2016) in that there were particular days with high numbers of SZIs suggesting that there may be causal relationships with specific physical conditions relating to waves, tidal stage, and beach

morphology and weather conditions and water temperatures that influence beach attendance and water entry, and therefore beachgoer exposure. Puleo et al. (2016) attempted to relate injury occurrence to environmental factors (including in situ wave height, tidal stage and foreshore slope measurements) and found only weak correlations, but noted that the highest injury rates were associated with moderate wave height (0.6 m). In the absence of clear correlations, they suggested that SZI rates are likely related to human factors. In contrast, Scott et al. (2014) used 5-year lifeguard incident records from 20 beaches in south-west England together with wave and tide data and further found high correlations between environmental factors and rip-related rescues. They also showed considerable environmental control on mass rescue events. Physical conditions at the time of the injury such as wave height, period and direction, tidal stage, beach slope, water and air temperatures, wind and insolation were not recorded in the lifeguard incident forms addressed herein. However, large-scale numerical weather and wave hindcast data are available along this stretch of coast (e.g. Masselink et al. 2016), along with data collected at nearby weather stations, which can be used instead. However, with the exception of regular topographic data collected at Truc Vert beach (Castelle et al. 2017), which is located approximately 15 km south of Le Porge on the Gironde coast (Fig. 2b) and not representative of all the beaches along the coast, beach slope data are unavailable. There are some qualitative findings which suggest that rip-current-related and shore-break-related injuries preferably occur around low and high tides, respectively, both for low- to moderate-energy waves. However, the detailed analysis is beyond the scope of this paper due to the apparent complexities in the relations between forcing and injury types, and this will be the subject of a future study as a key contribution of this effort is to demonstrate the relative contributions of different SZI types. The development of a risk predictor for a given surf zone hazard, which has been fairly successful in other countries using approaches of varying complexity (e.g. Lushine 1991; Austin et al. 2013; Moulton et al. 2017) would clearly have beneficial implications for lifeguard management and beachgoer safety along the coast of SW France. Similarly, further investigation is needed to provide an accurate assessment of beachgoer demographics and beach usage in general, which is a critical component of any risk predictor, but remains a challenge for all beach-safety-related research (Brander 2018).

Our results have other strong implications in terms of beachgoer management and safety. First, as most severe drowning incidents and all fatal drownings occurred well away from the bathing zones, the safety message ‘swim between the flags’ during the patrolled season must be better communicated to the public. Second, shore-break conditions are clearly highly hazardous, even within the patrolled bathing zone, particularly during specific days as described above. These shore-break-related injuries can be severe. For example, one of the two stage 4 drowning deaths in the summer of 2015, a healthy middle-aged male, occurred in the shore break away from the bathing zone and was diagnosed with a severe whiplash and subsequent drowning. However, to our knowledge, educational interventions about dangerous shore-break conditions are non-existent in SW France. The lack of shore-break education and awareness has been pointed out in other studies. For instance, even on severely rated shore-break beaches in the USA with dedicated shore-break warning signs less than 20% of the beachgoers actually saw the warnings (Doelp et al. 2017). In addition to posting shore-break warning signs at relevant locations, a shore-break awareness campaign is clearly required in SW France to limit severe injuries so that beachgoers understand that, even inside the bathing zone, wading and swimming may not be safe. Third, rip currents clearly represent a major hazard to beachgoers in SW France and are by far the leading deadly surf zone hazard. Although some rip-current educational

interventions exist, they are not as well developed, coordinated, prevalent or effective as they are in other countries such as the USA, Australia and the UK (Brander and Scott 2016). Given that 85% of the rip-current-drowning victims along the SW coast were French, a strong need exists for a national rip-current education programme building on the lessons gained from other countries (e.g. Houser et al. 2017).

Our study has a number of limitations common to other beach-safety-related studies. First, accurate incident reporting of beach-related injuries is a global challenge (Williamson 2006) and as stated earlier in this paper, although the lifeguards were efficient in reporting, many reports were subsequently lost since 1999 making it impossible to conduct a robust SZI analysis throughout the last 17 years. Accordingly, the years 2007, 2009 and 2015 may not be entirely representative of the variability in SZIs in SW France. While improving incident reporting amongst lifeguards is a global challenge, in France a first step is to properly archive and store the data. Second, our results show that there is a reasonably low proportion of SZIs related to rip currents, although rips are by far the leading deadly hazard in the data set. However, it is important to note that rip-current-related rescues were filled in only when drowning incidents occurred. The numerous timely and efficient rip-current rescues performed by lifeguards and by bystanders (Scott et al. 2014; Attard et al. 2015; Moran et al. 2017) were therefore ignored. The rip-current hazard is therefore largely under-represented here.

The fact that the spine/cervical injury population along the SW coast of France is very young, with 58.5% within the age group 10–20, warrants further investigation. For instance, personal communication with local lifeguards indicates that lifeguards are more cautious with young people, with any suspicion of spinal injury typically being recorded as a spine injury in the forms, which would not be the case with an adult. Finally, although it is a strong limitation of all the epidemiology studies of SZIs, it is important to emphasise that the demographic profile of beachgoers is largely unknown. For instance, the 35–55 age group peak may just be the signature of a higher proportion of middle-aged beach visitors. Another related issue is the exposure rate, which depends on the number of people who enter the water when they are at the beach, which is variable in time and space and is virtually unknown. Therefore, addressing the demographics and exposure of beachgoers is a paramount to further understand the epidemiology of SZIs (Woodward et al. 2013). Finally, due to lack of suitable data, we are unable to relate our findings to social factors such as beachgoer behaviour, visitation patterns and water entry intentions in relation to flags and signage, similar to recent social-based surf hazard research (e.g. Brannstrom et al. 2015; Barlas and Beji 2016; Houser et al. 2016). Such a study is clearly needed and would provide valuable sociocultural insights into French and European beachgoers in comparison with those in other countries.

Regardless of these limitations, our study provides the first overview of SZIs in SW France. Injuries sustained range from mild contusion to fatal drowning and included severe spinal injuries, wounds and luxation. While the most severe injuries are related to rip currents, a large number of SZIs occurred as a result of shore-break waves and surfing activity primarily inside and outside of lifeguard-patrolled bathing zones, respectively, with patterns differing from those reported elsewhere. We found a predominance of young males in the reported SZIs and severe drowning incidents, and a surprisingly high number of females. This calls for the development of improved awareness campaigns in France on rip currents and shore-break waves that are particularly targeted towards young males and females in order to reduce the number of injuries and drownings occurring on beaches in SW France. These campaigns should always emphasise the importance of bathing only between the flags and in the presence of lifeguards.

**Acknowledgements** We thank the CRS headquarters for providing the forms as well as the lifeguard chiefs for filling the incident forms throughout the years. This work was assisted through funding provided by the IDEX 'Invited Scholar' scheme (Univ. Bordeaux) that brought RB in Bordeaux in fall 2014 to initiate this research. The surf zone injury report forms, which are still used at the time of writing this paper, were designed by J.M. Campagne in 1999 in close collaboration with CRS and civil lifeguards, fire brigade and coastal municipalities. BC was funded by project SONO (ANR-17-CE01-0014) from the Agence Nationale de la recherche (ANR). The data file was declared upon the Commission Nationale Informatique et Liberté (CNIL) under the number 21118123v0 according to French law. This retrospective study was authorised by local ethic committee. We thank the two anonymous reviewers for constructive comments and suggestions that improved the paper.

## References

- Arozarena I, Houser C, Echeverria AG, Brannstrom C (2015) The rip current hazard in Costa Rica. *Nat Hazard* 2:753–768
- Attard A, Brander RW, Shaw WS (2015) Rescues conducted by surfers on Australian beaches. *Accid Anal Prev* 82:70–78
- Austin MJ, Scott TM, Russell PE, Masselink G (2013) Rip current prediction: development, validation, and evaluation of an operational tool. *J Coast Res* 29(2):283–300
- Ballantyne R, Carr N, Hughes K (2005) Between the flags: an assessment of domestic and international university students' knowledge of beach safety in Australia. *Tour Manag* 26(4):617–622
- Barlas B, Beji S (2016) Rip current fatalities on the Black Sea beaches of Istanbul and effects of cultural aspects in shaping the incidents. *Nat Hazards* 80(2):811–821
- Barucq G, Jenkins O, Mokni T, Marce S, Campagne JM, Le Jeune D (2009) Surfing-related accidents: epidemiology and prevention. <http://blog.surf-prevention.com/2009/01/21/surfing-related-accidentsepidemiology-and-prevention/>. Accessed 01 Feb 2018
- Beratan KK, Osborne RH (1987) Frequency and demographic aspects in shallow-water diving accidents in southern California. In: Osborne RH (ed) *Shallow-water diving accidents at southern California ocean beaches: demographic, sedimentologic, medical, legal and management perspectives*. University of Southern California, Los Angeles
- Bradstreet AJ, Brander RW, McCarroll JR, Brighton B, Howes DD, Drozdowski D, Sherker S, Turner IL, Roberts A, MacMahan JH (2014) Rip current survival principles: towards consistency. *J Coast Res* 72:85–92
- Brander RW (2018) Beach safety research. In: Finkl C (ed) *The encyclopedia of coastal science*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Brander RW, Scott T (2016) Science of the rip current hazard. In: Tipton M, Wooler A, Reilly T (eds) *The science of beach lifeguarding: principles and practice*. CRC Press, Boca Raton, pp 67–86
- Brander RW, Bradstreet A, Sherker S, MacMahan J (2011) The behavioural responses of swimmers caught in rip currents: new perspectives on mitigating the global rip current hazard. *Int J Aquat Res* 5:476–482
- Brannstrom C, Trimble S, Santos A, Brown HL, Houser C (2014) Perception of the rip current hazard on Galveston Island and North Padre Island, Texas, USA. *Nat Hazards* 72(2):1123–1138
- Brannstrom C, Brown HL, Houser C, Trimble S, Santos A (2015) «You can't see them from sitting here»: evaluating beach user understanding of a rip current warning sign. *Appl Geogr* 56:61–70
- Brighton B, Sherker S, Brander R, Thompson M, Bradstreet A (2013) Rip current related drowning deaths and rescues in Australia 2004–2011. *Nat Hazard Earth Syst Sci* 13:1069–1075
- Brumaud S (2016) Saison touristique 2015 en Aquitaine—La fréquentation des hôtels et campings au beau fixe, INSEE Analyses Nouvelle-Aquitaine. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1908387>. Accessed 01 Feb 2018 (in French)
- Bruneau N, Castelle B, Bonneton P, Pedreros R, Almar R, Bonneton N, Bretel P, Parisot JP, Senechal N (2009) Field observations of an evolving rip current on a meso-macrotidal well-developed inner bar and rip morphology. *Cont Shelf Res* 29:1650–1662
- Bruneau N, Bonneton P, Castelle B, Pedreros R (2011) Modeling rip current circulations and vorticity in a high-energy meso-environment. *J Geophys Res Oceans* 116:C07026. <https://doi.org/10.1029/2010JC006343>
- Caldwell N, Houser C, Meyer-Arendt K (2013) Ability of beach users to identify rip currents at Pensacola Beach, Florida. *Nat Hazards* 68(2):1041–1056
- Castelle B, Scott T, Brander RW, McCarroll RJ (2016a) Rip current types, circulation and hazard. *Earth Sci Rev* 163:1–21

- Castelle B, McCarroll RJ, Brander RW, Scott T, Dubarbier B (2016b) Modelling the alongshore variability of optimum rip current escape strategies on a multiple rip-channelled beach. *Nat Hazard* 81:664–686
- Castelle B, Bujan S, Ferreira S, Dodet G (2017) Fore-dune morphological changes and beach recovery from the extreme 2013/2014 winter at a high-energy sandy coast. *Mar Geol* 385:41–55
- Castelle B, Guillot B, Marieu V, Chaumillon E, Hanquiez V, Bujan S, Poppeschi C (2018) Spatial and temporal patterns of shoreline change of a 280-km high-energy disrupted sandy coast from 1950 to 2014: SW France. *Estuar Coast Shelf Sci* 200:212–223
- Chang SK, Tominaga GT, Wong JH, Weldon EJ, Kaan KT, Kenneth T (2006) Risk factors for water sports-related cervical spine injuries. *J Trauma Inj Infect Crit Care* 60:1041–1046
- Dalrymple RA, MacMahan JH, Reniers AJHM, Nelko V (2011) Rip currents. *Ann Rev Fluid Mech* 43:551–581
- Dimmick S, Brazier D, Wilson P, Anderson SE (2013) Injuries of the spine sustained whilst surfboard riding. *Emerg Radiol* 20:25–31
- Doelp MB, Puleo JA, Cowan P, Arford-Granholm M (2017) Characterizing surf zone injuries from the five most populated beaches on the Atlantic-fronting Delaware coast: Delaware surf zone injury demographics. *Am J Emerg Med*. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.12.053>
- Drozdowski D, Shaw W, Dominey-Howes D, Brander R, Walton T, Gero A, Sherker S, Goff J, Edwick B (2012) Surveying rip current survivors: preliminary insights into the experiences of being caught in rip currents. *Nat Hazard Earth Syst Sci* 12:1201–1211
- Drozdowski D, Roberts A, Dominey-Howes D, Brander R (2015) The experiences of weak and non-swimmers caught in rip currents at Australian beaches. *Aust Geogr* 46:15–32
- Dupoux JE, Bernard-Catinat G, Brunel JM (1981) Réactualisation du traitement d'urgence de la noyade. *Bordeaux Méd* 14:1095–1100 (in French)
- Gensini VA, Ashley WS (2009) An examination of rip current fatalities in the United States. *Nat Hazard* 54:159–175
- Gilchrist J, Branche C (2016) Lifeguard effectiveness. In: Tipton M, Wooler A (eds) *The science of beach lifeguarding*. CRC Press, Boca Raton
- Hatfield J, Williamson A, Brander RW, Sherker S, Hayen A, Dunn N (2012) Development and evaluation of campaigns to reduce rip current-related beach drowning in Australia. *Inj Prev* 18:A135
- Hay CSM, Barton S, Sulkin T (2009) Recreational surfing injuries in Cornwall, United Kingdom. *Wilderness Environ Med* 20:335–338
- Houser C, Brander R, Brannstrom C, Trimble S, Flaherty J (2016) Case study of rip current knowledge amongst students participating in a study abroad program. *Front Interdiscip J Study Abroad* 28:42–60
- Houser C, Trimble S, Brander R, Brewster BC, Dusek G, Jones D, Kuhn J (2017) Public perceptions of a rip current hazard education program: “break the grip of the rip!”. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 17(7):1003–1024
- Lapaty X (2004) Les accidents de plage sur le littoral aquitain, au cours des été 1999 et 2000: épidémiologie générale et proposition de prévention des traumatismes du rachis. M.Sc. thesis, Université Bordeaux 2, 91p. (in French)
- Leeuwen Van, McCarroll JR, Brander RW, Turner IL, Power H, Bradstreet A (2016) Examining rip current escape strategies in non-traditional beach morphologies. *Nat Hazard* 81:145–165
- Lushine JB (1991) A study of rip current drowning and related weather factors. *Natl Weather Dig* 16:15–31
- MacMahan JH, Thornton EB, Reniers AJ (2006) Rip current review. *Coast Eng* 53(2):191–208
- Masselink G, Short AD (1993) The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *J Coast Res* 9(3):785–800
- Masselink G, Castelle B, Scott T, Dodet G, Suarez S, Jackson D, Floc'h F (2016) Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. *Geophys Res Lett* 43:2135–2143. <https://doi.org/10.1002/2015GL067492>
- McCarroll RJ, Brander RW, MacMahan JH, Turner IL, Reniers AJHM, Brown JA, Bradstreet A, Sherker S (2014) Evaluation of swimmer-based rip current escape strategies. *Nat Hazard* 71:1821–1846
- McCarroll RJ, Castelle B, Brander RW, Scott T (2015) Modelling rip current flow and bather escape strategies across a transverse bar and rip channel morphology. *Geomorphology* 246:502–518
- McKay C, Brander RW, Goff J (2014) Putting tourists in harms way—coastal tourist parks and hazardous unpatrolled surf beaches in New South Wales, Australia. *Tour Manag* 45:71–84
- Menezes RA, Costa RVC (1972) Resgate e recuperação de 12.037 afogados. *J Bras Med* 9:50–64
- Moran K, Weber J (2013) Surfing injuries requiring first aid in New Zealand, 2007–2012. *Int J Aquat Res Educ* 7:192–203
- Moran K, Webber J, Stanley T (2017) The 4Rs of aquatic rescue: educating the public about safety and risks of bystander rescue. *Int J Inj Control Saf Promot* 24(3):396–405

## Nat Hazards

- Moulton M, Dusek G, Elgar S, Raubenheimer B (2017) Comparison of rip current hazard likelihood forecasts with observed rip current speeds. *Weather Forecast* 32:1659–1666
- Muller MW (2018) Beach replenishment and surf zone injuries along the coast of Delmarva, USA. *Ocean Coast Manag* 151:127–133
- Nathanson AT (2013) Surfing injuries. In: Mei-Dan O, Carmont M (eds) *Adventure and extreme sports injuries*. Springer, London
- Pikora T, Braham R, Mills C (2012) The epidemiology of injury among surfers, kite surfers and personal watercraft riders: wind and waves. In: Heggie TW, Caine DJ (eds) *Epidemiology of injury in adventure and extreme sports, medicine and sports science*, vol 28. Karger, A.G., Basel, pp 80–97
- Puleo JA, Hutschenreuter K, Cowan P, Carey W, Arford-Granholm M, McKenna KK (2016) Delaware surf zone injuries and associated environmental conditions. *Nat Hazard* 81:845–867
- RNLI (2014) Operational statistics, p 46. <http://rnli.org/aboutus/aboutthernli/Documents/ops-statsreport.pdf>. Accessed 01 Feb 2018
- Roberts DJ, Ouellet JF, McBeth PB, Kirkpatrick AW, Dixon E, Ball CG (2014) The “weekend warrior”: fact or fiction for major trauma? *Can J Surg* 57(3):E62–E68
- Robles LA (2006) Cervical spine injuries in ocean bathers: wave-related accidents. *Neurosurgery* 58:920–923
- Scott TM, Masselink G, Austin MJ, Russell P (2014) Controls on macrotidal rip current circulation and hazard. *Geomorphology* 214:198–215
- Sherker S, Brander RW, Finch C, Hatfield J (2008) Why Australia needs an effective national campaign to reduce coastal drowning. *J Sci Med Sport* 11:81–83
- Sherker S, Williamson A, Hatfield J, Brander R, Hayen A (2010) Beachgoers’ beliefs and behaviours in relation to beach flags and rip currents. *Acc Anal Prev* 42:1785–1804
- Short AD, Brander RW (2014) Beach hazard and risk assessment. In: Bierens J (ed) *Drowning*. Springer, Berlin
- Short AD, Weir A (2016) Beach types, hazards and risk assessment. In: Tipton M, Wooler A (eds) *The science of beach lifeguarding*. CRC Press, Boca Raton
- SLSA (2017) National coastal safety report 2017. SLSA: Sydney. <https://sls.com.au/slsa-ar-2017/>. Accessed 01 Feb 2018
- USLA (2015) 2010–2014 national lifesaving statistics. <http://arc.usla.org/Statistics/current.asp?Statistics=5>. Accessed 01 Feb 2018
- West N (2005) Beach use and behaviors. In: Schwartz ML (ed) *Encyclopedia of coastal science*. Encyclopedia of earth science series. Springer, Dordrecht
- Williamson A (2006) Feasibility study of a water safety data collection for beaches. *J Sci Med Sport* 9:243–248
- Williamson A, Hatfield J, Sherker S, Brander R, Hayen A (2012) A comparison of attitudes and knowledge of beach safety in Australia for beachgoers, rural residents and international tourists. *Aust N Z J Public Health* 36:385–391
- Woodward E, Beaumont E, Russell P, Wooler A, Macleod R (2013) Analysis of rip current incidents and victim demographics in the UK. *J Coast Res* SI 65:850–855

## Tellier *et al.*, WCDP 2017 – Résumé

### ORAL PRESENTATION

#### MODELLING AND PREDICTING DROWNING RISK ALONG THE GIRONDE'S OCEANIC COAST: RETROSPECTIVE AND PROSPECTIVE OBSERVATIONAL STUDIES

MD Eric Tellier<sup>1,2</sup> MD, PhD Marion Bailhache<sup>1,2</sup>, MD Bruno Simonnet<sup>1</sup>, MD, PhD Louis-Rachid Salmi<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>CHU de Bordeaux, Bordeaux, France, <sup>2</sup>INSERM, ISPED, Centre INSERM U1219, Bordeaux, France

Data 5, Salon 2, October 19, 2017, 1:30 PM - 3:00 PM

#### INTRODUCTION

In France, a national study about drowning is conducted every three years, registering all cases of drowning leading to a hospitalization or death, from June 1st until September 15th. In 2012, 576 drowning occurred on seashore, including 43 drownings implying 11 deaths on beaches of Gironde, in the Southwest part of France. Gironde's oceanic coast is a 126-km-long sand beach; the main touristic areas are watched during summer, but bathing season can begin in April and last till mid-October. Most drownings are related to rip currents, shown by Castelle *et al.* to be controlled by wave conditions, tide levels and local topography. To orient prevention and surveillance strategies, our study aimed to create a risk prediction model of drowning along Gironde's coast, based on weather and marine forecasts.

#### METHODS

Retrospective derivation cohort data were collected from the emergency call centre of Gironde, and meteorological data came from MétéoFrance, the national weather forecaster. The study period was April, 1st till October, 31st, from 2011 till 2013. Prospective validation cohort data and forecasts up to three days were collected from the same sources, for the same months in 2015 and 2016. We used a logistic regression and a zero-inflated Poisson model to quantify the risk. Variables selection was done on the retrospective cohort, and we assigned for each model a threshold to stratify the risk of drowning ("low" and "high").

#### RESULTS

The retrospective sample included 117 days with at least one drowning event (272 events reported), within a total of 538 days without missing data. Air and water temperatures, wave factor, wave direction, nebulosity and holidays were positively associated with drowning probability. Prospective validation was performed on 405 days without missing data, covering 181 drownings reported during 84 different days. The regression logistic model had an area under the ROC curve (AUC) of 0.79 (95% confidence interval: [0.77–0.87]); 171 days were classified at high risk, among which 67 at least one drowning event occurred. With 21 events missed in 14 days, the predictive positive value (PPV) was 39%, and the negative predictive value (NPV) 94%. The zero-inflated Poisson model had an AUC of 0.83 ([0.79–0.88], PPV: 37%, NPV: 97%) and missed 14 drowning events in 7 days. There were no statistical differences between the 1-, 2- and 3-day forecasts.

#### CONCLUSION

Our models show that environmental conditions are good predictors of drowning risk along the Gironde's oceanic coast. They could help prevent drowning by broadcasting warning messages up to three days before a day at risk. A more detailed study of the missed drowning events is needed to comfort the models, and to predict the risk depending of the hours of the days and the tide level, which could be more informative for beach patrols.

## Tellier *et al.*, Safety 2018 – Résumé

### Abstracts

largest national organization for industrial designers in Japan, and created four mockups for cherry tomato slicers: 1) castanets, 2) tongs, 3) small scissors, and 4) large scissors. We put a great deal of thought into designing the blade and changed the design several times until a cherry tomato could be cut smoothly. We then conducted a workshop in Omura, Nagasaki, Japan to educate the public on the risk of choking and to collect community input on our new product. Participants tried all four designs and answered a questionnaire.

**Findings** Thirty-one community members completed a questionnaire. When asked if one knew that children could die from choking on a cherry tomato, 52% of the respondents said 'no', and only 32% said that they actually cut cherry tomatoes when giving them to children. Regarding the ease of cutting (six-point Likert scale, with 6 being the easiest), the average scores for designs 1) through 4) were 4.53, 3.87, 4.16, and 5.13 respectively. Finally, when asked to rank the items in order of preference, ranks 1 through 4, in order, were assigned to the large scissors, the castanets, the small scissors, and the tongs, respectively.

**Conclusion** We have obtained a partner to commercialize the developed slicer.

### PA 14 Water safety and drowning prevention

#### PA 14-2-1550 THE EVALUATION PERFORMANCE OF MERIT MAKER DROWNING PREVENTION OF CHULABHORN DISTRICT NAKHONSRIHAMMARAT

Amata Junpan\*. *Nopphitam District Public Health Office, Nopphitam, Nakhonsithammarat, Thailand*

10.1136/injuryprevention-2018-safety.86

This descriptive study aims to evaluate the performance of Merit maker's operation to prevent drowning in Chulabhorn District. The data was collected since January 1, 2015 to June 30, 2017 by using the CIPP model of Stufflebeam and analyzed using frequency, percentage and content analysis.

The result show that: Drowning was number one cause of deaths in Thai children under 15 years old. From 2008 to 2016, Chulabhorn district experienced 9 drowning victims; 4 of them aged under 15 years, 42 risk water sources. For solving problem used Merit maker's drowning prevention guidelines by Merit maker team. Curricular and guideline were created for teaching a Merit Maker. So they could transfer knowledge and skills to a specific target groups in schools and communities. Roles of them collaborated with key organization, running a program to prevent drowning by carried out situation analysis of drowning and distributed crucial information to all levels of administration and management. Then it is district health policy and operate by the District Committee for Disease Control in order to educate the participants for cooperate and implement their own roles. During 2015 to 2017 provided safe places 80% of the risk water resources and 100% of children's center were managed. 100% educated drowning prevention in the health center, the schools and the community. There were 1133 people and children 6–14 years old, who learn to swim for survival and resuscitate; after learning 81.5% of them had more knowledge and survival

skills. No deaths drowned in 2015–2017 and one drowning survivor. Chulabhorn Team certified by the national assessment criteria drowning prevention the silver level in 2015 and expanded to other areas.

Continuous and sustainable drowning prevention requires the Merit maker to driven all stakeholders involved to share resources and to be taken in their roles.

#### PA 14-3-2098 IMPLEMENTATION OF A RISK PREDICTION MODEL INTO DROWNING PREVENTION POLICY: A SCOPING REVIEW

Eric Tellier\*, Louis-Rachid Salmi, Bruno Simonnet. *University of Bordeaux, United States*

10.1136/injuryprevention-2018-safety.87

**Background** Along beaches of Gironde, in South-Western France, 573 drowning occurred from 2011 to 2016, leading to 24 deaths. Rip currents are known as a major cause of drownings in this area. Following the development and test of a model able to forecast drowning risk up to three days, we wanted to identify issues to be considered to use prediction models in drowning prevention strategies. The objective of our scoping review was to map the existing literature and to identify what outcomes were measured by the current research on both drowning prevention and prediction models.

**Methods** We included all quantitative and qualitative research designs. An initial limited search on Medline and Google Scholar was undertaken, followed by an analysis of keywords and abstracts. A second search using all identified keywords was then undertaken.

**Results** In the 886 articles identified initially, we found one predictive model of rip currents and one model of real-time risk assessment. None were integrated into any intervention study. The second search led to 190 articles. After discarding 147 articles based on title or abstract, we found 6 articles studying risk-related behavior in other fields (aviation and avalanche), 6 discussing behavioral theories into injury prevention; 7 others analyzed beachgoers beliefs and behavior, 7 were intervention studies, and 2 analyzed lifeguards' decisions. Finally, six reviews about drowning prevention were read.

**Conclusion** As drowning prevention implies risk awareness and a behavior change from beachgoers, we are developing an intervention based on behavioral theories and following a standard behavior change design. The impact of this intervention integrating a risk prediction model, able to consider time-fluctuation of the numbers of drowning events, will be assessed by an experimental or quasi-experimental design.

#### PA 14-4-2134 DESIGNING A COMPREHENSIVE DROWNING REDUCTION PROJECT IN RURAL COMMUNITIES: EXPERIENCE OF BNAGLADESH

<sup>1</sup>Aminur Rahman, <sup>2</sup>Dan Ryan, <sup>3</sup>Jagnoor Jagnoor, <sup>1</sup>Kamran Ul Baset, <sup>1</sup>Zakia Sultana\*. <sup>1</sup>Centre for Injury Prevention and Research, Bangladesh (CIPRB), Dhaka, Bangladesh; <sup>2</sup>Royal National Lifeboat Institution (RNLI), London, UK; <sup>3</sup>The George Institute for Global Health, Sydney, Australia

10.1136/injuryprevention-2018-safety.88

**Introduction** Injuries kill about 300 people each day and everyday 55 000 people suffer from non-fatally injury in

Salmi *et al.*, Safety 2018 – Résumé

## Abstracts

**Conclusion** Drowning among the migrants is high while they use water ways as a route of transport. Government as well as humanitarian organizations need to re-think about the preparation of preventing fatal drowning during massive inter-country migration.

PW 2017

**BEACH SAFETY KNOWLEDGE, ATTITUDES AND PRACTICES AMONG BEACH USERS IN COX'S BAZAR, AND THE CHALLENGES TO IMPLEMENTING A LIFEGUARD SERVICE IN BANGLADESH**

<sup>1</sup>Jahangir Hossain\*, <sup>1</sup>Fazlul Kader Chowdhury, <sup>2</sup>Natascha Dekkers, <sup>1</sup>Shamima Easmin, <sup>2</sup>Darren Williams, <sup>1</sup>Imteaz Ahmed, <sup>1</sup>Aminur Rahman. <sup>1</sup>Centre for Injury Prevention and Research, Bangladesh (CIPRB), Bangladesh; <sup>2</sup>Royal National Lifeboat Institution (RNLI), UK

10.1136/injury-prevention-2018-safety.435

**Introduction** With increasing tourism in Cox's Bazar beach, drowning became a common occurrence. To increase beach and water safety, the Centre for Injury Prevention and Research, Bangladesh (CIPRB), with support from the Royal National Lifeboat Institution (RNLI) has implemented a lifeguard service on 3 popular tourist beaches in Cox's Bazar.

**Objectives** The objective of this study was to assess the knowledge level of beach users regarding the lifeguard service and to identify barriers to lifeguarding in Cox's Bazar.

**Methods** A qualitative study, a combination of in-depth interviews and focus group discussions with 42 participants consisted of beach visitors, beach vendors, hotel staff, and beach police, was carried out.

**Results** Results from the data analysis highlighted that the majority people could identify the lifeguards and their activities. All participants knew that the indication of the lifeguards' presence at the beach is their red and yellow uniform and the safety devices they are carrying. However, many newcomers to the beach were unaware of the lifeguard service and its purpose in detail. Also, women are less likely to know about the lifeguard service. The results showed that the main barriers to implementing a lifeguard service in Bangladesh are the lack of personnel and coverage, lack of beach vendors' and hawkers' cooperation, and lack of government support and/or funding.

**Discussion and conclusions** Newcomers are often unaware of the lifeguard service. Beach users who do know about lifeguards indicate that they do not necessarily understand the purpose of the service. Those beach users and other stakeholders who are aware of the lifeguard service tend to perceive that the number of lifeguards is not enough to raise awareness among the beach users, especially on busy days. Greater prioritisation on education and provision of consistent messages by various stakeholders, may be necessary to improve the delivery of the lifeguard service.

PW 2045

ABSTRACT WITHDRAWN

PW 2049

**REVIEW OF A NATIONAL WATER SAFETY AND DROWNING PREVENTION MODEL THREE YEARS ON: A SRI LANKAN CASE STUDY**

<sup>1</sup>Rhiannon Birch\*, <sup>2,3</sup>Samath D Dhamaratne, <sup>1</sup>Bernadette Matthews, <sup>4</sup>Sanath Wijayaratne, <sup>4</sup>Asanka Nanayakkara, <sup>1</sup>Mevan Jayawardena. <sup>1</sup>Life Saving Victoria, Melbourne, Australia; <sup>2</sup>University of Peradeniya, Sri Lanka; <sup>3</sup>Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), USA; <sup>4</sup>Sri Lanka Life Saving, Colombo, Sri Lanka

10.1136/injury-prevention-2018-safety.436

Drowning is the second highest cause of accidental death in Sri Lanka, with a rate of 4.4 deaths per 1 00 000 population. Whilst drowning prevention has been on the injury prevention agenda in high income countries (HICs) over a number of years, many low and middle income countries (LMICs) like Sri Lanka are working towards drowning prevention and seeking support from those in government, private sector and community settings. Best practise models from HICs can be adapted and applied by those in LMICs. Conversely, there are models from LMICs, particularly based on innovation, which can be adapted for HICs.

Sri Lanka Life Saving has long been working towards a water safe Sri Lanka. In partnership with Life Saving Victoria, a national model for water safety and drowning prevention was developed and formally implemented in 2015. This model was based on internationally accepted injury prevention models and drowning prevention strategies. We outline the key steps and specific examples in the model along with key outputs.

Key outputs included: internationally recognised lifesaving training delivered to Sri Lankan personnel across various industries including tourism, swimming, lifesaving and the armed forces; expansion of lifesaving services utilising armed forces personnel previously involved in the civil conflict; partnerships developed with government, industries and non-profit organisations; publication of the first Drowning Prevention Report for Sri Lanka; the Sri Lankan Drowning Prevention and Water Safety Plan developed with a multi-stakeholder governance and implementation structure; and the Swim for Safety program educating over 2000 children in survival swimming and water safety.

The outputs from the water safety and drowning prevention model have helped increase the profile and elevate the importance of developing lifesaving and drowning prevention activities within Sri Lanka. This model provides a guide for other practitioners to develop and structure comprehensive drowning prevention initiatives.

PW 2084

ABSTRACT WITHDRAWN

PW 2111

ABSTRACT WITHDRAWN

PW 2149

**ISSUES IN DATA AVAILABILITY AND RESULTS IN TWO INTERNATIONAL SURVEYS ON DROWNING**

<sup>1,2,3</sup>Louis-Rachid Salmi\*, <sup>1,2,4</sup>Eric Tellier, <sup>4</sup>Bruno Simonnet. <sup>1</sup>INSERM, ISPED, Centre INSERM U1219 Bordeaux population health research, F-33000 Bordeaux, France; <sup>2</sup>Univ. Bordeaux, ISPED, Centre INSERM U1219 Bordeaux population health research, F-33000 Bordeaux, France; <sup>3</sup>CHU de Bordeaux, Pôle de santé publique, Service d'information médicale, F-33000 Bordeaux, France; <sup>4</sup>CHU de Bordeaux, Pôle Urgences adultes, F-33000 Bordeaux, France

10.1136/injury-prevention-2018-safety.437

**Context and objective** Documentation of country-specific burden of injuries is needed to target circumstances, to develop countermeasures, and to set baselines to assess their impact. For drowning, two sources are used in international comparisons, the Global Burden of Disease (GBD) study, and the World Health Organization (WHO) global health estimates. Ideally, such sources should cover all

# Tellier *et al.*, Eur. Cong. of Epidemiology 2018 – Résumé

S334

European Congress of Epidemiology / Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique 66S (2018) S277–S437

procreation appeared as risk factors ( $P > 0.2$ ), which could exclude subfertility as a risk factor.

**Conclusion** Our study based on more than 1500 cases and controls, with a good statistical power and without identified selection bias, confirms the previous observation of a link between the risk of hypospadias and exposure to agricultural pollutants in early pregnancy. As prevalence was not homogeneous across the studied region ( $P < 0.00001$  under  $H_0$ ), environmental factors may likely be involved. Moreover, some regions with a significant excess of cases appeared as high-risk zones using both spatial data mining method. Although agricultural pollution in these zones may explain why they appear as high-risk zones, some alternative explanations including misclassification and residual confounding cannot be excluded.

**Keywords** Hypospadias; Endocrine disruptors; Environmental factors; Subfertility; Generalized linear model; Spatial data mining

**Disclosure of interest** The authors declare that they have no competing interest.

<https://doi.org/10.1016/j.respe.2018.05.257>

## P4-11

### Estimation of the number of seriously injured road users in France, 2006–2015

E. Amoros<sup>a,b,\*</sup>, G. Soler<sup>c</sup>, L. Pascal<sup>d</sup>, A. Ndiaye<sup>a,b</sup>, B. Gadegbeku<sup>a,b</sup>, J.-L. Martin<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Umrestte, Ifsttar, Bron, France

<sup>b</sup> Umrestte, University of Lyon, Lyon, France

<sup>c</sup> DISP, INSA, Villeurbanne, France

<sup>d</sup> Hospices Civils de Lyon, Lyon, France

\* Corresponding author.

E-mail address: [emmanuelle.amoros@ifsttar.fr](mailto:emmanuelle.amoros@ifsttar.fr) (E. Amoros)

**Background** The European Commission requests its member states to provide the number of serious road injuries, according to MAIS 3+ = Maximum AIS 3+, where AIS = Abbreviated Injury Scale. This challenges in all countries the issue of under-reporting of road injuries in the official police data and the issue of using a medical trauma scale.

**Methods** In France, as in most countries, police data provide the frequency of road casualties, but they suffer from large under-reporting and strong selection bias (on severity, mode of transport, etc). In the Rhone county (pop 1.6M inhabitants). Other data are available: a road trauma registry has been set up in 1996. It covers fatalities, hospitalized, and those attending the Emergency departments only. All injuries are directly coded into the Abbreviated Injury Scale, by the registry physician. At the Rhône county level, both databases are linked. Annually, on the 2006–2012 period, the police reports 2800 casualties, the road trauma registry 7400 by the registry and 1700 are identified as common to both sources. A capture-recapture approach is then used, so that we can estimate the real number of road casualties (in the Rhône). More importantly the correction factors between the police data and the estimated real subgroup of road casualties in the Rhône. In particular, to account for some conditions for applying capture-recapture, a multivariate model is used, including the variables that are associated with lower probability of reporting by the police: type of police, road network, severity measured by hospitalised (yes/no), MAIS3+, road user type (pedestrian, cyclist, car occupant...), whether the crash involved a crash opponent or not, etc. The police correction factors are finally applied to the national police data with the assumption that police recording practices are rather homogenous across France, by type of police force, and type of road casualties. This corresponds to indirect standardization, not on age and sex as usual but on the characteristics influencing police reporting.

**Results** The national number of injured road casualties, respectively for all severity, and for MAIS3+, are estimated at 285,000 and 24,000 resp. in 2015. The 2015 frequency of sMAIS3+ roadusers consists of 6850 motorized two-wheel users, 6500 car occupants, 3550 cyclists, 3500 pedestrians and 800 others (van, bus, truck users). This confirms the heavy burden suffered by Motorized two-wheel users. Moreover, they only account for 2% of traveled kilometers whereas car occupants account for 70% of traveled kilometers. Also, these results show a different pattern than the number of fatalities, where it is the number of killed car occupants that is the highest.

**Conclusions** The frequency of injured road users, all severities, has been confirmed by other sources, namely: the French national Travel Survey, and by the annual firemen data (they provide first aid on crash scene). Concerning the number of seriously injured road users, the ratio of the number of MAIS3+ casualties divided by the number of fatalities enables country to country comparison.

**Disclosure of interest** The authors declare that they have no competing interest.

<https://doi.org/10.1016/j.respe.2018.05.258>

## P4-12

### Modelling and predicting drowning risk along the Gironde's Oceanic Coast:

#### Retrospective, prospective observational and pilot experimental studies

E. Tellier<sup>a,b,c,\*</sup>, B. Simonnet<sup>c</sup>, M. Bailhache<sup>a,b,d</sup>, L.-R. Salmi<sup>a,b,e</sup>

<sup>a</sup> ISPED, Centre Inserm U1219 Bordeaux Population Health Research, Bordeaux, France

<sup>b</sup> ISPED, Centre Inserm U1219 Bordeaux population health research, University of Bordeaux, Bordeaux, France

<sup>c</sup> Pôle Urgences adultes SAMU-SMUR, CHU de Bordeaux, Bordeaux, France

<sup>d</sup> Pôle de Pédiatrie, CHU de Bordeaux, Bordeaux, France

<sup>e</sup> Pôle de Santé Publique, Service d'information médicale, CHU de Bordeaux, Bordeaux, France

\* Corresponding author.

E-mail address: [eric.tellier@u-bordeaux.fr](mailto:eric.tellier@u-bordeaux.fr) (E. Tellier)

**Introduction** In France, a national study about drowning is conducted every three years to register all cases of drowning leading to a hospitalization or death, from June 1st until September 15th. In 2015, 596 drowning occurred on seashore, including 38 drowning implying 7 deaths on beaches of Gironde, Southwestern France. Gironde's oceanic coast is a 126-km-long sand beach; the main touristic areas are watched during summer, but bathing season can begin in April and last till mid-October. Most drowning are related to rip currents, shown by Castelle *et al.* to be controlled by wave conditions, tide levels and local topography. To orient prevention and surveillance strategies, our study aimed to create a risk prediction model of drowning along Gironde's coast, based on weather and marine forecasts.

**Methods** Retrospective derivation cohort data were collected from the emergency call centre of Gironde, and meteorological data came from MétéoFrance, the national weather forecaster. The study period was April, 1st till October, 31st, from 2011 till 2013. Prospective validation cohort data and forecasts up to three days were collected from the same sources, for the same months in 2015 and 2016. We used a logistic regression and a zero-inflated Poisson model to quantify drowning risk. Variables selection was done on the retrospective cohort, and we assigned for each model a threshold to stratify the risk of drowning ("low" and "high"). We finally tested the prediction model by comparing prediction and lifeguard assessment of the drowning risk for each day during the summer 2017. As a pilot study, only one lifeguard post, from Le Porge, participated. We calculated Cohen's Kappa initially with the binary model then with a 5-stage scale using the zero-inflated model.

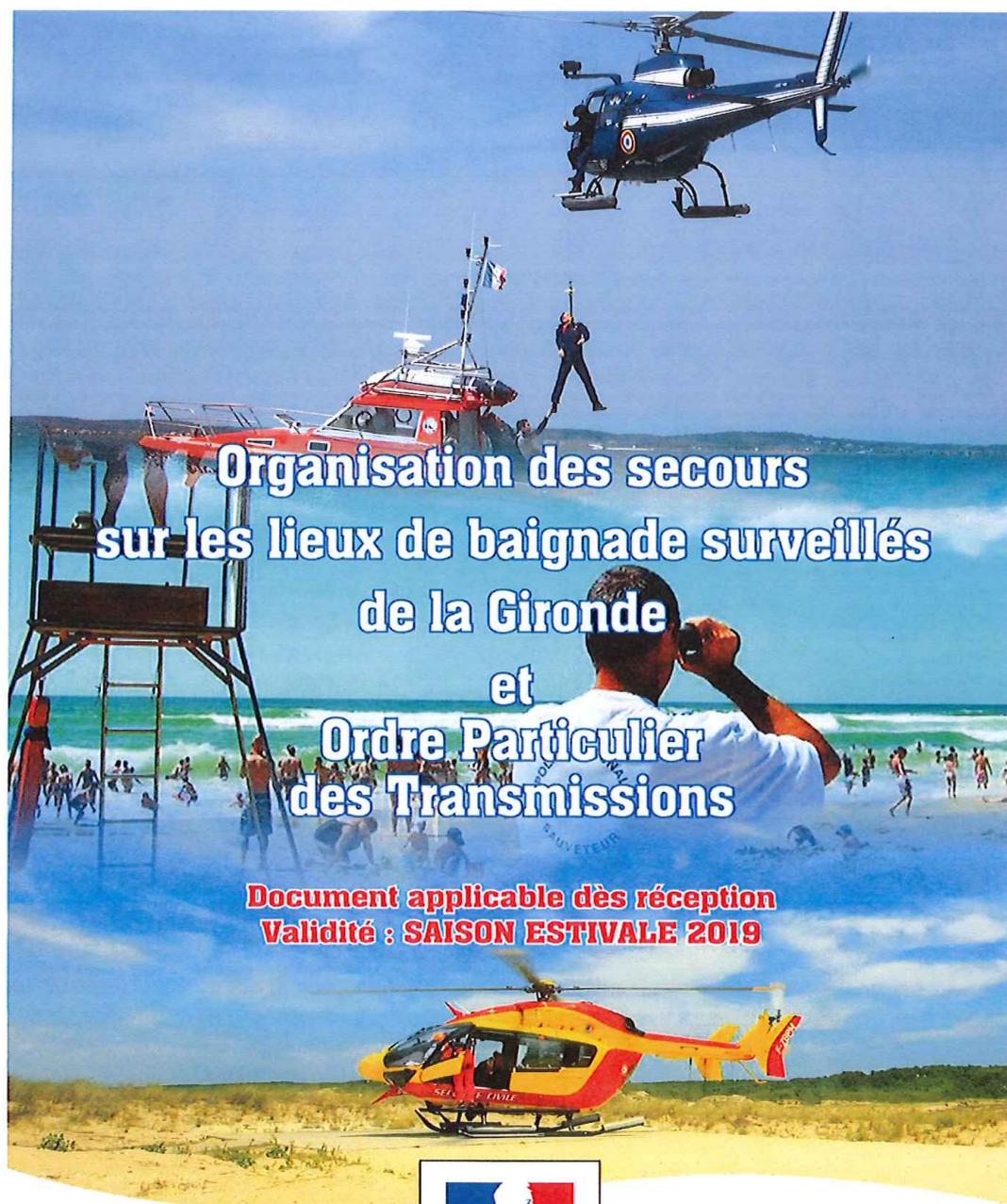
**Results** The retrospective sample included 117 days with at least one drowning event (272 events reported), within a total of 546 days without unavailable data. Air and water temperatures, wave factor, wave direction, nebulosity and holidays were positively associated with drowning probability. Prospective validation was performed on 405 days without missing data, covering 181 drowning reported during 80 different days. The regression logistic model had an area under the ROC curve (AUC) of 0.83 (95% confidence interval: [0.79 – 0.87]). With 22 events missed in 13 days, the predictive positive value (PPV) was 40%, and the negative predictive value (NPV) 94%. The zero-inflated Poisson model had an AUC of 0.85 ([0.83 – 0.91], PPV: 37%, NPV: 97%) and missed 14 drowning events in 7 days. Within those 14 events, 5 occurred during extreme wave conditions, 1 was consecutive to seizure, 1 was a 4-year-old and 1 was a body-boarder. The model missed a day with 5 people rescued in the same rip current, without any injury. There were no statistical differences between the 1-, 2- and 3-day forecasts. The test phase has lasted 86 days, with 62 (72%) without missing data. The binary model was tested during 48 days, with a Cohen's kappa at 0.57 (moderate agreement). It was found inappropriate by lifeguards as they

## **ANNEXE B**

# **Secours et prévention sur la plage en Gironde**

---

## B.1 Organisations des secours



## Sommaire

<b>I – Définition et domaine d’application.....</b>	<b>4</b>
<b>II – Organisation opérationnelle.....</b>	<b>5</b>
A – Postes de secours MNS.....	5
B – Le SAMU 33.....	5
C – L’interconnexion SAMU 33 et CODIS 33.....	5
D – Le SDIS 33.....	5
Appels reçus ne relevant pas des dispositions du présent document.....	6
Appels reçus relevant des dispositions du présent document.....	6
Traitement des appels sans risque vital.....	7
E – Les moyens aériens.....	8
F – Le CROSSA ETEL (Centre Régional Opérationnel de Surveillance et de Sauvetage de l’Atlantique).....	10
G – Remontée d’information des postes de secours.....	10
Noyades.....	10
Fermeture ponctuelle des postes de secours.....	10
<b>III – Organisation des transmissions.....</b>	<b>11</b>
A – Surveillance de la baignade – Réseau tactique de plage.....	11
B – Alerte.....	11
C – Secours côtier : Coordination CROSSA – Hélicoptères – Postes de secours.....	11
D – Liaison air-sol Hélicoptères – SAMU 33.....	12
E – Liaison air-sol Hélicoptères – Postes de secours.....	12
F – Liaison air-sol Hélicoptères – SDIS 33.....	12
G – Rôle de l’Agence Régionale de Santé.....	13
<b>IV – Annuaire.....</b>	<b>15</b>
Annexe 1 – Les postes de secours de Gironde (organisation estivale 2019).....	16
Annexe 2 – Procédure pour tout appel au 18 ou 112.....	24
Annexe 3 – Procédure d’engagement des moyens sur le littoral.....	25
Annexe 4 – Fiche de remontée d’information « noyade » et fiche de bilan.....	26
Annexe 5 – Les stades de la noyade.....	28
Annexe 6 – Schémas des rachis.....	29
Annexe 7 – Proposition d’équipement des postes de secours.....	30
LOTS DE SECOURISME ET DE RÉCONFORT.....	30
LOTS DE RÉANIMATION.....	32
Annexe 8 : Rôle des MNS en cas d’envenimation par physalie.....	33

## I – Définition et domaine d'application

L'organisation des missions de surveillance et de secours à personne sur les lieux publics de baignade du département de la Gironde s'appuie d'une part sur les pouvoirs de police du maire, et d'autre part sur l'article R742-8 du Code de la sécurité intérieure, ainsi que sur le protocole opérationnel relatif à l'emploi des hélicoptères de l'État.

Les moyens utilisés relèvent d'autorités et d'organismes publics ou privés.

Les moyens de télécommunications, mis à disposition des sauveteurs MNS, sont acquis par les communes et permettent l'échange rapide des informations nécessaires à l'accomplissement de leurs missions et à l'alerte des moyens de secours supplémentaires.

Le présent document précise les différentes liaisons mises en œuvre dans le cadre de ce dispositif saisonnier de surveillance des plages. Il est activé chaque année durant la période estivale sur le littoral atlantique et les plans d'eau intérieurs du département de la Gironde.

Il fixe les modalités et les règles de procédure et d'exploitation.

## II – Organisation opérationnelle

### A – Postes de secours MNS

Les maires des communes mettent en œuvre pour la période estivale, des postes de secours dont le nombre et l'importance des effectifs sont déterminés en fonction des sites et des risques.

Les périodes d'ouverture de ces postes de secours sont définies dans l'annexe 1.

Ces postes de secours peuvent être appuyés en cas de besoin par :

- des moyens hélicoptés, provenant de différentes bases ;
- des moyens terrestres, provenant des centres de secours, des services hospitaliers médicaux ou paramédicaux publics ou privés ;
- des moyens nautiques des services publics, de professionnels ou de particuliers.

### B – Le SAMU 33

Le SAMU 33 assure l'écoute médicale permanente. Il détermine et déclenche dans les plus brefs délais la réponse la mieux adaptée à la nature de l'appel.

Les postes de secours communiquent au SAMU 33 les informations relatives aux demandes d'intervention. À cette fin, le SAMU 33 propose, pendant les heures d'ouverture des postes MNS, une régulation dédiée aux postes MNS au numéro suivant :

 <b>15</b> Disque vocal puis composer le « 2 » (numéro réservé à la gestion des plages)	Fax : 05 56 79 60 75
--	----------------------

En dehors des heures d'ouverture des postes MNS, le Centre de Réception et de Régulation des Appels (CRRA 15) traite les demandes d'urgence médicale.

### C – L'interconnexion SAMU 33 et CODIS 33

Pour répondre aux demandes d'aide médicale urgente, le Centre de Réception et de Régulation des Appels (CRRA 15) s'interconnecte avec le CODIS 33.

### D – Le SDIS 33

La réception des appels de secours, provenant des lieux de baignades, émis via le **18** ou le **112** est assurée par le Centre de Traitement de l'Alerte (CTA) du Service Départemental d'Incendie et de Secours de la Gironde (SDIS 33). Cette procédure s'applique également pour les « bornes d'appels plages » qui lors de leur utilisation numérotent automatiquement le **112**.

### *Appels reçus ne relevant pas des dispositions du présent document*

En dehors des heures de surveillance et lorsque la personne ne se trouve pas en mer :

- le CTA réceptionne et traite les appels **18-112** puis engage, si besoin, les moyens du SDIS conformément à la convention portant organisation de l'aide médicale urgente en Gironde du 14 septembre 2005.

En dehors des heures de surveillance et lorsque la personne se trouve en mer :

- le CTA réceptionne et traite les appels **18-112** puis engage, si besoin, les moyens du SDIS conformément à l'accord de partenariat entre le CROSSA ETEL et le SDIS en date du 9 février 2004.

### *Appels reçus relevant des dispositions du présent document*

Les demandes de secours concernant les lieux de baignades reçues par le CTA sont traitées suivant le schéma en annexe 2.

Le traitement de l'appel diffère selon :

- l'existence d'un risque vital ;
- la présence d'un poste de secours ;
- la localisation de la victime : terre ou mer.

Les appels pour secours à personnes avec notion de risque vital nécessitent l'engagement de moyens en prompt secours. Ces moyens sont :

- le poste de secours de la plage concernée ou à proximité ;
- à défaut des moyens de secours sapeurs-pompiers.

Au-delà des symptômes habituels permettant de qualifier un risque vital, les alertes concernant des personnes en difficulté dans l'eau sont systématiquement traitées comme relevant d'un risque vital avéré ou imminent.

Toutes les demandes de secours font, si possible, l'objet d'une conférence avec l'appelant et (cf. schéma annexe 2) :

- le CRRA 15 prioritairement ;
- le poste de secours en cas de problème de localisation ;
- le CROSSA ETEL, en dehors des heures de surveillance, si la victime est en mer.

Lorsque la conférence a été établie avec le CRRA 15 :

- ce dernier informe systématiquement le CTA des dispositions prises donnant lieu ou non à l'engagement de moyens sapeurs-pompiers ;
- le CTA avise le poste de secours.

Lorsque les moyens du SDIS sont engagés ou dans le cadre de l'application du schéma de l'annexe 2, le CTA informe les services et autorités dans le respect des procédures en vigueur.

### *Traitement des appels sans risque vital*

Toutes les demandes de secours font, si possible, l'objet d'une conférence avec l'appelant et le CRRRA 15 (cf. schéma annexe 2).

Le médecin régulateur dispose de plusieurs possibilités de choix selon l'état de la victime, le contexte et les moyens à sa disposition :

- traitement sans moyens sapeurs-pompiers (poste de secours, médecin...);
- engagement des moyens sapeurs-pompiers « nécessités par l'urgence » ou « par carence ».

Dans la mesure où les moyens sapeurs-pompiers sont engagés à la demande du SAMU, l'opérateur CTA doit disposer de l'information « urgence » ou « carence ».

## E – Les moyens aériens

La répartition du secteur d'intervention principal de chaque base hélicoptère figure sur le tableau en annexe 1 selon les postes de secours.

Les modalités de déclenchement et d'intervention des moyens aériens sont décrites dans l'annexe 3. La demande d'engagement est formulée par le chef du poste de secours. Elle peut également l'être par le SAMU 33.

Les bases hélicoptères informent le CROSSA ETEL, le COZ Sud-Ouest, le Centre Régional de Permanences (FORUM) et le SAMU 33 de l'indisponibilité de leur appareil. Elles s'informent entre elles et retransmettent cette information aux postes de secours en leur précisant la base suppléante à contacter.

Les municipalités doivent précisément déterminer la zone d'atterrissage attachée à chaque poste de secours et en assurer l'identification par l'ensemble des usagers à l'aide d'une signalisation visible de tous les côtés. De même, elles doivent garantir la sécurité à leurs abords, plus particulièrement des mouvements d'approche et de décollage des appareils appelés à les utiliser.

### Dates de positionnement des moyens aériens sur la façade littorale

#### ● Hélicoptère de la Sécurité Civile DRAGON 33 (EC145)

Les détachements de l'hélicoptère de la sécurité civile DRAGON 33 sont validés par l'arrêté préfectoral zonal relatif à l'Ordre d'Opérations Particulier « Emploi de l'Hélicoptère Sécurité Civile DRAGON 33 au cours de la période estivale 2019 ».

→ **En détachement ponctuel** sur la base du Huga (ou au poste Nord de Lacanau), ou sur la base de Bordeaux-Mérignac de 13h à 18h30, sur décision de l'autorité préfectorale en fonction des conditions météorologiques, des observations du chef de la base hélicoptère et du chef de poste de Lacanau, médicalisé et armé par un sauveteur nautique héliporté :

- du mercredi 1<sup>er</sup> mai au dimanche 12 mai,
- du samedi 18 au dimanche 19 mai,
- du samedi 25 au dimanche 26 mai,
- du jeudi 30 au dimanche 2 juin,
- du samedi 8 juin au lundi 10 juin,
- du samedi 14 au dimanche 15 septembre,
- du samedi 21 au dimanche 22 septembre 2019.

**Sur ces périodes, en cas d'indisponibilité de DRAGON 33, faire appel aux moyens de la Gendarmerie nationale aérienne de Mérignac (05 56 90 55 70).**

### III – Organisation des transmissions

Les dispositions établies dans ce document sont applicables pour toute la durée d'activation des postes de secours.

Afin de contribuer à l'efficacité de ce dispositif technique, les procédures en vigueur sur les réseaux de sécurité doivent être respectées.

L'organisation des réseaux repose sur les systèmes de communication suivants :

#### A – Surveillance de la baignade – Réseau tactique de plage

Le fonctionnement quotidien de la surveillance des plages implique la mise en place d'un système de radiocommunications portatif tactique de puissance limitée à 5W, situé sur la plage afin de permettre la gestion des flux d'informations entre le poste fixe MNS et les MNS, chargés de surveiller la baignade.

Les fréquences utilisées sont celles mises à disposition par l'Agence de Régulation des Communications Électroniques et des Postes (ARCEP).

#### B – Alerte

Le déclenchement de l'alerte, en particulier de moyens supplémentaires de médicalisation ou l'intervention hélicoptère de la Gendarmerie ou de la Sécurité Civile s'effectue par le réseau téléphonique ou le réseau radio « canal 15 VHF marine » existant dans chaque poste MNS.

#### C – Secours côtier : Coordination CROSSA – Hélicoptères – Postes de secours

Le CROSSA est chargé d'assurer la coordination de tous les moyens aériens intervenant en mer. Pour des raisons de rapidité et selon le protocole opérationnel zonal en vigueur, le poste de secours de plage met en œuvre la procédure d'engagement de l'hélicoptère dans la bande des 300 mètres.

Cependant, le CROSSA doit être informé par VHF ou téléphone du départ de l'hélicoptère, de son retour de mission, du nombre de victimes récupérées et de la gravité de leur état. Cette information est en principe transmise par le pilote de l'hélicoptère (ou lors de son retour à la base par le stationnaire radio de celle-ci) et/ou le SAMU 33.

De plus, le CROSSA veille en permanence le canal 16. En cas d'opération, le CROSSA attribue le « canal opérationnel de dégagement 15, 67 ou 68 ».

- Il doit être tenu informé de tout engagement d'un moyen aérien au profit d'un poste de plage.
- Il peut, au vu des éléments transmis (visuel sur la victime, nombre de personnes, état de la mer...) décider de reprendre la coordination et d'engager des moyens supplémentaires.
- Le CROSSA et le CODIS se tiennent systématiquement informés de toute opération dans la bande des 300 mètres et décident conjointement des moyens à engager et du centre qui doit assurer la coordination.

Par ailleurs le poste de plage, pour des raisons évidentes de réactivité et de prompt secours peut engager les moyens de secours et les guider mais si les personnes ne sont pas retrouvées rapidement par les moyens engagés, le CROSSA ETEL doit reprendre la coordination.

### **D – Liaison air-sol Hélicoptères – SAMU 33**

Les communications entre l'hélicoptère de la sécurité civile DRAGON 33, celui du SAMU 33 et les moyens au sol du SAMU 33 se font sur la communication directe ANTARES « DIR 620 » (liaison tactique air/sol).

Les liaisons entre l'hélicoptère de la sécurité civile DRAGON 33 et le CRRA 15 peuvent être réalisées par un appel privé vers le CRRA 15.

Les communications entre l'hélicoptère de la Gendarmerie et les moyens du SAMU 33 se font sur la communication numérique « DIR 90 » inter-services (ANTARES/ACROPOL/CORAIL NG si l'hélicoptère en est équipé).

### **E – Liaison air-sol Hélicoptères – Postes de secours**

Les liaisons s'effectuent via la « VHF marine sur le canal 15 ».

### **F – Liaison air-sol Hélicoptères – SDIS 33**

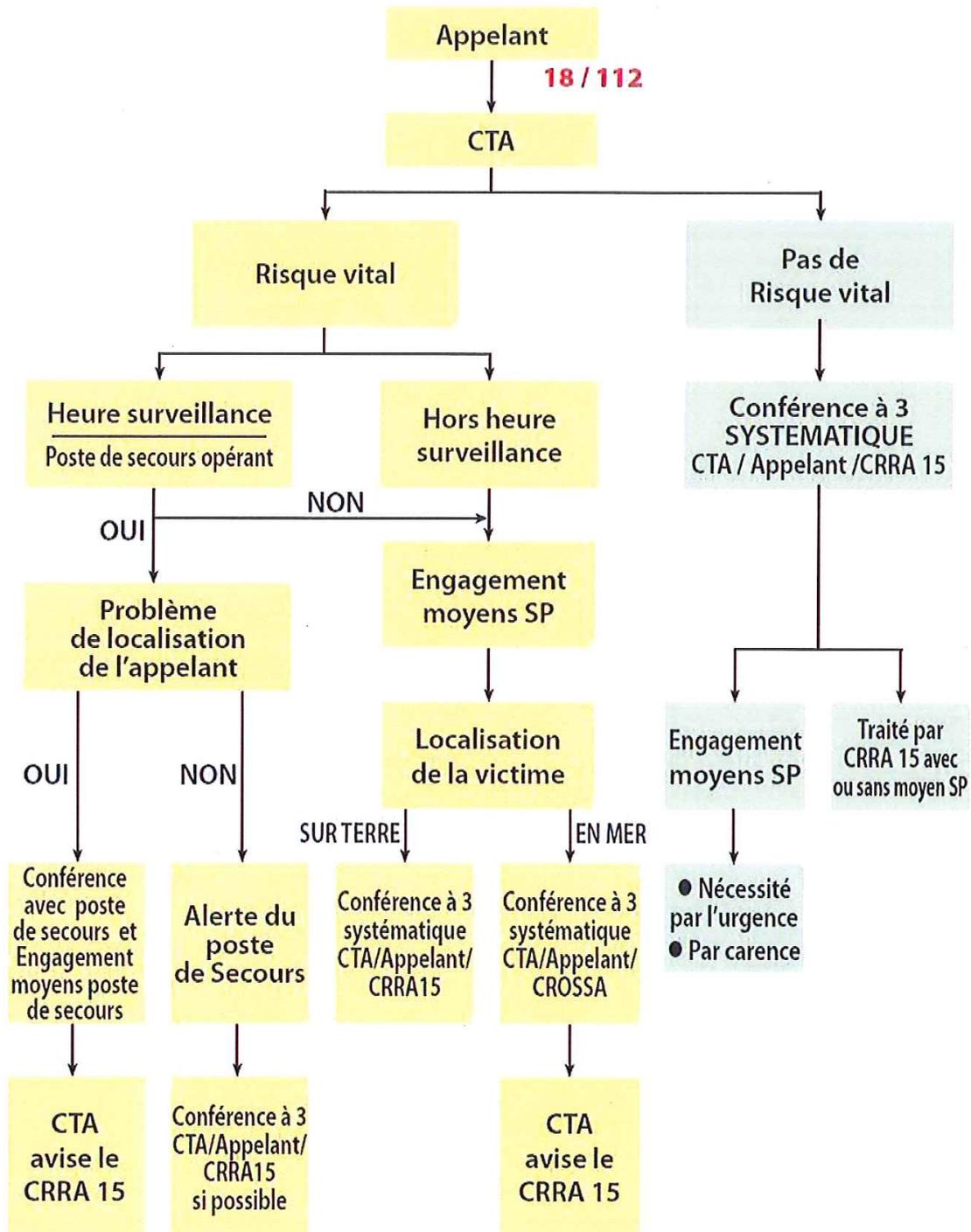
Les communications entre l'hélicoptère de la sécurité civile DRAGON 33 ainsi que celui du SAMU 33 et les moyens au sol du SDIS 33 se font sur la communication directe ANTARES « DIR 620 » (liaison tactique air/sol).

Les communications entre l'hélicoptère de la sécurité civile DRAGON 33 et le CODIS 33 s'effectuent sur le réseau ANTARES, en utilisant la « DIR 610 » (liaison infra air/sol) ou à défaut, sont réalisées par appel privé vers le CODIS.

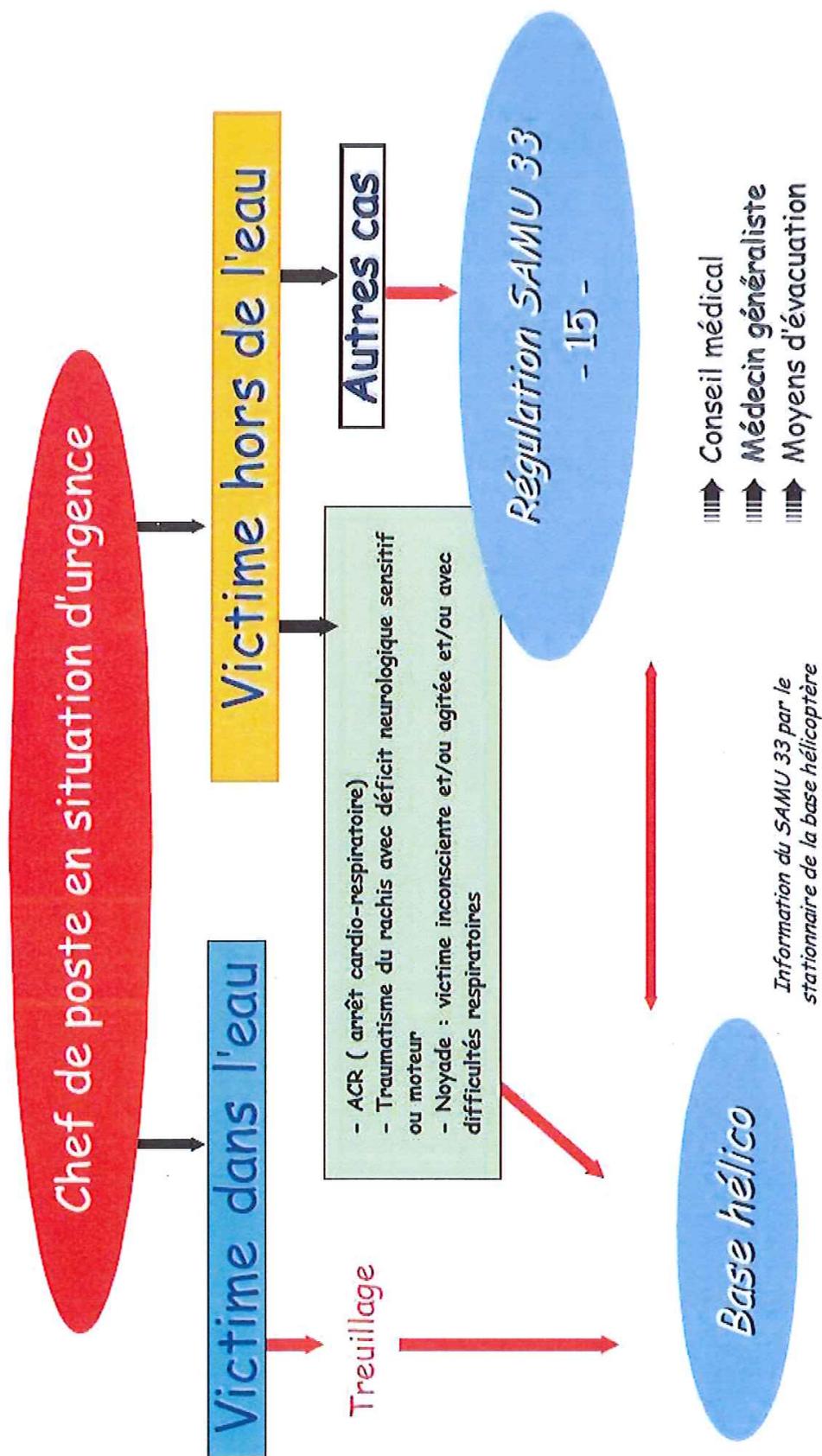
Les communications entre l'hélicoptère de la Gendarmerie et les moyens du SDIS 33 se font sur la communication :

- numérique « DIR 90 » inter-services (ANTARES/ACROPOL/CORAIL NG si l'hélicoptère en est équipé) ;
- analogique « canal 18 ou 23 » (air-sol 1 ou 2 si l'hélicoptère n'est pas équipé de CORAIL NG).

Annexe 2 – Procédure pour tout appel au 18 ou 112



Annexe 3 – Procédure d'engagement des moyens sur le littoral



## Annexe 4 – Fiche de remontée d'information « noyade » et fiche de bilan



PRÉFET DE LA GIRONDE  
SERVICE INTERMINISTÉRIEL DE DÉFENSE ET DE PROTECTION CIVILE

### Fiche de remontée d'information Noyade des postes de secours plages

#### Consignes à tous les Chefs de Postes de Secours Plages

➔ Transmettre la fiche d'information de remontée noyade, accompagnée de la fiche de bilan dans un délai de 4 heures à :

**FORUM**

Télécopie : 05 56 90 60 67  
ou par courriel : [pref-forum@gironde.gouv.fr](mailto:pref-forum@gironde.gouv.fr)

➔ Communiquer **immédiatement toute modification** des horaires d'ouverture et de fermeture des plages, même pour une courte durée :  
H 24 : 05 56 90 60 69

DATE :												HEURE :					h				
COMMUNE :	_____																				
FICHE N° :																					
POSTE DE SECOURS :	_____																				
PLAGE :	_____																				

<b>Victime n° 1</b>	AGE :	_____ ans	SEXE :	<input type="checkbox"/> M	<input type="checkbox"/> F
ÉTAT :	_____	<input type="checkbox"/> STADE 2	<input type="checkbox"/> STADE 3	<input type="checkbox"/> STADE 4	

<b>Victime n° 2</b>	AGE :	_____ ans	SEXE :	<input type="checkbox"/> M	<input type="checkbox"/> F
ÉTAT :	_____	<input type="checkbox"/> STADE 2	<input type="checkbox"/> STADE 3	<input type="checkbox"/> STADE 4	

<b>Victime n° 3</b>	AGE :	_____ ans	SEXE :	<input type="checkbox"/> M	<input type="checkbox"/> F
ÉTAT :	_____	<input type="checkbox"/> STADE 2	<input type="checkbox"/> STADE 3	<input type="checkbox"/> STADE 4	

<b>Victime n° 4</b>	AGE :	_____ ans	SEXE :	<input type="checkbox"/> M	<input type="checkbox"/> F
ÉTAT :	_____	<input type="checkbox"/> STADE 2	<input type="checkbox"/> STADE 3	<input type="checkbox"/> STADE 4	

#### Service(s) d'évacuation et service(s) complémentaire(s) engagé(s)

SDIS 33		CROSS	
SAMU 33		DRAGON 33	
Ambulance privée		ECU 33	
Autre (préciser)		Autre (préciser)	

## **Annexe 5 – Les stades de la noyade**

### **Stade 1 : Aquastress.**

Pas d'inhalation liquidienne, angoisse, hyperventilation, tachycardie, tremblements.

### **Stade 2 : Petite noyade.**

Encombrement liquidien broncho-pulmonaire, cyanose des extrémités, hypothermie.

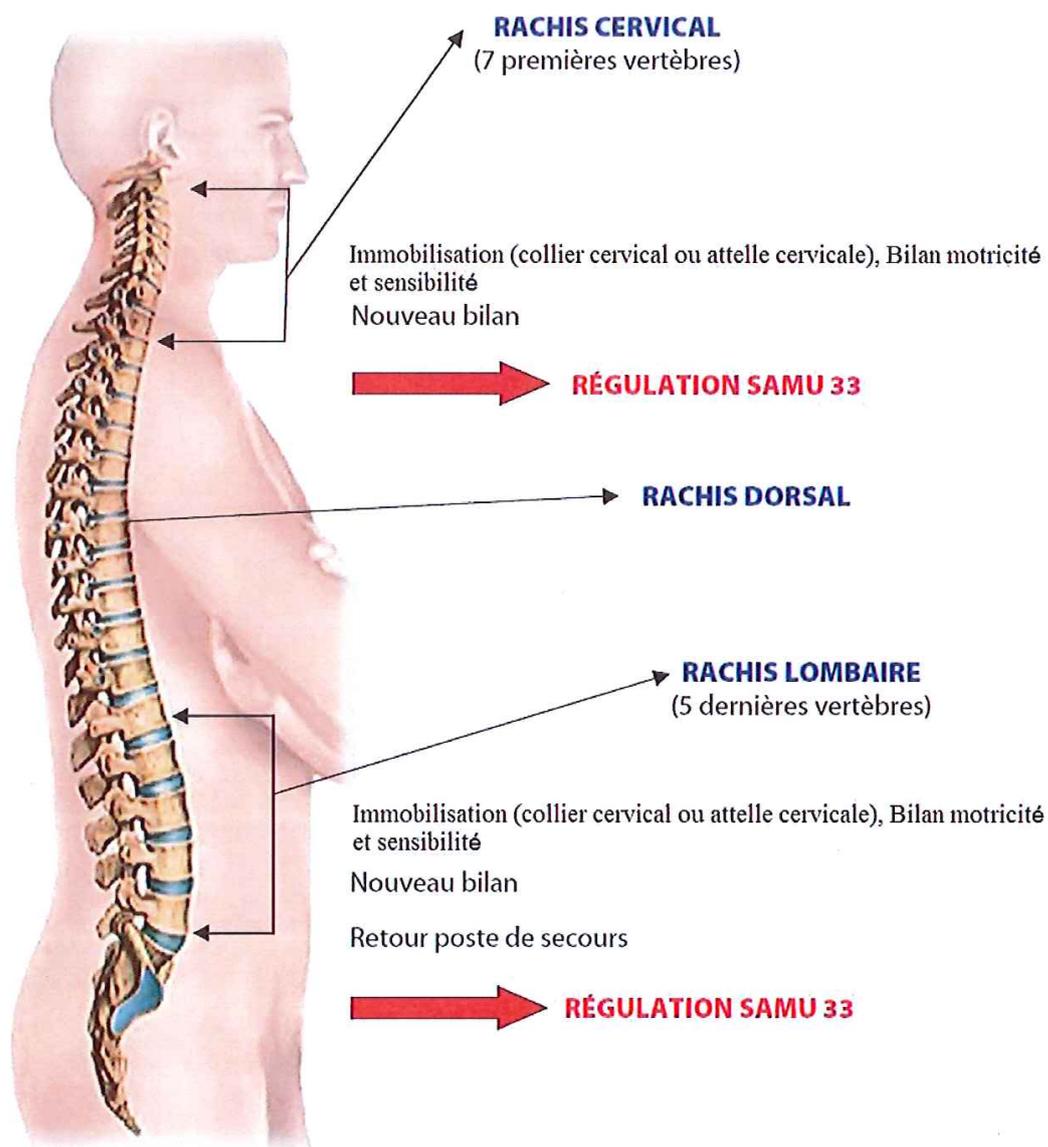
### **Stade 3 : Grande noyade.**

Obnubilation ou coma, état de détresse respiratoire aiguë.

### **Stade 4 : Anoxie.**

Arrêt cardio-respiratoire en cours d'installation ou avéré et coma aréactif.

## Annexe 6 – Schémas des rachis



## B.2 Fiche d'intervention MNS

**FICHE D'INTERVENTION PLAGE sur le littoral aquitain**

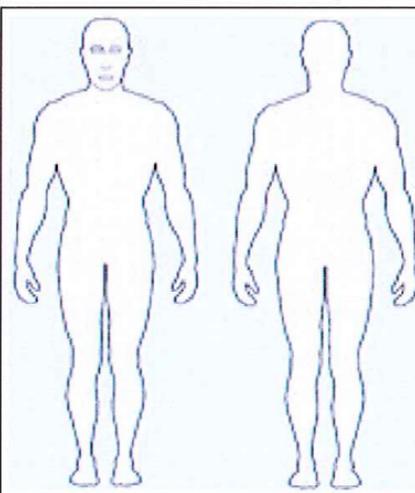
Date : ...../...../.....		Commune : .....		Poste : .....		Heure : ..... h .....	
Lieu : <b>PLAGE</b> <input type="checkbox"/> Zone de surveillance		<b>HORS PLAGE</b> <input type="checkbox"/>		<b>FLAMME</b> : V <input type="checkbox"/> J <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/>		Fréquentation de la plage :	
<input type="checkbox"/> Zone de bain		<b>HORS DE L'EAU</b> <input type="checkbox"/>				faible /moyenne/importante	
<input type="checkbox"/> Hors zone de surveillance							

<b>IDENTITE victime</b>			
NOM : .....		PRENOM : .....	
Date de Naissance : ...../...../.....		SEXE : <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> M	
ADRESSE : .....			
Famille/proches : Nom : .....		Prénom : .....	
Tél : .....		Lien : .....	

<b>PARAMETRES VITAUX</b>			
CONSCIENCE : OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>		Agitation : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	
Orienté(e) : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>			
FREQUENCE CARDIAQUE : .....		POULS RADIAL perçu : OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>	
		Pression Artérielle : ...../.....	
FREQUENCE RESPIRATOIRE : .....		COLORATION : Normale <input type="checkbox"/> Pâleur <input type="checkbox"/> Cyanose <input type="checkbox"/>	
		Saturation en O <sub>2</sub> : ..... %	

<b>NOYADES</b>			
stade <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4		(facultatif SZPILMAN : stade <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6)	
TOUX PERSISTANTE: OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>		VOMISSEMENT: OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>	
MOUSSE: OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/>		Température : ...°C	
CIRCONSTANCES : <input type="checkbox"/> Baïne <input type="checkbox"/> Vague de bord <input type="checkbox"/> Sport de glisse avec flotteur <input type="checkbox"/> Jet ski Autre : .....			
EXTRACTION : <input type="checkbox"/> Sorti seul <input type="checkbox"/> Baigneurs <input type="checkbox"/> Surfeurs <input type="checkbox"/> MNS <input type="checkbox"/> Hélicoptère <input type="checkbox"/> Moyens nautiques Autre : .....			

ENVENIMATION : .....	ANTECEDENT/TRAITEMENT: .....
----------------------	------------------------------

	<p style="text-align: center;"><b>Bilan LESIONEL</b></p> <p>P: Plaie H: Hémorragie B: Brûlure T: Traumatisme D: Douleur</p> <p style="text-align: center;">Echelle numérique de la douleur : .../10</p> <p style="text-align: center;"><b>Bilan NEURO</b></p> <p>TS : Trouble Sensitif TM : trouble Moteur</p>	<p style="text-align: center;"><b>GESTES EFFECTUES</b></p> <p><input type="checkbox"/> PLS</p> <p><input type="checkbox"/> OXYGENOTHÉRAPIE : <input type="checkbox"/> Inhalation MHC (Débit ..... L/min) <input type="checkbox"/> Insufflation</p> <p><input type="checkbox"/> ASPIRATION MUCOSITE</p> <p><input type="checkbox"/> MCE (heure de début : ..... h ..... )</p> <p><input type="checkbox"/> DSA Heure de pose : ...h..... Nombre de chocs : .....</p> <p><input type="checkbox"/> Attelle/collier cervical</p> <p><input type="checkbox"/> Plan dur</p> <p><input type="checkbox"/> Matelas à Dépression</p> <p><input type="checkbox"/> Pansement compressif</p>
---	--	--

<b>DEVENIR</b>		
<input type="checkbox"/> Soins SUR PLACE		<input type="checkbox"/> Refus de transport
MOYEN D'EVACUATION : <input type="checkbox"/> Propres moyens		<input type="checkbox"/> VSAV
<input type="checkbox"/> Ambulance privée		<input type="checkbox"/> SMUR terrestre (préciser : .....
		<input type="checkbox"/> SMUR hélicoptère (préciser : .....
DESTINATION : <input type="checkbox"/> Cabinet médical <input type="checkbox"/> Hospitalisation : ETABLISSEMENT..... / SERVICE : <input type="checkbox"/> Urgences <input type="checkbox"/> Réa		

Commentaires libres :
-----------------------

## B.3 Prévention

**Ce qu'il faut savoir pour se baigner sans danger**

Vous serez encore nombreux cet été sur les plages du littoral girondin à profiter des plaisirs de la baignade.

**Afin que ces moments ne soient pas gâchés, il faut bien être conscient de certaines règles essentielles.**

**CE DÉPLIANT A POUR BUT DE LES RAPPELER.** La baignade est aussi en effet une activité dangereuse, notamment à cause des **baïnes** et des **vagues de bord**.

Assurez-vous que les conditions de baignade ne vont pas **devenir dangereuses** au cours de la journée.

Consultez régulièrement les bulletins météo.

**112 - 18 - 15**  
**Numéros d'urgence**

Le 112 est le numéro d'appel d'urgence européen, qui peut être composé gratuitement à partir d'un téléphone fixe ou mobile (même si le réseau est saturé), partout dans l'Union Européenne.

Le 112 met en relation l'appelant avec le service d'urgence concerné (police locale, pompiers ou urgences médicales) et permet de parler à un opérateur dans plusieurs langues européennes.

**Le 112 est disponible 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7**

Plaquette rédigée en collaboration avec le SAMU 33 chargé de la régulation des plages

**Nouveau :**  
Une cartographie des postes de secours du littoral est disponible sur : <http://plages-nsl.com>  
Vérifiez que votre plage est surveillée !

La plaquette est consultable sur le site des services de l'État  
You can refer to the leaflet on the Prefecture website  
Se puede consultar el folleto en el sitio web de la Prefectura  
Das Falblatt kann auf der Internetseite der Präfektur eingesehen werden

[www.gironde.gouv.fr](http://www.gironde.gouv.fr)

Préfecture de la Gironde  
2, esplanade Charles-de-Gaulle - CS41397  
33077 BORDEAUX cedex  
courriel : [pref-courrier@gironde.gouv.fr](mailto:pref-courrier@gironde.gouv.fr)

**CONSEILS DE PRUDENCE**

**...Baïnes vagues de bord...**

**se baigner en toute sécurité sur le littoral girondin**

Préfecture de la Gironde  
[www.gironde.gouv.fr](http://www.gironde.gouv.fr)  
ÉTÉ 2014

**Qu'est-ce qu'une "baïne" ?**

Une **baïne** est une formation d'eau créée par le mouvement des marées. En patois local, cela signifie "bassine, cuvette d'eau". On en trouve tout au long des plages de sable de la côte Atlantique.

Une baïne se forme à marée basse. Ces "bassines" de sable fin se voient au bord à marée basse. Elles constituent des cuvettes où l'eau est en apparence plus calme qu'ailleurs, l'absence de vagues attirant le baigneur.

Mais à marée haute, quand le niveau de l'eau de la baïne devient supérieur à celui de l'océan, celle-ci se vide soudainement en créant un courant vers le large dit "courant de baïne" qui attire le baigneur vers le large. Il est alors très difficile de reprendre le bord et le baigneur risque de s'épuiser et de se noyer s'il tente de lutter contre le courant.

Ce phénomène se produit à un moment précis de chaque marée en fonction de la houle et des coefficients. Plus les vagues sont grosses et le coefficient élevé, plus les baïnes sont dangereuses.

**Que faire face à un "courant de baïne" ?**

**Bien s'informer pour ne pas s'exposer au danger**

- Les baïnes sont surtout dangereuses aux trois premières heures de la marée montante et aux trois dernières heures de la marée descendante.
- Mais le plus sûr moyen d'éviter la noyade reste encore d'éviter les baïnes, donc de bien s'informer sur leur emplacement.

À cet effet, des schémas peuvent être consultés à l'entrée des postes de secours.

**Si malgré cela vous êtes pris dans un courant de baïne...**

- Essayez de ne pas paniquer ;
- Sur tout ne lutez pas, mais laissez le courant vous emporter même s'il vous conduit vers le large ;
- Pendant que vous vous laissez porter vers le large, signalez-vous par des mouvements de bras et attendez l'intervention des secours ;
- Profitez du moment où le courant faiblit pour sortir de la zone dangereuse en la contournant (voir schéma).

**Les courants (En règle générale) :**

- Il ne faut pas chercher à regagner à tout prix votre point de départ.
- Même si vous ressortez 300 mètres plus loin, vous serez sain et sauf.

**Renseignez-vous également sur la nature des courants de marées**

**Que faire face à une vague de bord ?**

Les vagues de bord sont l'un des dangers favoris des baigneurs. Celles de faible amplitude sont amusantes, mais celles qui sont fortes peuvent blesser le baigneur à cause de leur sommet puissant.

**Conseils pour éviter l'accident**

À votre arrivée sur votre lieu de séjour, informez-vous sur les zones de baignades pour savoir si elles sont surveillées, dangereuses ou interdites

- Toujours traverser la vague en plongeant au travers ;
- Se mettre de profil lorsque la vague se casse ou qu'elle se présente par le sommet ;
- Il est conseillé aux baigneurs de faire attention aux séries de vagues qui entraînent le baigneur vers le fond ;
- Enfin, pour vous baigner dans les meilleures conditions, privilégiez les zones de plages surveillées par les maîtres nageurs sauveteurs.

**DRAPEAUX DE BAIGNADE**

Baignade autorisée sans surveillance	Baignade dangereuse mais surveillée	Interdiction de se baigner

## ANNEXE C

# Modèles pénalisés

---

La pénalisation des modèles présentées dans le chapitre 3 a été étudiée. Il s'agit d'une régression *ridge*. Celle-ci a été effectuée sous R à l'aide du paquet RMS. Le tableau C.1 présente les différences de résultats pour le modèle de prévision du risque de noyade. Les figures C.1 et C.2 présentent l'impact de la pénalisation pour le modèle de prévision des traumatismes liés aux vagues de bord. Dans les deux situations, on remarque de faibles variations des coefficients.

TABLEAU C.1 – Différences entre les coefficients issus de la régression logistique initiale et de la régression logistique pénalisée ( $\lambda = 0,5$ ) pour le modèle de prévision du risque de noyade établi à partir des données 2011–2013.

Variable	Coefficients	
	initiaux	pénalisés
<i>T<sub>air</sub></i>		
≤ 21	1	1
21–23,5	1,65	1,53
> 23,5	2,91	2,74
Saison		
Basse	1	1
Haute	1,13	1,15
Jour		
Vacances	1	1
Semaine	–1,48	–1,38
Weekend	–0,36	–0,37
$\cos^4 \theta_h$	3,12	3,07
<i>W<sub>f</sub></i>		
≤ 5,2	1	1
5,2–9,2	1,86	1,75
> 9,2	1,96	1,82

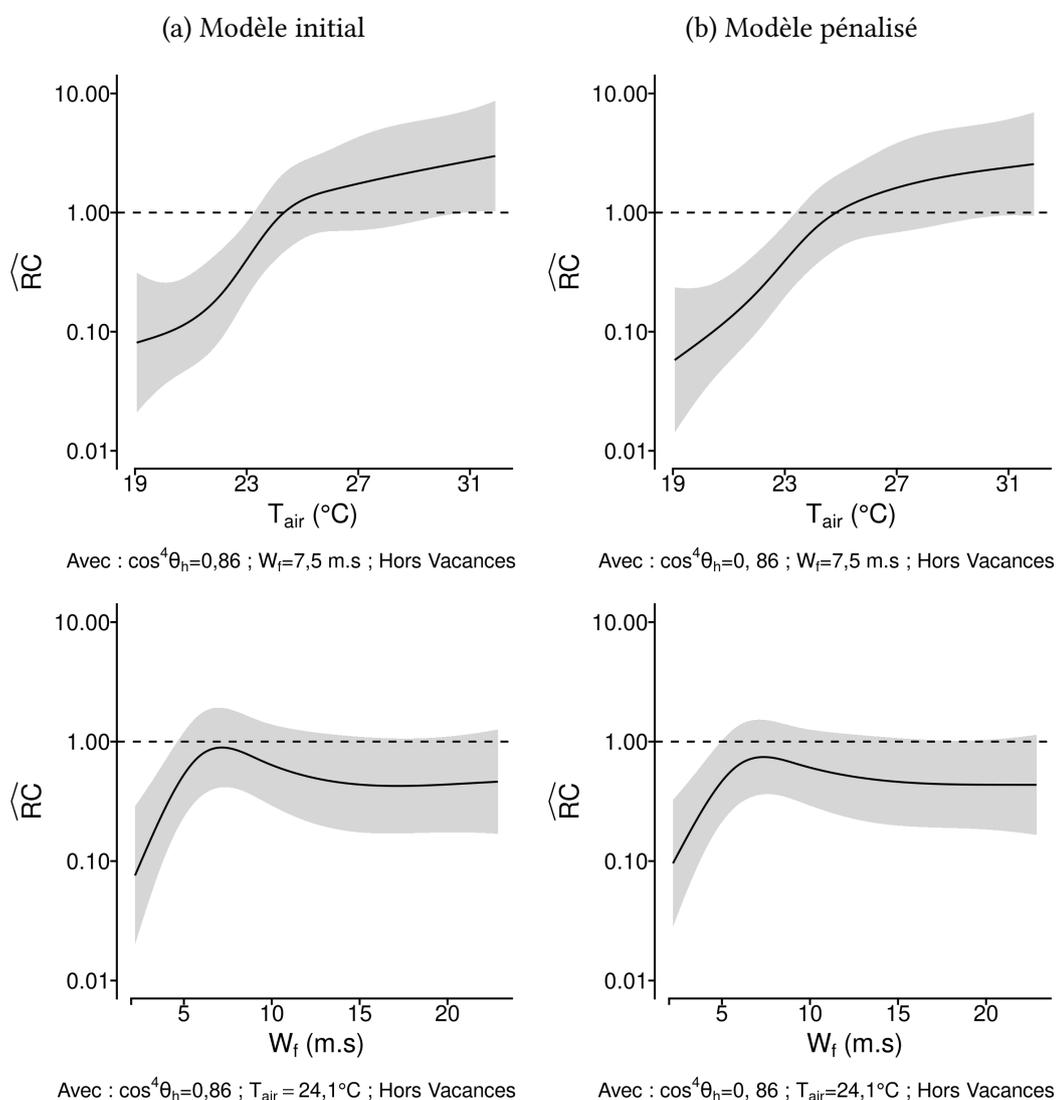


FIGURE C.1 – Impact d’une pénalisation de la régression sur l’estimation des rapports de côte ( $\widehat{RC}$ ) du risque de traumatisme lié aux vagues de bord pour un jour donné en haute saison, en fonction de la température de l’air ( $T_{air}$ ) et du facteur de vague ( $W_f$ ), ajustés aux autres variables. Modèles additifs généralisés multivariés établis à partir des données météorologiques observées et des appels aux SAMU 33 du 15 juin au 15 septembre, années 2011–2013.

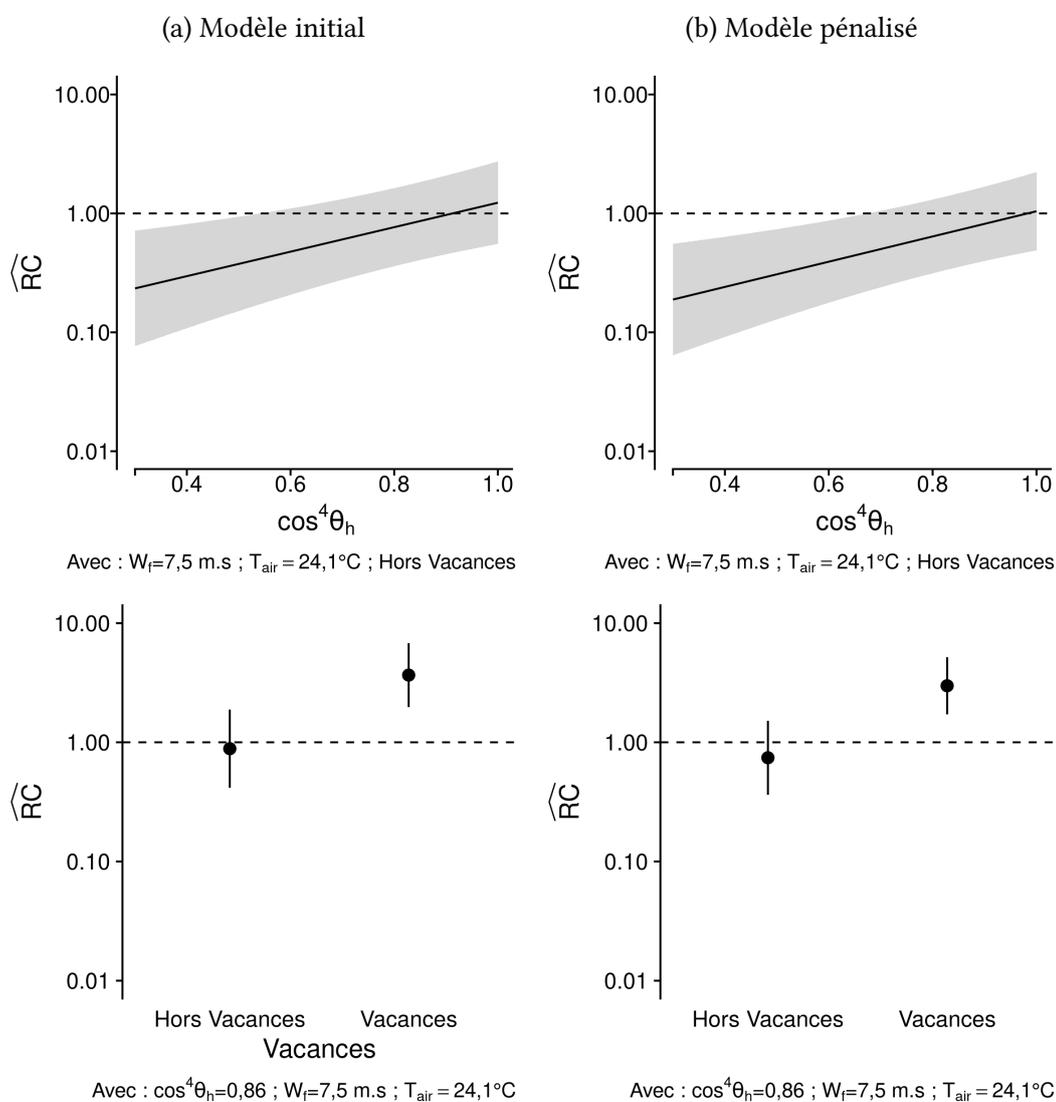


FIGURE C.2 – Impact d’une pénalisation de la régression sur l’estimation des rapports de côte ( $\widehat{RC}$ ) du risque de traumatisme lié aux vagues de bord pour un jour donné en haute saison, en fonction de l’orientation de la houle ( $\cos^4\theta_h$ ) et des vacances, ajustés aux autres variables. Les données météorologiques sont exprimées selon leurs valeurs maximales quotidiennes. Modèles additifs généralisés multivariés établis à partir des données météorologiques observées et des appels aux SAMU 33 du 15 juin au 15 septembre, années 2011–2013.

## ANNEXE D

# Modèles Stan

---

Les modèles Stan suivant ont été utilisés. En plus des spécifications concernant la distribution des délais de sauvetage, d'autres contraintes ont été ajoutées pour permettre une convergence plus rapide du modèle. Chaque calcul de 8 chaînes avec 4000 itérations prenait environ 8 heures sur un AMD Ryzen 7 2700X avec 16 Go de mémoire vive.

Dans le premier modèle :

- le temps maximal était compris entre 1 et 120 minutes ;
- les paramètres  $q_i$  étaient compris entre 0 et 5 ;
- la prior des paramètres  $q_i$  était une distribution normale de moyenne et d'écart-type 1.

Dans le deuxième modèle :

- la médiane de la distribution des délais en basse saison était entre 10 et 30 ;
- sa prior était une distribution normale avec une probabilité de 1 % d'être égale à 10, de 95 % d'être inférieure à 25 ;
- la forme de la distribution était entre 1 et 4 ;
- sa prior était une distribution normale avec une probabilité de 5 % d'être inférieure à 1.1, de 95 % d'être inférieure à 2.

## D.1 Scénario 1

Listing D.1 – Modèle Stan du scénario 1

```
1 // Modèle 1
2 // 1] Détermine la matrice de transition à partir des données de haute
   // saison
3 // avec la distribution des temps de sauvetage fixée
4 // 2] Génère des échantillons de 127 sauvetages à partir de la
   // distribution
5 // fixée et avec la matrice de transition calculée
6
7 data {
8   // nombre d'observations
9   int<lower=10> N ;
10  // nombre d'observations en basse saison à générer
11  int<lower=10> N_low_season ;
12  // stades observés
```

```

13   int<lower=1,upper=5> stade[N] ;
14   // Points de référence de la distribution en haute saison
15   real<lower=0>mediane2; // = 10;
16   real<lower=0>range2; // = 20, soit 95e percentile = 30
17 }
18
19 // Données transformées
20 transformed data{
21   // nombre de stades
22   int J = 5;
23   //stade initial = rescue
24   row_vector[J] s0 = [1,0,0,0,0];
25   // calcul des paramètres de la distribution en haute saison
26   real<lower=0> shape2 = log(log(.5)/log(.05))/log(mediane2/(range2+
27     mediane2));
28   real<lower=0> scale2 = mediane2/pow((-log(.5) ,(1/shape2)));
29 }
30 // Paramètres à estimer
31 parameters {
32   // temps (analysé uniquement pour la convergence)
33   real<lower=1,upper=120> t[N];
34   // q_i
35   vector<lower=0,upper=5>[J-1] q;
36 }
37
38 transformed parameters{
39   matrix[J,J] Q;
40
41   //Les deux paramètres de la distribution hors saison sont à estimer
42   real<lower=0>shape = log(log(.5)/log(.05))/log(mediane2/(mediane2+
43     range2));
44   real<lower=0>scale = mediane2*pow(log(2) , -(1/shape));
45
46   //Construction de la matrice de transition Q à partir du vecteur q
47   for (j in 1:J){
48     for (i in 1:J-1){
49       if (i == j)
50         Q[i,j] = -q[i];
51       else if (i == j-1)
52         Q[i,j] = q[i];
53       else
54         Q[i,j] = 0;
55     }
56   }
57   for (j in 1:J)
58     Q[J,j]=0;
59 }
60 model {
61   for (n in 1:N){
62     t[n] ~ weibull(shape , scale);
63     stade[n] ~ categorical((s0 * matrix_exp(Q* t[n])) ');
64   }
65   //prior peu informative
66   q ~ normal(1,1);

```

```

67 }
68
69 // génération des données
70 generated quantities {
71   vector[N_low_season] new_t_low_season;
72   int new_stade_low_season[N_low_season];
73   for (n in 1:N_low_season){
74     new_t_low_season[n] = weibull_rng(shape, scale);
75     new_stade_low_season[n] = categorical_rng((s0 * matrix_exp(Q*
76       new_t_low_season[n]))');
77   }
78 }

```

## D.2 Scénario 2

Listing D.2 – Modèle Stan du scénario 2

```

1 // Modèle 2
2 // Détermine la matrice de transition à partir de toutes les données
3 // avec deux distributions différentes :
4 //   1] distribution fixée en haute saison
5 //   2] distribution à estimer pour la basse saison
6 data {
7   // nombre d'observations
8   int <lower=10> N ;
9   // stades observés
10  int <lower=1,upper=5> stade[N] ;
11  // Saison (1= basse, 2= haute)
12  int <lower=1,upper=2> season[N];
13  // Points de référence de la distribution en haute saison
14  real <lower=10> p5_2; // médiane= 10;
15  real <lower=20> p95_2; // 95e percentile = 30
16 }
17 // Données transformées
18 transformed data {
19   // nombre de stades
20   int J = 5;
21   // stade initial = rescue
22   row_vector[J] s0 = [1,0,0,0,0];
23   // calcul des paramètres de la distribution en haute saison
24   real <lower=0> shape2 = log(log(.5)/log(.05))/log(p5_2/p95_2);
25   real <lower=0> scale2 = p5_2/pow((-log(.5)),(1/shape2));
26 }
27
28 // Paramètres à estimer
29 parameters {
30   // temps
31   real <lower=1,upper=120> t[N];
32   // q_i
33   vector <lower=0,upper=5>[J-1] q;
34   // paramètres de la distribution en basse saison
35   real <lower=10,upper=30> p5_1;
36   real <lower=1,upper=4> shape1;
37 }
38

```

```

39 transformed parameters{
40   real<lower=0> scale1;
41   matrix[J,J] Q;
42   row_vector[2] shape;
43   row_vector[2] scale;
44
45   //Les deux paramètres de la distribution hors saison sont à estimer
46   scale1 = p5_1*pow(log(2), -(1/shape1));
47   shape = [shape1, shape2];
48   scale = [scale1, scale2];
49
50   //Construction de la matrice de transition Q à partir du vecteur q
51   for (j in 1:J){
52     for (i in 1:J-1){
53       if (i == j)
54         Q[i, j] = -q[i];
55       else if (i == j-1)
56         Q[i, j] = q[i];
57       else
58         Q[i, j] = 0;
59     }
60   }
61   for (j in 1:J)
62     Q[J, j]=0;
63 }
64
65 model {
66   for (n in 1:N){
67     // Cette fois le temps suit une distribution dépendant de la saison
68     t[n] ~ weibull(shape[season[n]], scale[season[n]]);
69     stade[n] ~ categorical((s0*matrix_exp(Q*t[n]))');
70   }
71   // normal.select(list(p=.01, x=10), list(p=.95, x=25))
72   p5_1 ~ normal(18.8, 3.8);
73   // normal.select(list(p=.05, x=1.1), list(p=.95, x=2))
74   shape1 ~ normal(1.55, .3);
75   q ~ normal(1, 1);
76 }

```

## ANNEXE E

# Packages R utilisés

---

- Arnold, J. (2019). *Ggthemes: extra themes, scales and geoms for 'ggplot2'*. R package version 4.2.0.
- Firke, S. (2019). *Janitor: simple tools for examining and cleaning dirty data*. R package version 1.2.0.
- Friedman, j., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2010). Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent. *Journal of Statistical Software*, 33(1). doi:10.18637/jss.v033.i01
- Grolemund, G. & Wickham, H. (2011). Dates and times made easy with lubridate. *Journal of Statistical Software*, 40(3), 1-25. doi :10.18637/jss.v040.i03
- Hothorn, T., Hornik, K., van de Wiel, M., & Zeileis, A. (2008). Implementing a class of permutation tests: the coin package. *Journal of Statistical Software*, 28(8), 1–23. doi:10.18637/jss.v028.i08
- Pedersen, E., Miller, D., Simpson, G., & Ross, N. (n.d.). Hierarchical generalized additive models: an introduction with mgcv. doi:10.7287/peerj.preprints.27320v1
- Robin, X., Turck, N., Hainard, A., Tiberti, N., Lisacek, F., Sanchez, J.-C., & Müller, M. (2011). pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves. *BMC Bioinformatics*, 12(1). doi:10.1186/1471-2105-12-77
- Robitzsch, A., & Grund, S. (2019). *Miceadds: some additional multiple imputation functions, especially for 'mice'*. R package version 3.5-14.
- Sarkar, D. (2008). *Lattice: multivariate data visualization with R*. ISBN 978-0-387-75968-5. New York: Springer.
- Su, Y., Gelman, A., Hill, J., & Yajima, M. (2011). Multiple imputation with diagnostics (mi) in R: opening windows to the black box. *Journal of Statistical Software*, 40(2). doi:10.18637/jss.v045.i02
- The Stan Core Library (Version 2.18.0).
- Wickham, H. (2016). *Ggplot2: elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York.
- Wickham, H. (2017). *Tidyverse: easily install and load the 'Tidyverse'*. R package version 1.2.1.
- Wilke, C. (2019). *Cowplot: streamlined plot theme and plot annotations for 'ggplot2'*. R package version 1.0.0.

- Yee, T. (2010). The VGAM package for categorical data analysis. *Journal of Statistical Software*, 32(10), 1-34. doi :10.18637/jss.v032.i10
- Yee, T. (2015). *Vector generalized linear and additive models*. doi :10.1007/978-1-4939-2818-7
- Zeileis, A., & Grothendieck, G. (2005). Zoo: s3 infrastructure for regular and irregular time series. *Journal of Statistical Software*, 14(6), 1–27. doi:10.18637/jss.v014.i06
- Zeileis, A., Kleiber, C., & Jackman, S. (2008). Regression models for count data in R. *Journal of Statistical Software*, 27(8). doi:10.18637/jss.v027.i08

## ANNEXE F

# Projet SWYM – Lettre d'intention

---

## WP SWYM: Surf zone hazards, recreational beach use and Water safety Management in a changing climate

### Motivation and background

Sandy surf beaches have been for a long time an attractive environment for a variety of recreational activities globally including sunbathing, swimming and wading, bodyboarding and surfing. Nevertheless, the **conditions under which people actually use the beach are a changing** owing to e.g. new activities/products (yoga paddles, foils, etc.) and services (dedicated apps, social media, etc.), with conflicts of use arising from the concomitant densification of both practitioners and practices. Surf beaches can also be dangerous environments to those who choose to enter the water due to potentially **powerful wave conditions and strong currents**, and often due to a **poor knowledge of beach hazards and safety messages**. Climate change will affect weather patterns, wave conditions at the coast and resulting beach hazard to an extent which is virtually unknown. Climate change may also drive warmer and longer summers and, in turn, increased exposure to hazards. Thus, **understanding, predicting and mitigating surf zone risks is of paramount importance**. This requires the implementation of cross-disciplinary research between **social, health and physical sciences in close collaboration with lifeguards** (Fig. 1). The southwest coast of France is very attractive (>10 M visitors each summer). It also hosts some of the most hazardous surf beaches in the world causing each year thousands of injuries ranging from mild contusion to fatal drowning (~10/year in Aquitaine) and including severe spinal injuries, wounds and dislocation with sometimes lifetime medical costs. SWYM is a timely and utterly new research project that builds on discussions during the COTE prospective reflections. The overarching objective is **to provide new fundamental and practical insights into surf zone hazards, recreational beach use and water safety management** along the southwest coast of France.

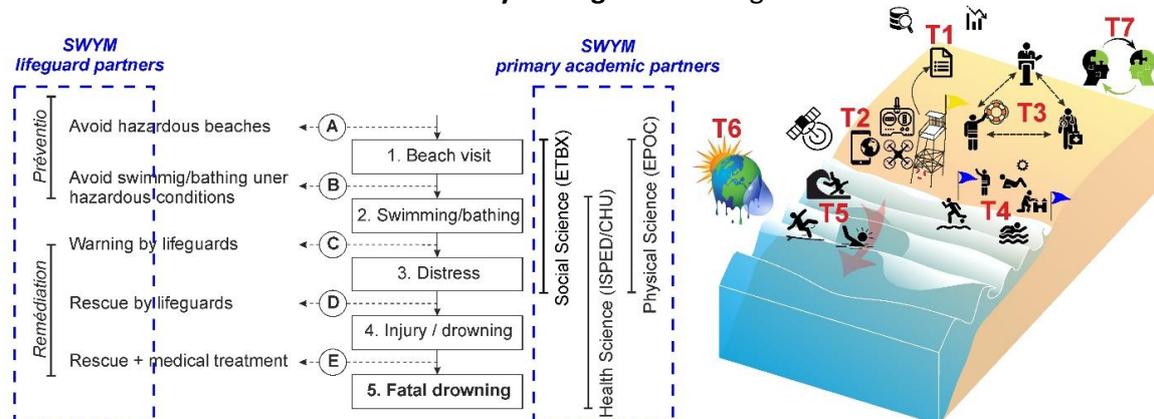


Fig. 1. Left-hand panel: timeline of drowning at the beach consisting of five stages (numbered 1-5) and five exits (A-E) with SWYM consortium encompassing all required science fields to reduce the number of drownings. Right-hand panels: schematic of the 7 SWYM research tasks T(1-7).

### 1. Overarching question

The overarching question is **how can we reduce the number of fatal and non-fatal surf zone incidents** along the Nouvelle-Aquitaine beaches while preserving their attractiveness? To meet this objective WP SWYM, which is schematized in Fig. 1, will be carried out in **7 separate interconnected research tasks (T) encompassing RA-A and RA-C**. In brief, the environmental controls (e.g., wave conditions, beach morphology, local weather) on the primary **surf zone hazards** (rip currents and shore-break waves) and **beachgoers exposure** will be analyzed combining numerical modelling, field and satellite data (T5) and existing inhomogeneous datasets (T1). We will also develop a **unique, homogeneous, surf zone injury dataset** collected

along the entire Nouvelle-Aquitaine coast in the frame of T2, in which new rescue technologies will be developed and further tested (*e.g.*, drones, IoT, smart-textiles). **Beach risk predictors** will be developed using machine learning techniques, which will allow to identify beach morphologies and large-scale climate patterns of atmospheric variability in the North Atlantic causing hazardous conditions along the coast (T5). The potential **evolution of these environmental conditions in the frame of climate change** will be further explored (T6). Human and social aspects of beach safety management will be considered both at the individual and organizational level. Data on beach user profile and practices will be gathered by implementing specific monitoring techniques (quantitative and qualitative surveys, counting, *etc.*). By doing so (T4), we expect **to identify various risk profiles among the global population** (current and potential users). Cross cutting post injury data (T2) and individual perceptions of risks and safety (T4) will be another added value of the project. Management responses will be analyzed by studying the socio-spatial relationships between the stakeholders currently involved in the safety organization systems. Potential for **technological as well as organizational innovations** will be stressed out (T3). Given that the scientific questions addressed in SWYM meet strong and increasing societal demand, we anticipate a **large knowledge transfer activity** (T7) as evidenced by the numerous media loads on the physical hazard aspects only.

## 2. Scientific novelty

SWYM is **the very first project in the world addressing beach safety as a whole** (Fig. 1a). Previous research in Australia, UK or the US only explored one of the components shown in Fig. 1a in isolation. In addition, although EPOC is at the forefront of surf zone hazards the environmental controls on injuries, particularly across the large natural variability in coastal settings in Nouvelle-Aquitaine, are still poorly understood (T5). The Bordeaux CHU coordinating the medical aspect of the beach safety in Gironde will collect valuable data, which will be further analyzed building on ISPED expertise. To date, there is **no study on the impact of climate changes on surf zone hazards and beach risks** (T6). Despite >10 M people visit the beach of SW France each year, **beachgoer profile and risk perception are virtually unknown** (T4). This also applies **for the complexity of the stakeholder interactions** throughout the value chain of rescue (T3).

## 3. Consortium

Our consortium gathers local experts from **Physical, Social and Medical sciences as well as lifeguard representatives**, which will allow to holistically address beach safety: EPOC (B. Castelle and co-workers), ETBX (J. Dehez and co-workers) and ISPED/CHU Bordeaux (GPR external partners – E. Tellier and co-workers) who will contribute to the Physical, Social and Health science aspects, respectively. Other partners include the DIPE of UB (J.-P. Savy) for technological developments, SMGBL (S. Geyer Barneix) for knowledge transfer and injury data acquisition and the Ocean Platform of UB as the euro-regional Ocean-based research ecosystem. SWYM will also benefit from **international collaborations**, particularly Rob Brander (UNSW, Australia) and Dr. Tim Scott (PU, UK) who have extensive knowledge in beach safety and fruitful past collaboration with SWYM's PI B. Castelle on various topics in coastal dynamics.

## 4. Budget: 300 k€

**Salaries:** 175 k€ (2.5-year postdoc, ½ PhD student); **Equipment:** 17 k€ (small ATV for beach surveys, Lagrangian drifters); **Functioning:** 92 k€ (field work, conferences, surveys, 3 Master 2 internships, publication fees, Pléiade images ...); **Sub-contracting:** 16 k€ (Apps).

## Annex:

## Relevant SWYM partner references:

- Castelle, B., Scott, T., Brander, R.W.**, McCarroll, R.J., 2016. Rip current types, circulation and hazard. *Earth Science Reviews*, 163, 1-21.
- Castelle, B.**, McCarroll, R.J., **Brander, R.W., Scott, T.**, Dubarbier, B., 2016. Modelling the alongshore variability of optimum rip current escape strategies on a multiple rip-channelled beach. *Natural Hazards*, 81, 663-686.
- Castelle, B.**, Dodet, G., Masselink, G., Scott, T., 2017. A new climate index controlling winter wave activity along the Atlantic coast of Europe: The West Europe Pressure Anomaly. *Geophysical Research Letters*, 44, doi:10.1002/2016GL072379.
- Castelle, B., Brander, R.W., Tellier, E., Simonnet, B., Scott, T.**, McCarroll, J., Campagne, J.-M., Cavailhes, T., Lechevrel, P., 2018. Surf zone hazards and injuries in SW France. *Natural Hazards*, 93(3), 1317-1335.
- Dehez J.**, Ginelli L., Lambert G., Ben Hadj Abdallah K. (Eds), 2018. Place, Recreation and Local Development, *Proc. of the 9th International Conference on Monitoring and Management of Visitors in Recreational and Protected Areas (MMV9)*, Bordeaux, Irstea, 489p.
- Dehez J.**, Lyser S., 2014. Combining multivariate analysis and cost analysis in outdoor recreation planning. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 7-8, 75-88.
- Dissart J. C., **Dehez J.**, Marsat J. B. (Eds), 2015. *Tourism, Recreation and Regional Development - Perspectives from France and Abroad*, Ashgate Publ. Company, Farnham, England.
- Laporte-Fauret, Q., **Marieu, V., Castelle, B.**, Michalet, R., **Bujan, S.**, Rosebery, D., 2019. Low-cost UAV for high-resolution and large-scale coastal dune change monitoring using structure from motion photogrammetry. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(3), 63; doi:10.3390/jmse7030063
- Level, C., **Tellier, E.**, Dezou, P., Chaoui, K., Kherchache, A., Sejourne, P., Rullion-Pac Soo, A.M., 2018. Outcome of older persons admitted to intensive care unit, mortality, prognosis factors, dependency scores and ability trajectory within 1 year: a prospective cohort study. *Aging Clinical and Experimental Research*, 30 (9), 1041-1051.
- Rulleau, B., **Dehez, J.**, Point, P., 2012. Recreational Value, Site Characteristics and User Heterogeneity in Contingent Valuation. *Tourism Management*, 33(1), 195-204.
- Sgubin, G., **Swingedouw, D.**, Drijfhout, S., Mary, Y., Bennabi, A., 2017. Abrupt cooling over the North Atlantic in modern climate models. *Nature Communications*, 8: 14375, doi:10.1038/ncomms14375.
- Swingedouw, D.**, Ortega, P., Mignot, J., Guilyardi, E., Masson-Delmotte, V., Butler, P.G., Khodri, M., Séférian, R., 2015. Bidecadal North Atlantic ocean circulation variability controlled by timing of volcanic eruptions. *Nature Communications*, 6: 6545, doi: 10.1038/ncomms7545
- Tellier, E., Simonnet, B.**, Gil-Jardiné, C., **Castelle, B.**, Bailhache, M., Salmi, L.-R., 2019. Characteristics of drowning victims in a surf environment: a 6-year retrospective study in southwestern France. *Injury Epidemiology*, 6(17), doi:10.1186/s40621-019-0195-x

## Acronyms used in the 2-page intention letter:

ATV: All-Terrain Vehicle ; DIPE: Direction, Innovations, Partenariats, Entreprises (UB) ; IoT: Internet of Things ; ISPED: Institut de Santé Publique, d'Epidémiologie et de Développement ; PU: Plymouth University ; SMGBL: Syndicat Mixte de la Gestion de la Baignade Landaise ; UNSW: University of New South Wales.