



**Dynamique des systèmes littoraux et des milieux marins côtiers**

**Zoom sur le littoral de la Réunion**

**Octobre 2012**

## SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>DONNEES ET METHODE</b>	<b>8</b>
<b>2.1.</b>	<b>DONNEES</b>	<b>8</b>
<b>2.2.</b>	<b>DETERMINATION DES ENTITES SUR LESQUELLES PORTENT L'ANALYSE</b>	<b>9</b>
2.2.1.	ZONAGE PRELIMINAIRE : DETERMINATION D'UNE ZONE COTIERE	9
2.2.2.	ZONAGE DETAILLE ET DETERMINATION DES INDICATEURS	9
2.2.3.	FACTEURS D'ETAT	10
2.2.3.1.	<i>Morphodynamique côtière</i>	11
2.2.3.2.	<i>Submersibilité</i>	13
2.2.4.	FACTEURS DE FORÇAGE	16
2.2.4.1.	<i>Exposition aux évènements extrêmes</i>	16
2.2.4.2.	<i>dynamique ordinaire</i>	17
2.2.5.	FACTEURS DE CONTEXTE	17
2.2.6.	RESULTAT OBTENU A L'ISSUE DU ZONAGE DETAILLE	17
<b>2.3.</b>	<b>MODELISATION CONCEPTUELLE DE MANIERE HIERARCHIQUE ET SYNTHESE DU JUGEMENT</b>	<b>17</b>
<b>2.4.</b>	<b>IMPLICATION DU GROUPE DE TRAVAIL</b>	<b>18</b>
	<b>QUESTIONS-REPOSES SUR LA METHODE UTILISEE :</b>	<b>19</b>
<b>3.</b>	<b>RESULTATS</b>	<b>21</b>
<b>3.1.</b>	<b>STRUCTURE DE LA BASE DE DONNEES SIG LIVREE</b>	<b>21</b>
<b>3.2.</b>	<b>REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE DES CLASSEMENTS EFFECTUES</b>	<b>21</b>
3.2.1.	SCENARIO TENDANCIEL	22
3.2.2.	SCENARIO AVEC ELEVATION DU NIVEAU MARIN	25
<b>4.</b>	<b>DISCUSSION</b>	<b>28</b>
<b>4.1.</b>	<b>ANALYSE DES RESULTATS</b>	<b>28</b>
<b>4.2.</b>	<b>SENSIBILITE DES RESULTATS A DES DIFFERENCES DE JUGEMENT D'EXPERTS</b>	<b>28</b>

<b>4.3.</b>	<b>MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE A LA REUNION.....</b>	<b>29</b>
<b>4.4.</b>	<b>INCERTITUDES.....</b>	<b>30</b>
<b>4.5.</b>	<b>PERSPECTIVES D'UTILISATION.....</b>	<b>32</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSION _____</b>	<b>33</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE _____</b>	<b>34</b>
<b>7.</b>	<b>ANNEXE : CARTES DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE ; SCENARIO TENDANTIEL_____</b>	<b>36</b>
<b>8.</b>	<b>ANNEXE : CARTES DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE ; SCENARIO AVEC ELEVATION DU NIVEAU MARIN _____</b>	<b>48</b>
<b>9.</b>	<b>ANNEXE : COMPTE RENDU DE LA REUNION DU GROUPE D'EXPERTS</b>	<b>61</b>
<b>10.</b>	<b>COMPTE RENDU DE RÉUNION _____</b>	<b>61</b>

## **PREAMBULE**

Le projet EXPLORE 2070, piloté par le MEDDE (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie) traite de « L'élaboration et évaluation des stratégies d'adaptation au changement climatique en France face à l'évolution des hydro-systèmes et des systèmes côtiers à l'horizon 2050-2070 ». Au sein de ce projet, le lot 6 s'attache essentiellement à la dynamique des systèmes littoraux et des milieux côtiers, plus particulièrement en termes d'érosion, et de submersion permanente et temporaire.

Le travail du lot 6 est centré sur la **caractérisation des aléas côtiers et de leur évolution avec le changement climatique**. Les enjeux, la vulnérabilité et le risque étant abordés dans le lot 7. Le lot 6 apporte également une **contribution à l'élaboration des stratégies d'adaptation** pour la réduction du risque dans les milieux côtiers sous forme de conseils et de propositions faisant référence à des travaux déjà existants sur le sujet.

Ce rapport présente les résultats du lot littoral concernant le zoom La Réunion. Une méthode de cartographie multicritère décisionnelle a été mise en œuvre pour cartographier la vulnérabilité physique des systèmes côtiers à l'érosion et à la submersion marine à l'échéance 2070, pour deux scénarios :

- un scénario tendanciel, dans lequel le niveau marin est supposé ne pas être modifié ;
- un scénario avec une élévation du niveau marin de 1m.

Ce rapport présente successivement :

- le contexte et les motivations de l'étude ;
- Le site d'étude ;
- les données utilisées ;
- l'approche utilisée pour mettre en œuvre de la méthode ;
- les résultats obtenus et la structure de la base de données SIG livrée ;
- une discussion sur la portée des résultats, leurs conditions d'utilisations et leurs limites.

Les résultats se présentent sous la forme de cartes représentant un indice de vulnérabilité synthétique, résultant du croisement des critères choisis pour chacun des deux scénarios. Une troisième carte présente également les différences entre le scénario avec élévation du niveau marin et le scénario tendanciel (sans élévation du niveau marin).

En amont de cette approche qui s'adapte aux jeux de données existants et aux limites de la connaissance actuelle, il est nécessaire de mener des observations pérennes et régulières des milieux côtiers ainsi que des travaux de capitalisation de ces observations et de modélisation.

## **1. INTRODUCTION**

Bien qu'il soit pratiquement certain que l'élévation du niveau marin s'accélère au cours du XXIème siècle, notre capacité à évaluer les conséquences de ce processus dans la zone côtière demeure limitée. Il est attendu que l'élévation du niveau marin ait pour conséquence une aggravation des aléas côtiers existant actuellement (Nicholls et al., 2007). Pourtant, les quantifications de cette aggravation qui ont été proposées demeurent peu fiables (Yates et al., 2011).

Les aléas considérés dans cette étude sont les aléas côtiers suivants : submersion permanente ou temporaires de zones basses, érosion marine ainsi que les processus associés suivants : pression des vagues sur les infrastructures, affouillement, mise en mouvement de débris. Aux cours d'événements de tempêtes, ces processus interagissent entre eux, constituant une menace globale aux biens et aux personnes. Ce projet se propose d'évaluer cette menace dans sa globalité, à l'échéance 2070 et dans deux scénarios : avec ou sans élévation du niveau marin.

Ce rapport présente les résultats du lot littoral concernant le zoom La Réunion. La méthode de cartographie du Lot 6 présentée dans le rapport d'étape n°1 a été mise en œuvre pour cartographier la vulnérabilité physique des systèmes côtiers à l'érosion et à la submersion marine à l'échéance 2070, pour deux scénarios :

- un scénario tendanciel, dans lequel le niveau marin est supposé ne pas être modifié ;
- un scénario avec une élévation du niveau marin de 1m.

Ce rapport présente successivement :

- les données et l'approche utilisée pour mettre en œuvre de la méthode sur le zoom La Réunion;
- les résultats obtenus et la structure de la base de données SIG livrée ;
- une discussion sur la portée des résultats, leurs conditions d'utilisations et leurs limites.

Le lecteur se reportera au rapport du zoom « Languedoc-Roussillon » pour une revue détaillée de méthodes permettant l'analyse de la vulnérabilité côtière à l'échelle régionale, dans le contexte du changement climatique.

Les résultats se présentent sous la forme de cartes représentant un indice de vulnérabilité synthétique, résultant du croisement des critères choisis pour chacun des deux scénarios. Une troisième carte présente également les différences entre le scénario avec élévation du niveau marin et le scénario tendanciel (sans élévation du niveau marin).

## **2. DONNEES ET METHODE**

Ce chapitre présente les données utilisées, puis comment ont été mises en œuvre les différentes phases de l’AHP :

- 1) la **détermination des entités** sur lesquelles porte l’analyse ;
- 2) la **modélisation conceptuelle** du problème de manière hiérarchique et la **synthèse du jugement** ;
- 3) la revue par un **groupe de travail**<sup>1</sup>.

La **cartographie des résultats** est présentée dans le chapitre résultats.

### **2.1. DONNEES**

Les données utilisées sont les suivantes :

- Trait de côte et géomorphologie côtière (Données BRGM ; De La Torre, 2004 ; De La Torre et al., 2006 ; Blangy et al., 2010);
- topographie (données IGN ) ;
- géologie au 1 : 50 000;
- occupation des sols (Données DREAL) ;
- base de données hydrologique ;

---

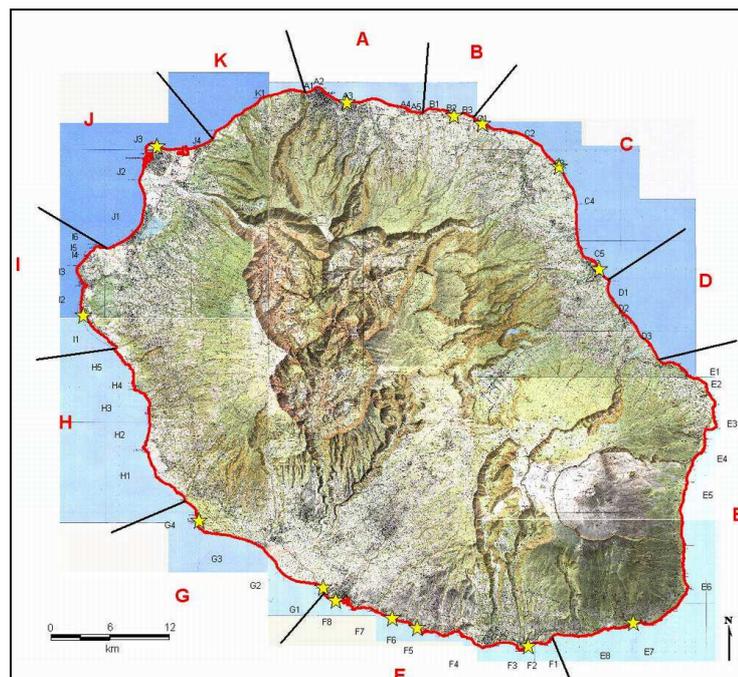
<sup>1</sup> La composition de ce groupe de travail est précisée dans les annexes reprenant les comptes rendus de ses réunions.

## **2.2. DETERMINATION DES ENTITES SUR LESQUELLES PORTENT L'ANALYSE**

### **2.2.1. ZONAGE PRELIMINAIRE : DETERMINATION D'UNE ZONE COTIERE**

Il s'agit ici de déterminer une zone côtière contenant toutes les zones potentiellement affectées par les aléas érosion et submersion marine. Cette étape est réalisée en faisant l'union de zones basses et de zones érodibles en zones littorale. Elle se base sur les données topographiques et de géomorphologie côtière (De La Torre, 2004 ; De La Torre et al., 2006 ; Blangy et al., 2010);

### **2.2.2. ZONAGE DETAILLE ET DETERMINATION DES INDICATEURS**



*Illustration 1 : Zonages du littoral de La Réunion, BRGM/RP-53307-FR, décembre 2004.*

Dans cette étape, nous utilisons la zone côtière définie en 2.2.1 pour définir de manière détaillée chacune des entités côtière qui fera l'objet de l'analyse par la méthode AHP. D'autre part, nous définissons les indicateurs de base qui seront ultérieurement intégrés dans l'arbre hiérarchique.

Pour définir un zonage pertinent au regard du territoire concerné, nous nous sommes appuyés

sur une étude antérieure de la morphodynamique des littoraux de La Réunion faite par le BRGM (De La Torre, 2004 ; De La Torre et al., 2006 ; Blangy et al., 2010). Cette étude définit un zonage par tronçon de trait de côte, qui se distingue à 3 niveaux d'échelle (Illustration 1) :

- une échelle « régionale » qui regroupe les littoraux réunionnais en 11 ensembles principaux (zone A, B, C, ... K). Ces macro-systèmes correspondent à un zonage des caractéristiques morphologiques générales ;
- une échelle « sous-régionale » qui segmente les grands ensembles régionaux en entités morphologiques (méso-systèmes) homogènes ou appartenant à une même cellule hydrosédimentaire (A1, A2, A3, ... K1) ;
- une échelle « locale » qui décrit les micro-systèmes au sein d'une entité morphologique.

Dans cette étude, nous privilégions l'échelle sous-régionale. Ces données sont utilisées avec les bases de données topographiques et de géologie pour découper la zone littorale en zones homogènes sur le plan morphodynamique. Ainsi, seront conservés tous les découpages selon l'altitude, la géologie et la géomorphologie littorale. Ceci représente environ 25000 entités différentes pour La Réunion.

Les paragraphes suivants présentent de manière détaillée la mise en œuvre de cette étape, pour chacune des grandes familles de facteurs :

- facteurs d'états, représentant l'état du système au regard de sa topographie, de sa géologie et de sa morphodynamique littorale
- facteurs marins, représentant les forçages auquel le système est exposé (vagues, événements extrêmes)
- Facteurs de contexte, représentant dans quel contexte se situe l'entité, notamment en termes d'apports sédimentaires potentiels.

### **2.2.3. FACTEURS D'ETAT**

Les facteurs d'état traduisent les caractéristiques du terrain qui font qu'il est plus ou moins vulnérable à la submersion et l'érosion. Les différentes composantes de ces facteurs sont ici des représentations cartographiques de la morphodynamique côtière et de la submersion marine, évaluées en tenant compte des tendances historiques, des aléas d'inondation tendanciels ou avec prise en compte de la montée du niveau de la mer.

### 2.2.3.1. MORPHODYNAMIQUE COTIERE

Le devenir morphodynamique de chacune des entités définie est évalué en prenant en compte sa géomorphologie et des taux de recul actuellement observés.

#### 2.2.3.1.1. Falaises

La Réunion est notamment caractérisée par des falaises volcaniques plus ou moins en érosion. La géologie contrôle la stabilité générale des falaises, les facteurs prépondérants étant la lithologie, la structure (Benumof and Griggs, 1999) et la pente des falaises (De Pippo et al., 2008). La pente est étroitement liée aux deux premiers facteurs mais la complexité de cette relation est telle que l'on peut considérer la pente comme une variable indépendante (Del Rio and Gracia, 2009 – étude menée sur des falaises en milieu tempéré). La réponse d'une falaise aux contraintes qu'elle subit dépend de la lithologie. Plus les roches sont dures et résistantes, plus le processus d'érosion est lent. Par exemple, les falaises constituées de matériaux volcaniques peu consolidés peuvent s'éroder avec un taux allant de 10m par an, tandis que les falaises de granit enregistrent un recul de moins de 0.001 m par an (Whitehouse et al., 2008). La structure globale des falaises peut être le facteur dominant du recul dans certains cas (Sunamura, 1983). En effet, les discontinuités dans la roche peuvent provoquer l'affaiblissement de la structure, ces zones devenant alors particulièrement sensibles aux autres forçages. Enfin, la pente des falaises affecte la stabilité car une forte inclinaison augmente la probabilité d'occurrence d'éboulements et de glissements de terrain (Sunamura, 1983).

Nous ne disposons pas ici d'informations concernant des caractéristiques géométriques de la falaise. En revanche, nous intégrons des caractéristiques géologiques ultérieurement (Tableau 3). Aussi, les valeurs possibles, envisageables et improbables d'érosion, précisées dans le tableau 3, dépendent principalement des taux d'érosion constatés aujourd'hui. Dans le cas d'élévation du niveau marin, une possibilité est de se baser sur la formule du National Research Council (1987), qui a suggéré de calculer le recul futur des falaises ( $R_2$ ) dû à l'élévation du niveau de la mer à partir de tendances historiques en utilisant la formule suivante :

$$R_2 = (R_1 / S_1) S_2,$$

où  $R_1$  est le recul historique des falaises (observé),  $S_1$  est l'élévation historique du niveau de la mer (observée à l'aide de séries temporelles marégraphiques) et  $S_2$  est l'élévation future du niveau de la mer (estimée). Une limite de cette approche est que nous disposons d'observations des reculs de falaises uniquement dans un certain nombre de sites, de sorte que

les taux proposés ne sont pas basés sur une donnée locale, mais sur un taux de recul moyen estimé à 0.5m/an pour les falaises actuellement en érosion.

Nous notons que l'application de la formule du National Research Council conduit à des aggravations de l'érosion qui sont très importantes. L'accélération des taux d'érosion donnée par cette formule semble très improbable, et nous nous sommes donc bornés (en l'absence de données fines sur la hauteur de falaise) à considérer que dans le cas de l'élévation du niveau marin, l'érosion sera multipliée par deux (Tableau 1).

<b>Morphodynamique actuelle de la falaise</b>	<b>Taux de reculs retenus pour le scénario « sans élévation du niveau marin »</b>	<b>Taux de reculs retenus pour le scénario « avec élévation du niveau marin »</b>
<b>Erosion prononcée</b>	35m : possible	70m : possible
	70m : envisageable	140m : envisageable
	Au-delà : improbable	Au-delà : improbable
<b>Erosion modérée</b>	20m : possible	40m : possible
	40m : envisageable	80m : envisageable
	Au-delà : improbable	Au-delà : improbable
<b>Engraisissement, stable, ou zone de transition</b>	Pas de recul de la falaise	Pas de recul de la falaise

*Tableau 1: Taux de recul retenus pour les falaises selon leur morphodynamique actuelle, à l'horizon 2070*

#### 2.2.3.1.1. Plages

Une démarche similaire (mais s'appuyant ici sur la loi de Bruun) a été retenue pour les plages (Tableau 2).

Morphodynamique actuelle de la plage	Taux de reculs retenus pour le scénario « sans élévation du niveau marin »	Taux de reculs retenus pour le scénario « avec élévation du niveau marin »
<b>Erosion prononcée</b>	70m : possible	90m : possible
	140m : envisageable	160m : envisageable
	Au-delà : improbable	Au-delà : improbable
<b>Erosion modérée</b>	35m : possible	55m : possible
	70m : envisageable	90m : envisageable
	Au-delà : improbable	Au-delà : improbable
<b>Stable, en transition</b>	Pas de recul de la plage	20m : possible
		40m envisageable
		Au-delà : improbable
<b>Engraissement ou stable</b>	Pas de recul de la plage	Pas de recul de la plage

Tableau 2: Taux de recul retenus pour plages selon leur morphodynamique actuelle à l'horizon 207°

#### 2.2.3.1.1. Erodibilité

Enfin, les taux de recul calculés sont croisés avec les caractéristiques géologiques de chaque entité considérée (Tableau 3). La géologie est donc utilisée ici pour caractériser l'érodibilité.

Erodibilité	Géologie
<b>Forte érodibilité</b>	Sables et galets de sables, sables dunaires basaltiques,
<b>Erodibilité assez forte</b>	Alluvions fluvio-marines, récentes, anciennes, indifférenciées ou non
<b>Erodibilité plus modérée</b>	Formations pyroclastiques, lahars, éboulis, tufs.
<b>Erodibilité faible ou nulle</b>	Coulées basaltiques

Tableau 3: Erodabilité

Dans la table de Saaty, on affecte les valeurs 1, 3, 7 et 9 respectivement aux érodibilités fortes, assez fortes, plus modérées et faibles ou nulles.

#### 2.2.3.2. SUBMERSIBILITE

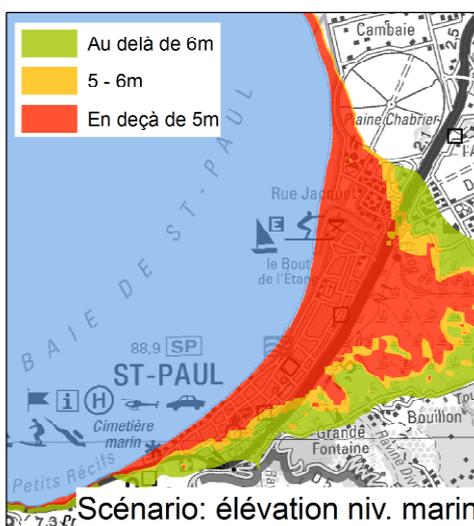
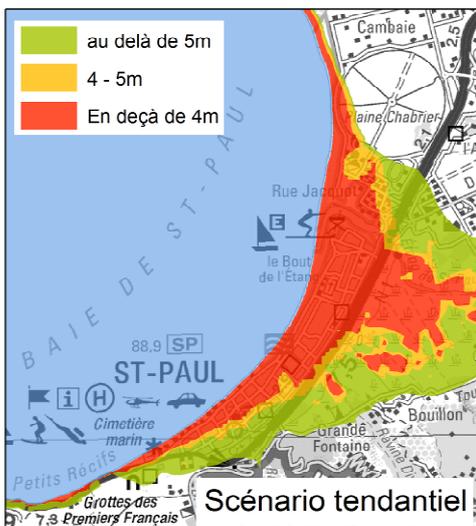
La submersibilité est estimée simplement en estimant un niveau extrême pour chaque scénario (avec ou sans élévation du niveau marin). Les niveaux retenus sont ceux du tableau 4.

<b>Niveaux extrêmes retenus</b>	<b>Hauteur d'eau maximale lors d'un événement extrême pour le scénario « sans élévation du niveau marin »</b>	<b>Hauteur d'eau maximale lors d'un événement extrême pour le scénario « avec élévation du niveau marin »</b>
<b>Submersion temporaire possible</b>	Jusqu'à 4m NGR	Jusqu'à 5m NGR
<b>Submersion temporaire envisageable</b>	Jusqu'à 5m NGR	Jusqu'à 6m NGR
<b>Submersion temporaire improbable</b>	Au-delà de 5m NGR	Au-delà de 6m NGR

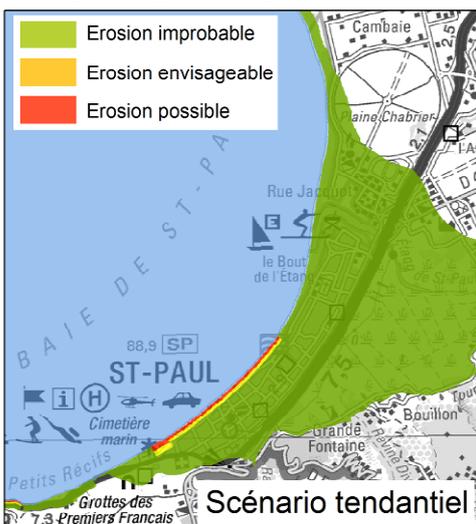
*Tableau 4: Taux de recul retenus pour lesfalaises selon leur morphodynamique actuelle, à l'horizon 2070*

Les altitudes comprises entre 0 et 1m ne sont pas prises en compte car elles sont considérées comme insuffisamment fiables.

## Croisement MNT - niveaux de référence



## Morphodynamique littorale (selon observations)



## Erodibilité

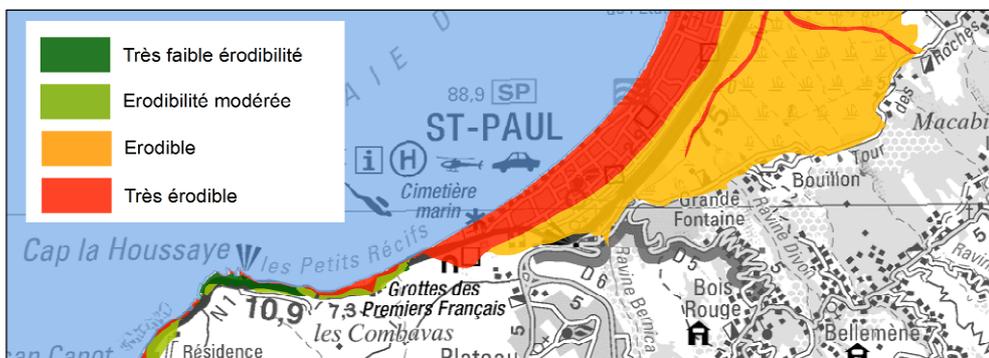


Illustration 2 : Mise en œuvre de l'évaluation des facteurs d'état dans le cas de la zone de Saint Paul.

## 2.2.4. FACTEURS DE FORÇAGE

### 2.2.4.1. EXPOSITION AUX EVENEMENTS EXTREMES

Les différentes façades de la Réunion ne sont pas exposées de la même manière aux événements extrêmes. Par exemple, pour ce qui concerne les vagues, la partie sud et sud-est de l'île est exposée aux houles australes alors que la partie est et nord est exposée aux vagues cycloniques.

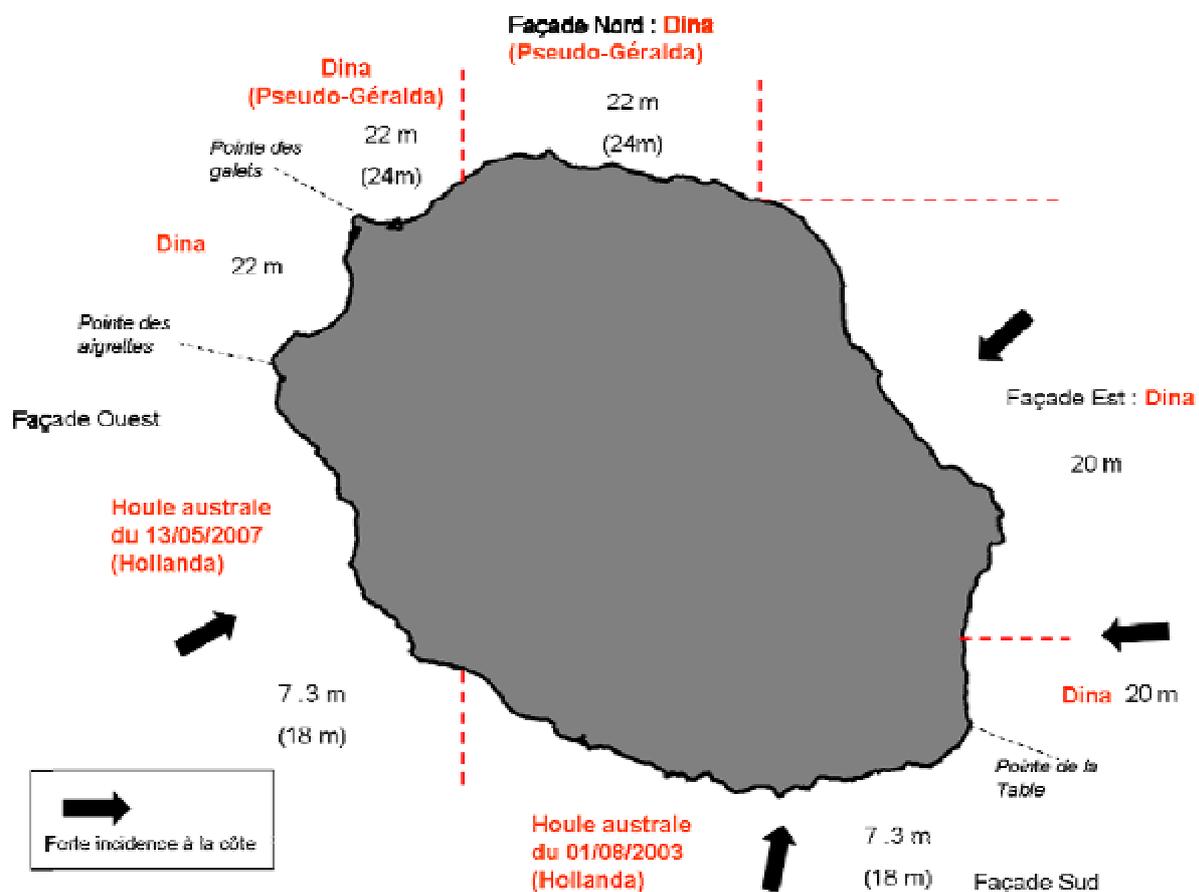


Illustration 3 : Exposition aux houles à la Réunion. Source : Rapport BRGM/RP -57829-FR

Trois types de zones sont distingués :

- Les zones les plus exposées aux cyclones sont les plus défavorisées au regard de ce critère
- En second lieu viennent les zones exposées aux houles australes
- Enfin les zones protégées par un récif

#### 2.2.4.2. DYNAMIQUE ORDINAIRE

Ce critère désigne ici les zones dans lesquelles peut se produire un transit littoral. Le transit littoral à la Réunion est lié aux vagues, il se produit d'est en ouest et affecte en premier lieu les secteurs A, B, C, D, F, G, H : alors que les secteurs E; I ; J , K sont peu affectés.

#### 2.2.5. FACTEURS DE CONTEXTE

Les facteurs de context désignent ici la possibilité, pour une cellule sédimentaire, de bénéficier d'apports extérieurs lui permettant de se recharger en sediments. 3 cas sont ici schématiquement distingués :

- Les zones bénéficiant d'apports sédimentaires importants : il s'agit des zones situées à l'exutoire de grands cônes alluviaux et actuellement en accrétion
- Les zones bénéficiant éventuellement d'apports sédimentaires par production de sables bioclastiques ou débris de falaises : il s'agit des zones situées en retrait de récifs ou de falaises peu cohérentes.
- Les autres zones bénéficient en général d'apports sédimentaires plus faibles.

#### 2.2.6. RESULTAT OBTENU A L'ISSUE DU ZONAGE DETAILLE

**A l'issue de cette étape, la zone côtière définie précédemment est divisée en zones homogènes sur le plan morphodynamique.** Ainsi, chaque zone est construite de telle sorte qu'elle n'ait qu'une unique combinaison d'attributs qui lui soit propre (par exemple en termes d'érodabilité, d'altitude, etc...). Ceci est effectué en intersectant toutes les couches géographiques construites pour chacun des critères : ainsi, si une zone « potentiellement érodée en 2070) comprend une partie « très érodable » et une partie « très peu érodable », elle est coupée en deux. In fine, ces découpages successifs font que l'analyse porte sur près de 50,000 entités. Ce zonage préliminaire a été effectué sous ArcGIS.

### 2.3. MODELISATION CONCEPTUELLE DE MANIERE HIERARCHIQUE ET SYNTHESE DU JUGEMENT

**Dans cette étape, nous utilisons les entités géographiques et les indicateurs de base définis ci-dessus pour les intégrer et les agréger dans un arbre hiérarchique. Nous présentons comment cet arbre hiérarchique et la pondération des différents critères ont**

été définis. Le tableau 5 résume la manière dont l'arbre hiérarchique a été mis en place.

<b>Facteurs</b>	<b>Poids affecté au facteur</b>	<b>Critères</b>	<b>Poids affecté au critère</b>	<b>Phénomènes pris en compte</b>
<b>Facteurs d'état</b>	0.667	Zones potentiellement affectées par l'érosion	0.5	Erodibilité et évolution morphodynamique future
		Zones potentiellement affectées par la submersion	0.5	Submersibilité et niveaux de référence
<b>Facteurs de forçage</b>	0.167	Événements extrêmes	0.84	Cyclones, houle australe
		Dynamique ordinaire	0.16	Transport sédimentaire longitudinal
<b>Facteurs de contexte</b>	0.167	Apports de sédiments externes à la cellule	1	Proximité d'une source d'apports de sédiments et état actuel au regard de l'érosion

Tableau 5: Arbre hiérarchique : poids pour chacun des facteurs et des critères ; processus pris en compte

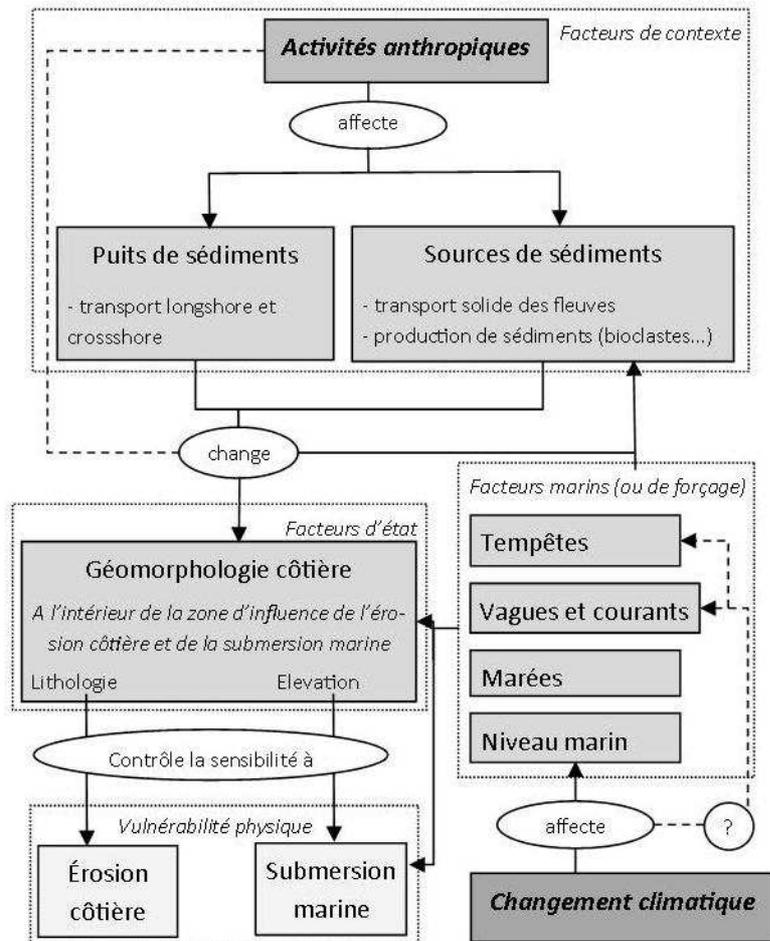
## **2.4. IMPLICATION DU GROUPE DE TRAVAIL**

L'implication du groupe de travail BRGM a notamment permis d'affiner la classification concernant l'érodibilité. Le compte rendu de cette réunion est présenté en annexe. D'autre part, des recommandations en termes de communicabilité des résultats ont été formulées.

## **QUESTIONS-REPNSES SUR LA METHODE UTILISEE :**

**Comment se justifient les critères utilisés pour la méthode AHP à l'échelle nationale et à l'échelle des zooms (zoom Languedoc et zoom La Réunion) ?**

La figure ci-dessous présente schématiquement les relations entre les différents facteurs et processus contrôlant la vulnérabilité physique du littoral. Ces critères sont donc choisis car ce sont ceux qui expliquent la mobilité du trait de côte aux échelles de temps pluri-décennales. Ils peuvent être évalués ou approchés à l'aide d'une donnée existante : par exemple, la sensibilité à l'érosion de la lithologie peut être évaluée à partir d'une carte lithologique ou géologique, avec l'aide d'un géologue spécialiste des formations récentes. Dans certains cas (effets des activités anthropiques sur la géomorphologie côtière, via des terrassements par exemple), les changements ne sont pas pris en compte car non prédictibles. Notons que dans des études précédentes (Exemple : Gornitz et al., 1991 ; Eurosion, 2004), les critères choisis étaient similaires.



## **Pourquoi travailler sur l'évaluation d'une vulnérabilité physique et non pas sur l'évaluation de deux aléas (érosion et submersion) ?**

Les méthodes consistant à évaluer séparément l'aléa submersion puis l'aléa érosion donnent des résultats incertains (Voir Yates et al., 2011). In-fine, elles ne permettent pas de savoir si telle zone sera effectivement affectée ou non par une érosion ou une submersion aggravée avec un degré de confiance suffisant, ce qui limite la capacité de ces méthodes à fournir une aide à la décision. On note également que les processus d'érosion et de submersion interagissent aux échelles de temps pluri-décennales : par exemple, si la bathymétrie proche se creuse, les caractéristiques des vagues à la côte seront différentes, modifiant ainsi l'aléa submersion.

Dans l'étude Explore 2070, le Lot 6 a fourni une base de données SIG répondant à la question : « **quelle sont les zones côtières les plus sûres (ou les plus dangereuses) au regard de l'aggravation des aléas côtiers érosion et submersion d'ici à 2070 ?** ». Contrairement aux approches dans lesquelles on essaie d'évaluer de manière très déterministe chacun des aléas, notre approche se propose ainsi d'évaluer à long terme la vulnérabilité physique des zones côtières à l'érosion et la submersion. "La vulnérabilité physique" signifie ici la «sensibilité de l'environnement physique, des zones côtières elles-mêmes», à des risques d'érosion et de submersion dans le contexte du changement climatique (voir Romieu et al., 2010).

### **Que représente le classement final ?**

Le classement final représente l'importance de la vulnérabilité de chaque entité relativement à toutes les autres. Ainsi, dans le cas des « Zooms », si 3 entités obtiennent les scores 0.1, 0.4 et 0.5, la plus vulnérable sera la 3<sup>ème</sup>, suivi de la 2<sup>ème</sup>, puis de la 1<sup>ère</sup>. On pourra dire également que la vulnérabilité de la 2<sup>ème</sup> et de la 3<sup>ème</sup> entité sont relativement proches. Conséquence pratique : dans le cas où l'on souhaite construire une infrastructure de durée de vie longue pour laquelle on souhaite qu'elle soit le plus épargnée possible des aléas érosion et submersion, il sera préférable de l'installer dans l'entité 1. Cependant, une autre entité pourra être préférée si par exemple, pour des raisons économiques, on souhaite que l'infrastructure soit plus accessible. Dans ce cas, les coûts de l'adaptation de l'infrastructure à l'aggravation des aléas érosion et submersion pourront être évalués dans le cadre d'une analyse coûts-avantages.

### **3. RESULTATS**

Ce chapitre présente les résultats obtenus : la base de données livrée et sa structure, puis une représentation cartographique des classements effectués.

#### **3.1. STRUCTURE DE LA BASE DE DONNEES SIG LIVREE**

La base de données livrée comprend 51620 entités géographiques classées selon les deux scénarios. La table attributaire comprend les champs suivants :

- FID : numéro de l'entité ;
- SHAPE : géométrie de l'entité (Polygone) ;
- AHP\_Tr : Index de vulnérabilité physique obtenu dans le scénario tendanciel. La somme des 51620 index de vulnérabilité physique est de  $10^5$ <sup>(2)</sup> ;
- AHP\_NM : Index de vulnérabilité physique obtenu dans le scénario avec élévation du niveau marin. La somme des 51620 index de vulnérabilité physique est de  $10^5$  ;
- RG\_Tr : rang de l'entité (compris entre 1 et 51620) à l'issue du classement dans le scénario tendanciel ;
- RG\_NM : rang de l'entité (compris entre 1 et 51620) à l'issue du classement dans le scénario avec élévation du niveau marin ;
- ECART : présente, pour chaque entité, l'écart de classement entre les deux scénarios. Il est égal à la différence  $RG\_Tr - RG\_NM$  divisée par  $100 \times 51620$  ( $ECART = (RG\_Tr - RG\_NM) / (100 \times 51620)$ ).

Les données peuvent être représentées aux échelles comprises entre 1 :25 000 et 1 :100 000.

#### **3.2. REPRESENTATION CARTOGRAPHIQUE DES CLASSEMENTS EFFECTUES**

Une représentation cartographique de la base de données livrée est présentée en Annexe (cartes 1 :25000) et posters. Nous présentons ici la représentation cartographique pour trois

---

<sup>2</sup> Le fait de mettre en facteur  $10^5$  permet de limiter la taille de la base de données.

zones vulnérables : Saint Paul, Sainte Suzanne et l'Etang Salé.

Les deux scénarios sont effectués indépendamment. Aussi, il convient de ne pas comparer entre elles les cartes des scénarios tendanciel et avec élévation du niveau marin. Chaque carte peut être utilisée indépendamment, pour tester la robustesse d'une mesure d'adaptation à plusieurs scénarios.

### 3.2.1. SCENARIO TENDANCIEL

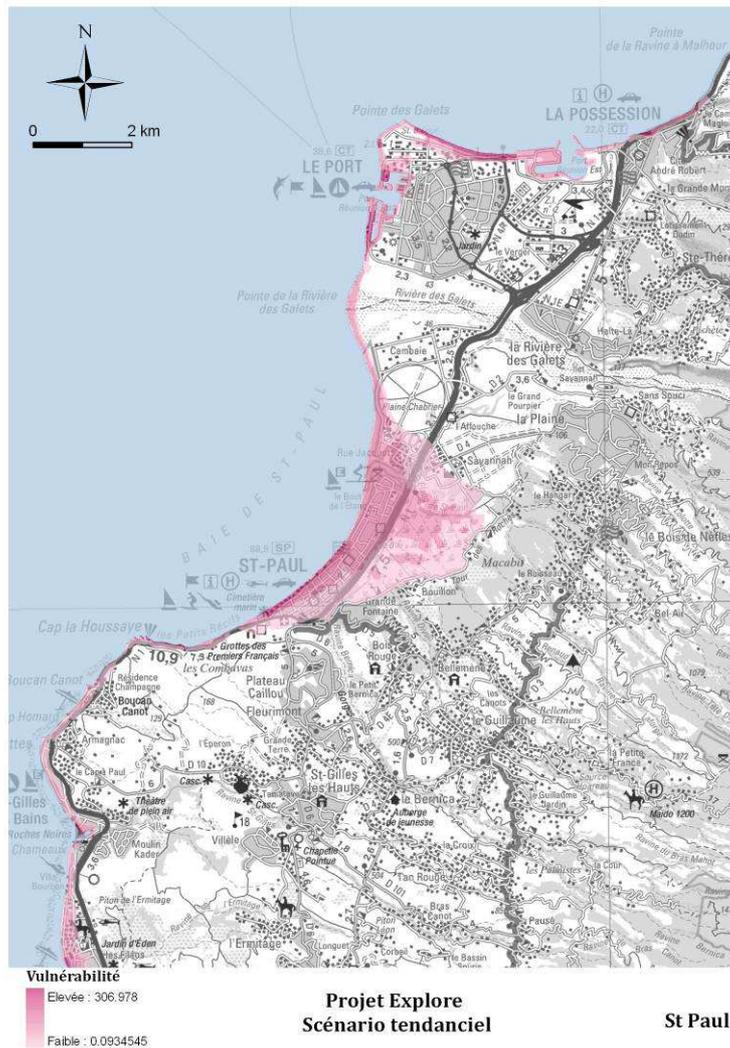


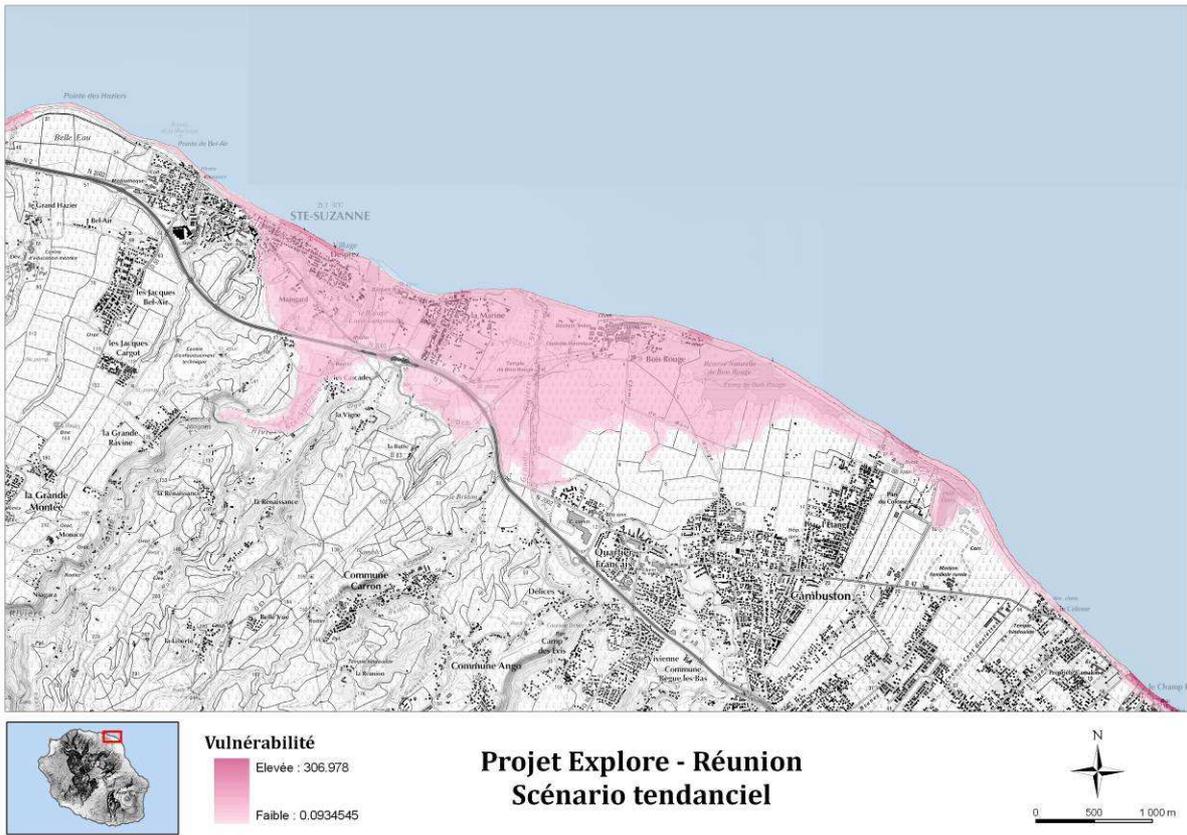
Illustration 4 : Carte de vulnérabilité physique : zone du Port et de Saint Paul.



**Projet Explore  
Scénario tendanciel**

**St-Louis**

Illustration 5 : Carte de vulnérabilité physique : zone de l'Etang Salé.



*Illustration 6 : Carte de vulnérabilité physique : zone de Saint Suzanne.*

### 3.2.2. SCENARIO AVEC ELEVATION DU NIVEAU MARIN



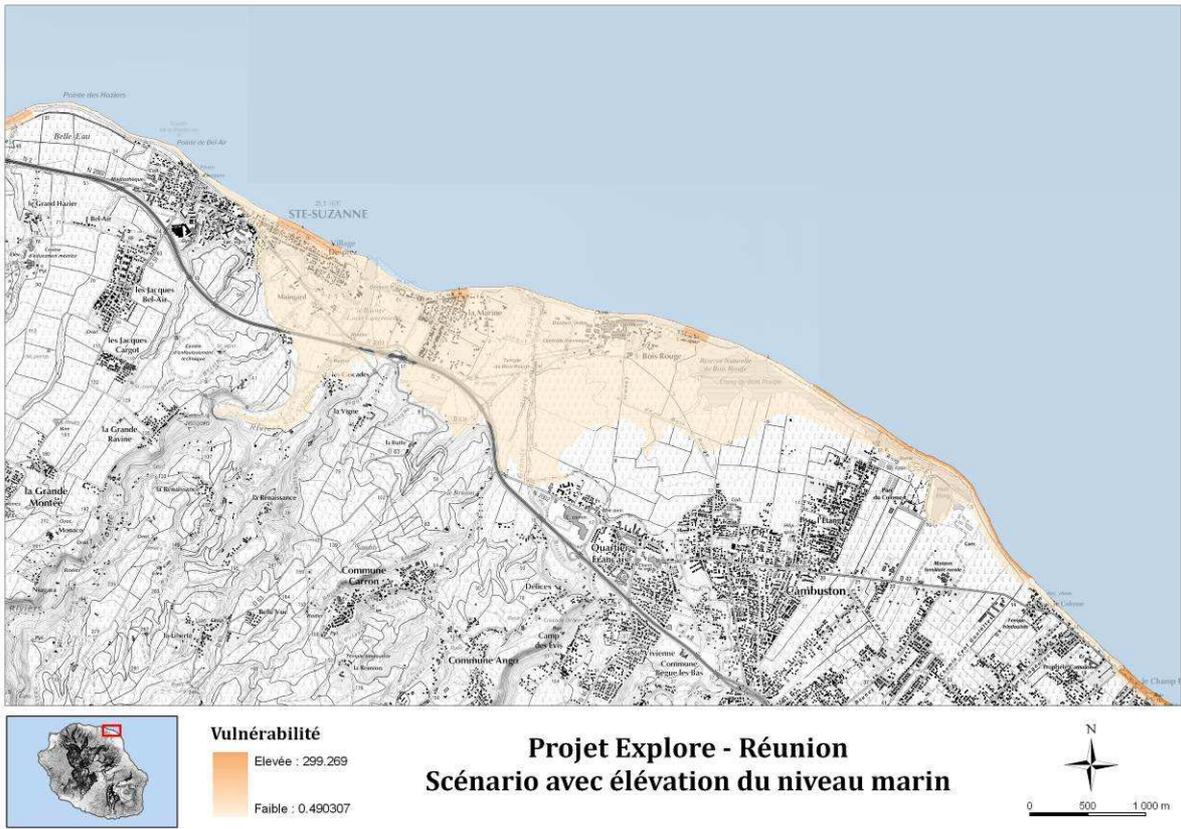
Illustration 7 : Carte de vulnérabilité physique : zone du Port et de Saint Paul.



**Vulnérabilité**  
 Élevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

**Projet Explore**  
**Scénario avec élévation du niveau marin St Louis**

Illustration 8 : Carte de vulnérabilité physique : zone de l'Étang Salé.



*Illustration 9 : Carte de vulnérabilité physique : zone de Saint Suzanne.*

## 4. DISCUSSION

### 4.1. ANALYSE DES RESULTATS

Dans les deux scénarios (tendancier et avec élévation du niveau marin), les résultats présentés mettent en évidence la vulnérabilité physique plus importante des **zones basses**, notamment l'Etang Salé, Sainte Suzane et Saint Paul. Les autres zones vulnérables sont les plages de sable et de galets ainsi que les falaises érodibles.

### 4.2. SENSIBILITE DES RESULTATS A DES DIFFERENCES DE JUGEMENT D'EXPERTS

Ce paragraphe examine la question de la sensibilité des résultats à des différences de jugement d'experts. Si le jugement d'expert a bien pour but de modifier le classement des entités de telle sorte que l'on aboutisse à une représentation vraisemblable de la vulnérabilité à l'échelle de l'île, il faut s'assurer que des jugements qui auraient pu éventuellement être émis par les experts n'aboutiront pas à modifier davantage le rang des entités que les deux scénarios avec ou sans élévation du niveau marin.

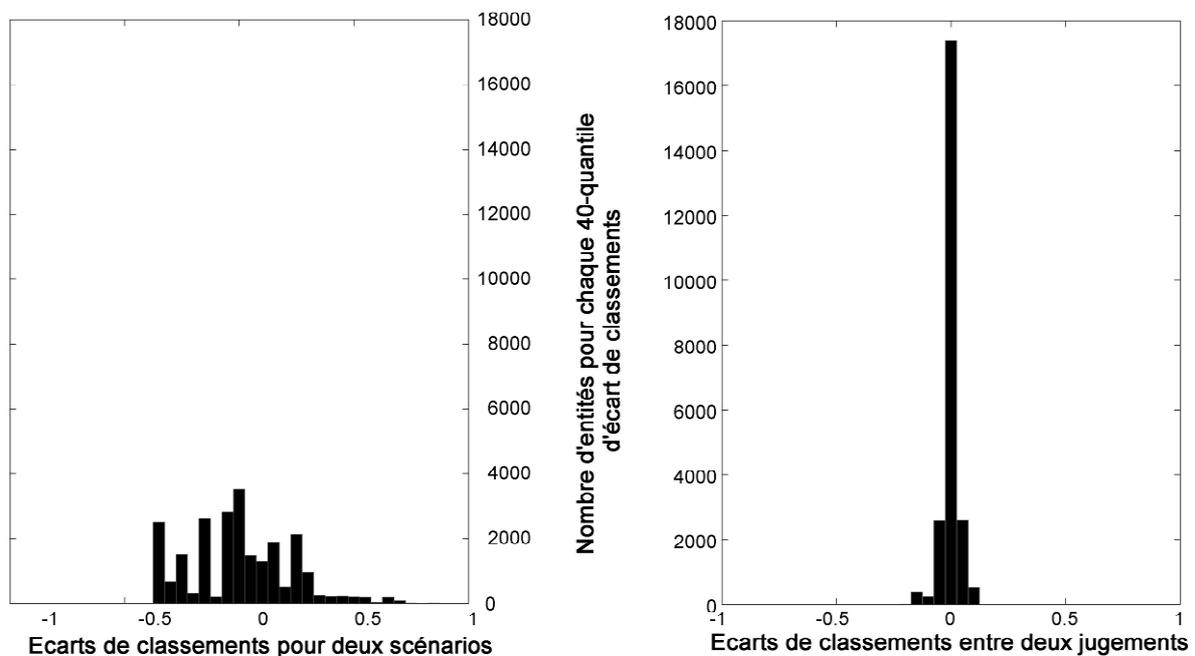


Illustration 10 : Ecart de classements pour (à gauche) deux scénarios avec et sans élévation du niveau marin et (à droite) des jugements différents au niveau des critères

Dans la figure ci-dessus, nous testons comment les entités subissent des changements de classement relatifs pour deux cas : dans le premier (figure de gauche), il s'agit des écarts de classements entre le scénario avec élévation marin et le scénario sans élévation du niveau marin. Dans le deuxième cas (figure de droite), il s'agit des écarts de classement pour la prise en compte de poids relatifs différents pour les facteurs d'état, de contexte et marins. On teste ici le cas dans lequel les facteurs d'état, de contexte et marins prendraient la même importance par rapport au cas retenu à l'issue de la réunion du groupe de travail BRGM. Ce jugement alternatif, bien que non retenu, avait été évoqué pendant la réunion d'experts. Comme il s'applique à la phase finale de l'arbre hiérarchique, il a des conséquences assez importantes sur les écarts de classement comparativement à une situation dans laquelle on aurait évalué les effets de différences de jugements portant sur des critères situés plus bas dans l'arbre hiérarchique.

<b>Facteurs</b>	<b>Poids affecté au facteur pour le jugement retenu dans cette étude</b>	<b>Poids affecté au facteur pour un jugement alternatif</b>
<b>Facteurs d'état</b>	0.667	0.33
<b>Facteurs de forçage</b>	0.167	0.33
<b>Facteurs de contexte</b>	0.167	0.33

*Tableau 6: Arbre hiérarchique : poids pour chacun des facteurs et des critères pour le jugement retenu et un jugement alternatif*

L'étalement plus important de l'histogramme dans la figure de gauche montrant les écarts de classement pour les deux scénarios montre que le fait de prendre en compte deux scénarios différents a plus d'effets sur des changements de classements que le fait d'émettre un jugement sensiblement différent pour les facteurs d'état, marins et de contexte. Nous concluons donc que la méthode est relativement robuste à des écarts de jugements émis par les experts.

#### **4.3. MISE EN ŒUVRE DE LA METHODE A LA REUNION**

Si l'on compare la mise en œuvre de la méthode sur les deux zooms 'La Réunion' et 'Languedoc-Roussillon', nous notons que :

- Les taux d'érosion calculés pour le Languedoc Roussillon étaient relativement robustes : ils résultaient de la prise en compte de nombreux traits de côtes historiques (Donnée DREAL) et d'un travail d'homogénéisation des taux de recul à l'échelle régionale (Yates et al., 2011).

- En revanche, les différentes données SIG utilisées à La Réunion étaient mieux positionnées les unes par rapport aux autres, malgré une difficulté résultant de l'existence de deux systèmes de projection (RGR92 et Piton des Neige) pour lesquels il n'existe pas de transformation inversible. Nous avons noté en particulier le meilleur positionnement du trait de côte, alors qu'en Languedoc-Roussillon, des écarts importants ont pu être constatés (parfois localement du même ordre de grandeur que les changements prédits)

Dans les deux cas, il ne serait pas difficile de lever ces difficultés dans le cadre d'une action visant à mettre à jour les données de la zone littorale. Aussi, les cartes présentées ici ne sont pas définitives et pourront être améliorées avec la prise en compte de données mises à jour.

#### **4.4. INCERTITUDES**

Le tableau 8 présente une estimation qualitative des incertitudes dans cette étude (en suivant l'approche de Bell et Glade, 2004). Leur importance a été évaluée de manière qualitative en utilisant l'approche AHP pour évaluer leur importance relative. L'analyse de sensibilité présentée ci-dessus a notamment permis d'appuyer ces évaluations.

Ce tableau met en évidence le fait que les incertitudes les plus significatives proviennent des limites des modèles conceptuels utilisés pour évaluer la mobilité du trait de côte et la submersion future. Ce tableau pourrait être utilisé pour communiquer sur les incertitudes avec les utilisateurs.

En dépit des incertitudes liées à cette approche, deux groupes d'experts réunis ont estimé que les cartes qui en résultent demeurent utiles, car elles intègrent les connaissances existantes sur la vulnérabilité à l'élévation du niveau de la mer.

Cependant, la question de l'exposition aux risques côtiers à la Réunion doit être évaluée dans le contexte plus large des approches "multi-risques" (voir par exemple Vecchia, 2001; Grünthal et al, 2006;. Douglas, 2007). De telles approches peuvent favoriser la construction d'infrastructures dans les zones où la menace est faible dans son ensemble, que cette menace soit liée à l'érosion côtière, à la submersion marine ou d'autres aléas indépendants, tels que les mouvements de terrain, les inondations, ou même le volcanisme.

Source d'incertitude	Incertainité	Justification	Significativité	Améliorations possibles
Positionnement des données SIG	LR: Haute REU: Faible	Manque d'exactitude dans le positionnement relatif des données; Hétérogénéité des méthodes de constitution des BD SIG.	Moyenne	Méthodes de cartographie standardisées; définitions conjointes de limites (ex: trait de côte).
Qualité des données SIG	LR: Moyenne REU : Faible	Résolution insuffisante. Précision et justesse insuffisante pour certaines données (Ex : MNT en LR)	Moyenne	Méthodes de cartographie standardisées; Interactions entre producteurs de données et utilisateurs
Zonage préliminaire	Moyenne	Zonage imprécis	Très faible	-
Zonage élémentaire	LR: Haute REU: Très haute	Limitations des modèles; manqué de données (REU)	Très forte	Nouveaux concepts ? Nouveaux modèles ?
Aggrégation et pondération	Moyenne	Subjectivité	Moyenne	Limitation intrinsèque à l'approche multicritères
Validation des groupes d'"experts"	Haute	Subjectivité	Très forte	Acquisition de davantage de données ; Capitalisation et partage des données existantes
Interactions entre processus locaux et régionaux	Haute	Non pris en compte.	Forte	Acquisition de davantage de données; Constitution de bases de données. Capitalisation de bases de données. Autres approches ?

*Tableau 7: Evaluation qualitative des incertitudes concernant la vulnérabilité physique en Languedoc-Roussillon (LR) et de La Réunion (REU) (Suivant l'approche de Bell et Glade, 2004).*

#### **4.5. PERSPECTIVES D'UTILISATION**

Comme dans le cas de Languedoc-Roussillon, ces données peuvent être utilisées pour envisager des aménagements de longue durée de vie dans des zones peu vulnérables aux risques côtiers dans le contexte du changement climatique. Une approche multi-aléas est nécessaire pour mener jusqu'au bout une telle étude (prise en compte des mouvements de terrain également). Comparativement à des travaux effectués plus précisément dans le cadre par exemple de PPR, cette approche permet d'introduire des périodes de temps long dans la décision et des incertitudes associées.

## **5. CONCLUSION**

La méthode mise en œuvre dans le cadre du projet a permis d'évaluer et de cartographier la vulnérabilité du milieu physique à l'érosion et à la submersion marine, pour La Réunion, à l'horizon 2050-2070, dans deux scénarios : scénario tendanciel et avec élévation du niveau marin.

A l'issue de ces travaux, les entités territoriales homogènes sur le plan de leur évolution morphodynamique les plus vulnérables ont été identifiées, cartographiées et classées de la plus vulnérable à la moins vulnérable. Les résultats sont présentés sous la forme de cartes dans ce rapport, à titre d'illustration et à une échelle réduite. Une base de données SIG permettant d'effectuer des traitements ultérieurement dans le cadre de l'intégration du projet (Lot intégrateur) est livrée. Les données peuvent être représentées aux échelles comprises entre 1 :100 000 et 1 :25 000.

L'élévation du niveau marin supposée pour 2070 est de 1m. Si le choix se portait pour une élévation intermédiaire (par exemple 0.5m), il suffirait d'imaginer une carte intermédiaire entre les deux scénarios présentés ici.

Ces résultats permettent de souligner une nouvelle fois l'importance de mettre en place des stratégies de réduction des risques côtiers dans les zones basses, en particulier dans les zones de Sainte Suzanne, Saint Paul et l'Etang Salé.

## **6. BIBLIOGRAPHIE**

Bell, R. and Glade, T.: Quantitative risk analysis for landslides □ Examples from BÍldudalur, NW-Iceland, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 4, 117-131, doi:10.5194/nhess-4-117-2004, 2004.

Benumof, B.T. and G.B. Griggs, 1999 : The Dependence of Seacliff Erosion Rates on Cliff Material Properties and Physical Processes: San Diego County, California. *Shore & Beach*, 67, 29-41.

**BLANGY A., DE LA TORRE Y. et VASLET E., avec la collaboration de MALLET C. et DEWEZ T.(2009)** – Morphodynamique des littoraux de La Réunion. Phase 3 : Suivi et gestion de l'érosion côtière sur 12 sites identifiés comme sensibles. BRGM/RP-57431-FR, 101 p., 61 ill.

Del Río, L. and F.J. Gracia, 2009 : Erosion risk assessment of active coastal cliffs in temperate environments. *Geomorphology*, 112, 82-95.

**DE LA TORRE Y.** (2004) – Synthèse morphodynamique des littoraux de La Réunion, état des lieux et tendances d'évolution à l'échelle de l'île. BRGM/RP53307-FR, 118 p., 59 ill., 6 ann.

**DE LA TORRE Y. ; coll. BALOUIN Y. et DEWEZ T. (2006)** – Morphodynamique des littoraux de La Réunion. Phase 2 : estimation de l'érosion côtière sur les sites identifiés comme sensibles. BRGM/RP-55014-FR, 84 p.

De Pippo, T., C. Donadio, M. Pennetta, C. Petrosino, F. Terlizzi, and A. Valente, 2008 : Coastal hazard assessment and mapping in Northern Campania, Italy. *Geomorphology*, 97, 451-466.

Douglas, J. (2007). Physical vulnerability modelling in natural hazard risk assessment, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7, 283-288, doi:10.5194/nhess-7-283-2007

Grünthal, G., A.H. Thieken, J. Schwarz, K. Radtke, A. Smolka, and B. Merz, 2006. Comparative risk assessment for the city of Cologne, Germany – storms, floods, earthquakes, *Nat. Hazards*, 38(1–2), 21–44.

**LECACHEUX S., LE COZANNET G., PEDREROS R., BLANGY A. et DE LA TORRE Y., (2009).** « HOULREU » Quantification de la houle centennale de référence sur les façades littorales de La Réunion. BRGM/RP -57829-FR

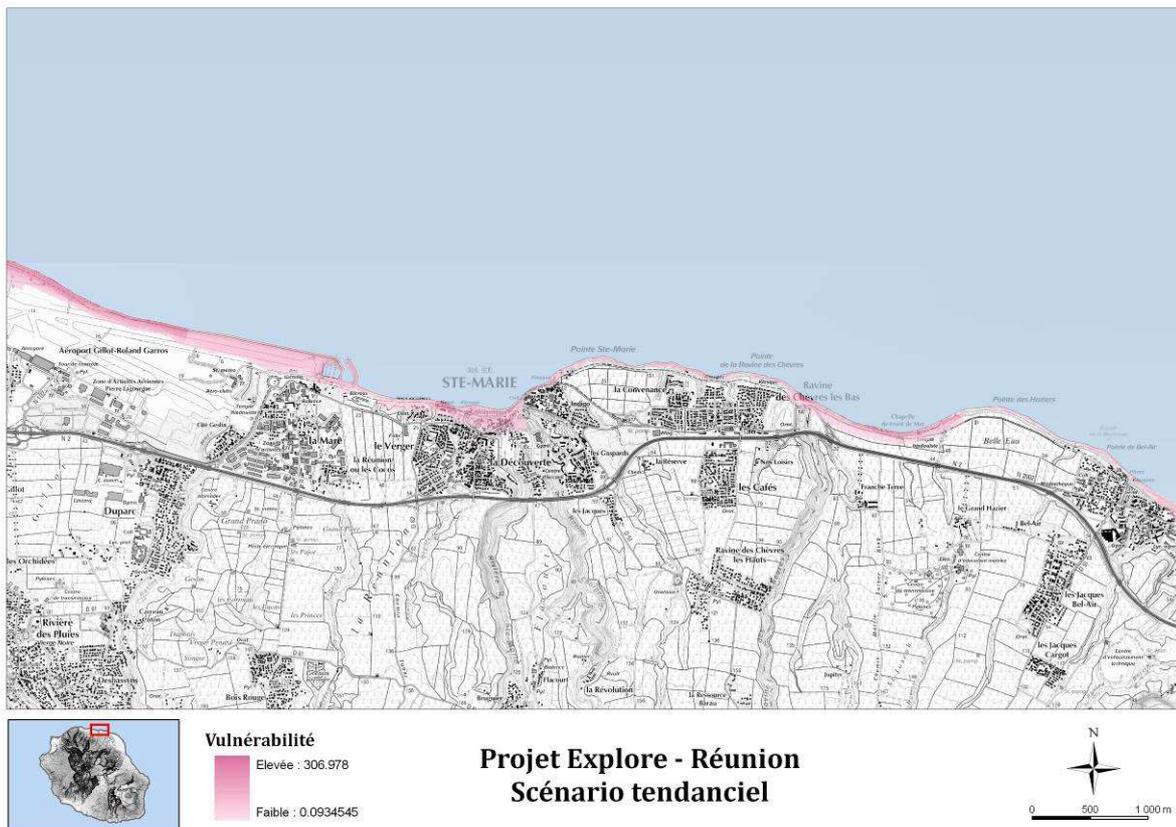
National Research Council, 1987 : Geologic Mapping in the U.S. Geological Survey: Washington, D.C.: National Academy Press, 22 p.

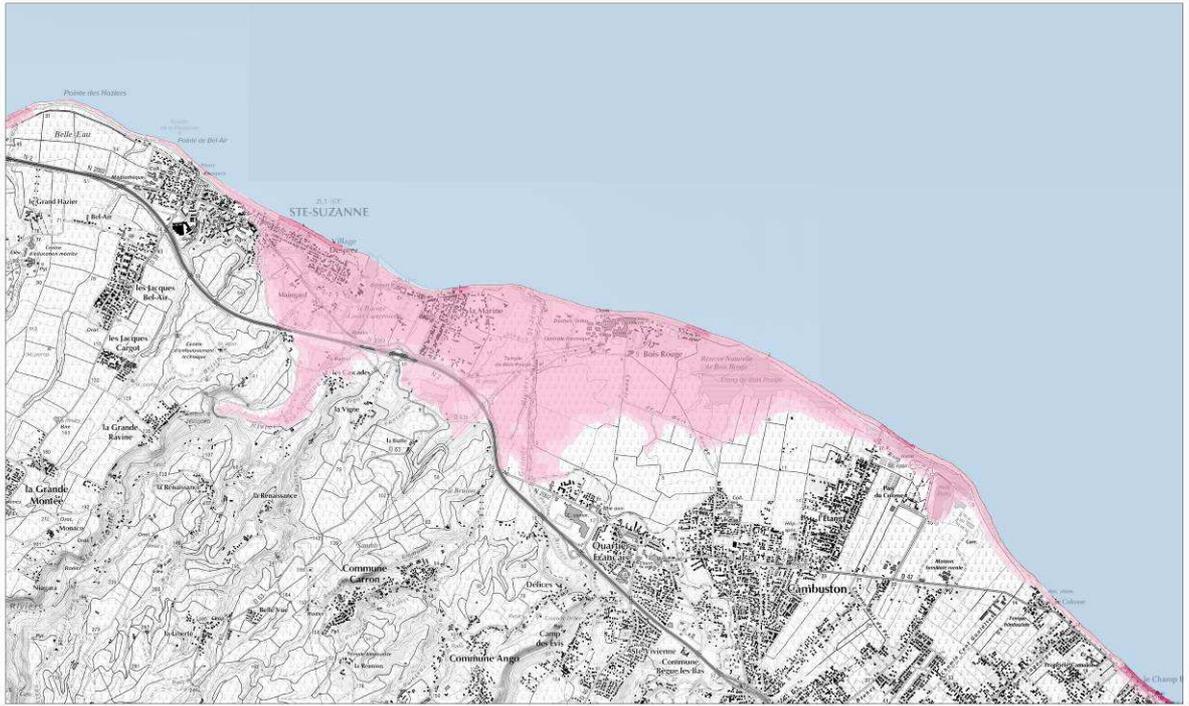
Sunamura T., 1983 : Processes of sea cliff and platform erosion. *In* Komar P. D. (Ed.) : *C.R.C. Handbook of Coastal Process and Erosion*. C.R.C. Press, Boca Raton, 233-265.

Vecchia, A. V. (2001). A unified approach to probabilistic risk assessments for earthquakes, floods, landslides, and volcanoes. Proceedings of a multidisciplinary workshop held in Golden, Colorado November 16–17, 1999., Open-File Report 01-324, U.S. Geological Survey.

Whitehouse, R., P. Balson, S. Blott, H. Burningham, N. Cooper, J. French, G. Guthrie, S. Hanson, A. Houghton, D. Leggett, R. Nicholls, K. Pye, M. Walkden, 2008 : Characterisation and prediction of large scale, long-term change of coastal geomorphological behaviors : Inception Report. Environmental Agency, 156p.

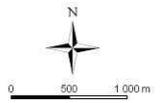
## 7. ANNEXE : CARTES DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE ; SCENARIO TENDANTIEL





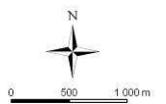
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario tendanciel**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

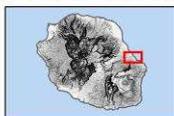
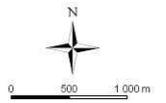
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario tendanciel**





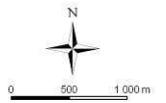
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

**Projet Explore - Réunion  
 Scénario tendanciel**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

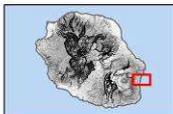
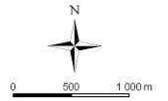
**Projet Explore - Réunion  
 Scénario tendanciel**





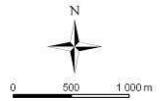
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

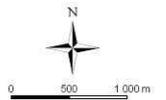
### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel





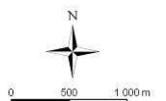
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

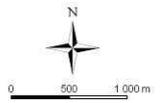
### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel





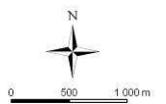
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

**Projet Explore - Réunion  
 Scénario tendanciel**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

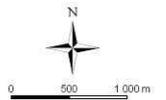
**Projet Explore - Réunion  
 Scénario tendanciel**





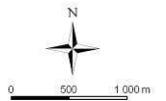
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

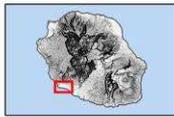
### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

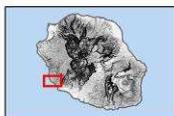
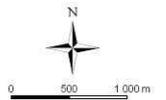
### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel





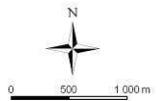
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

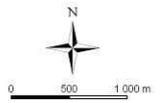
### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel





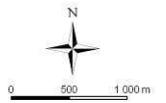
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

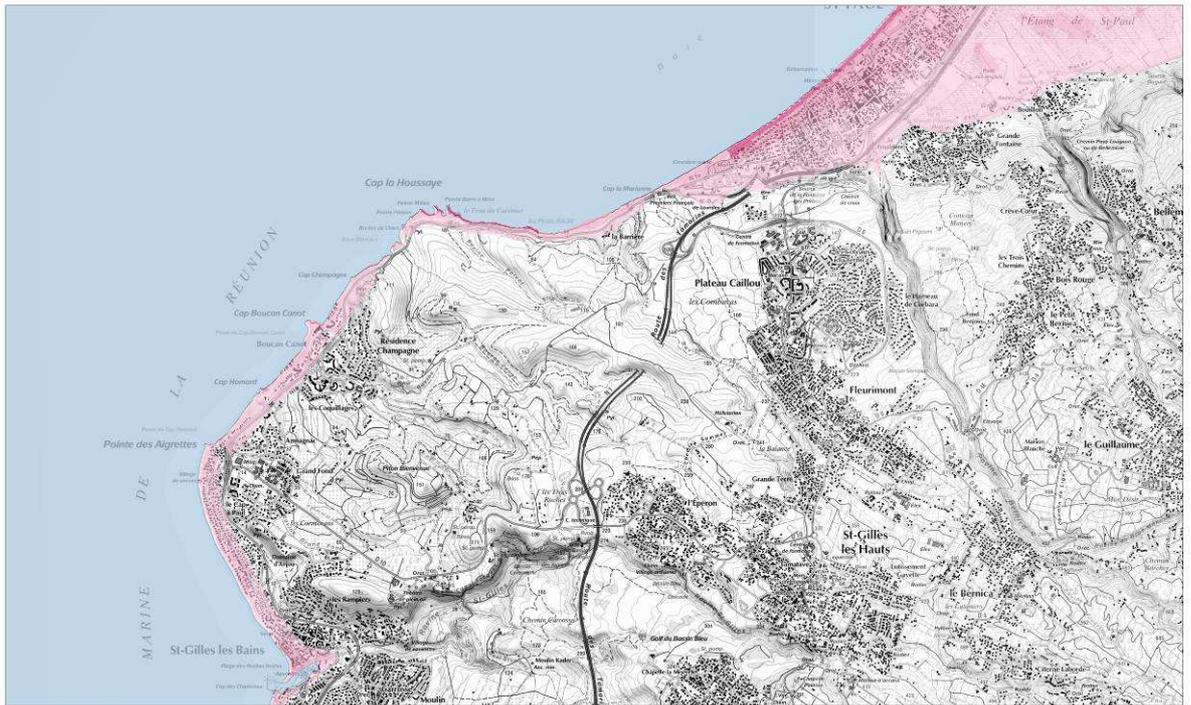
### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

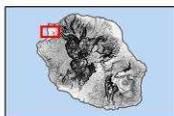
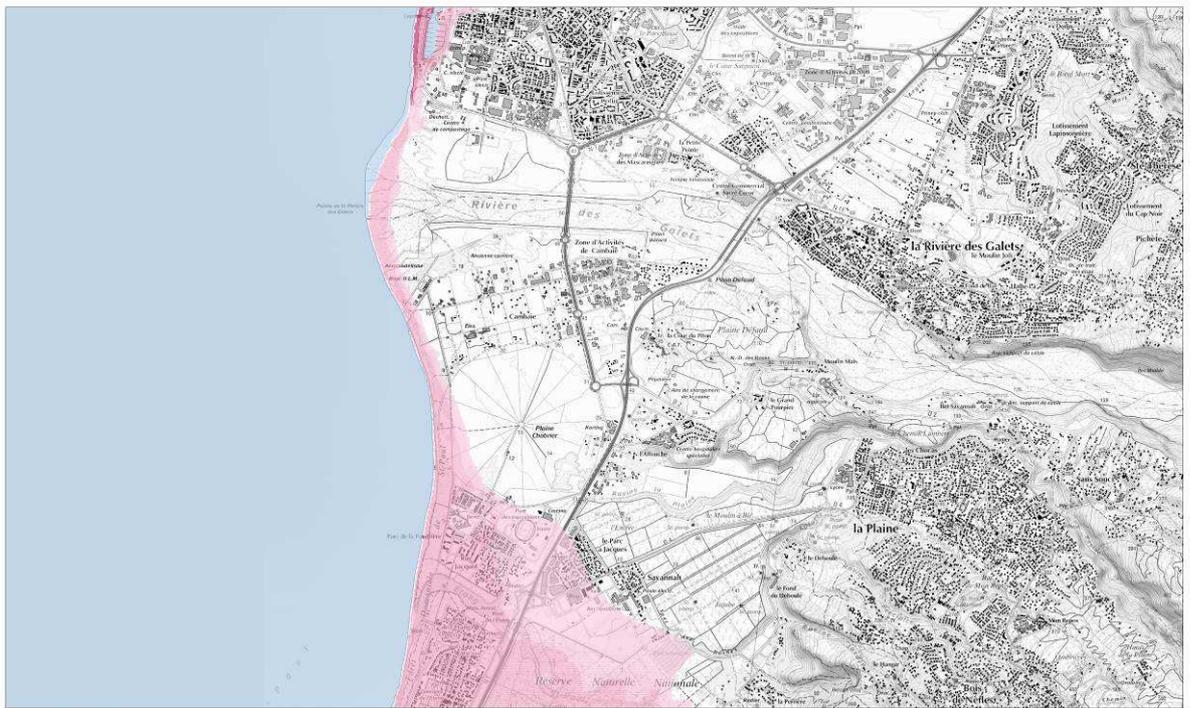
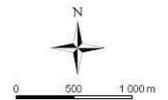
### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel





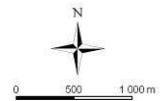
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

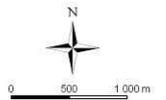
### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel





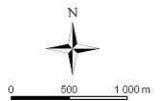
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

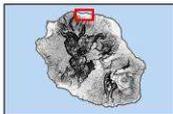
### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

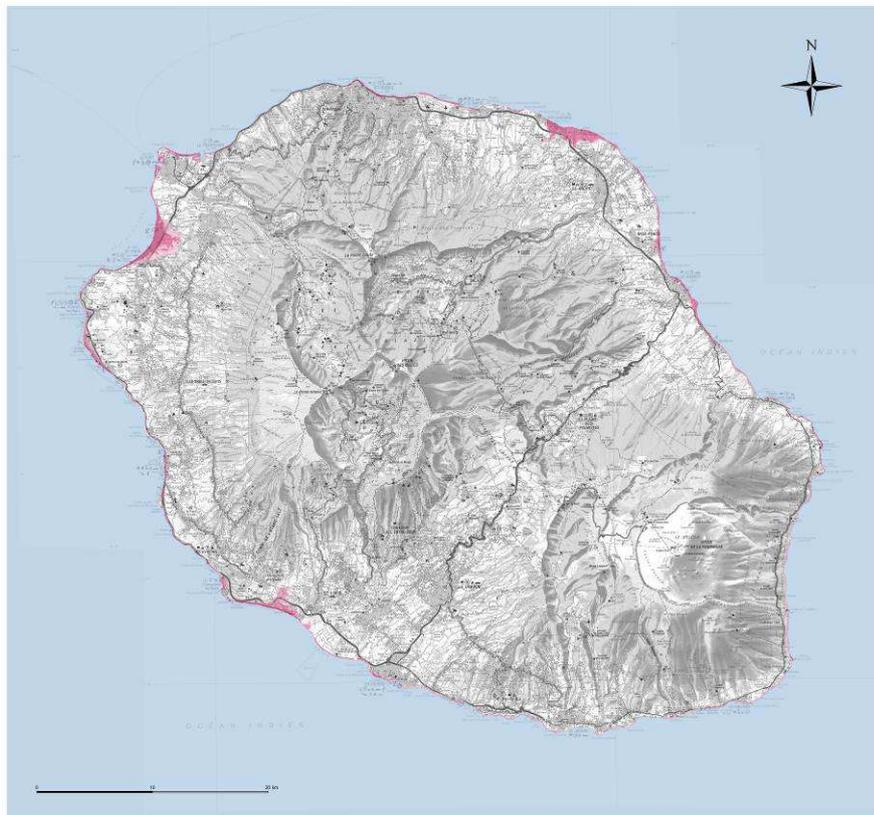
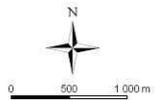
### Projet Explore - Réunion Scénario tendanciel





**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario tendanciel**

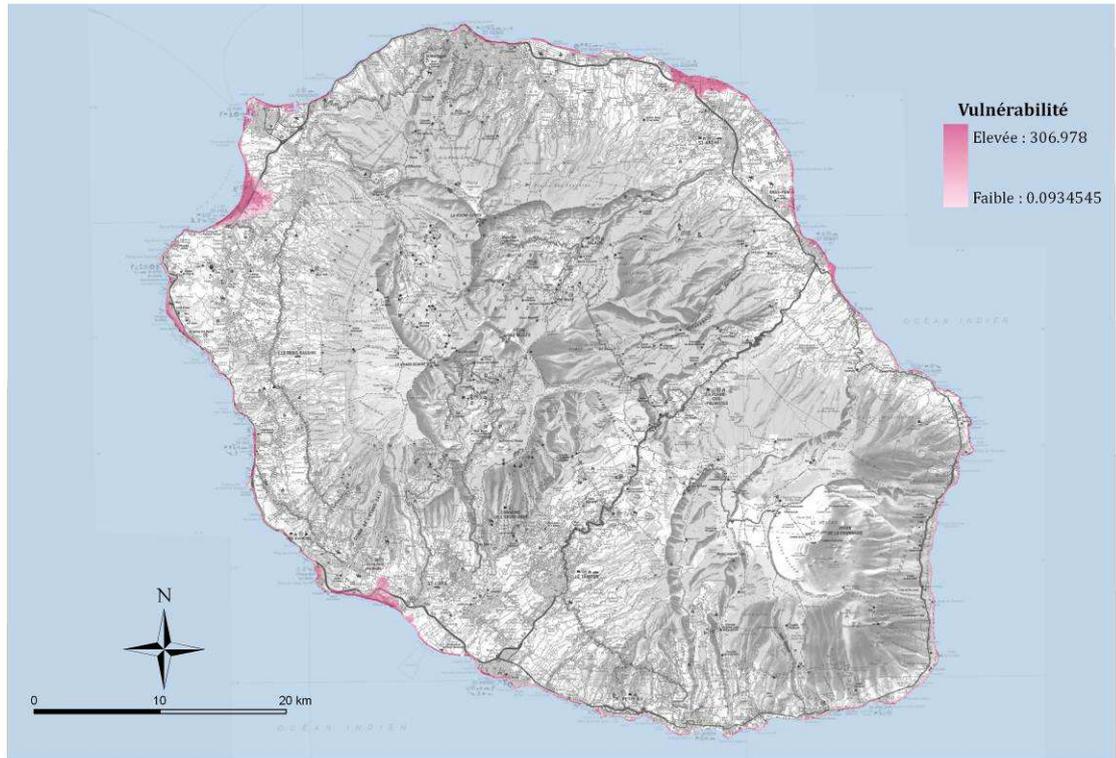


**Projet Explore**  
**Réunion**

Scénario tendanciel

**Vulnérabilité**  
 Elevée : 306.978  
 Faible : 0.0934545

## Projet Explore Réunion - Scénario tendancier

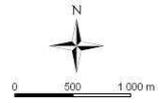


## 8. ANNEXE : CARTES DE LA VULNERABILITE PHYSIQUE ; SCENARIO AVEC ELEVATION DU NIVEAU MARIN



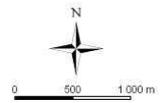
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

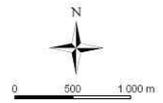
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**





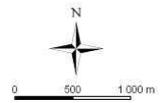
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

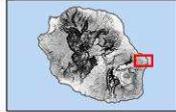
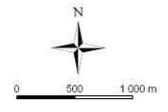
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**





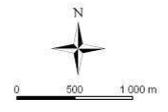
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

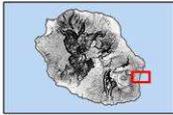
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

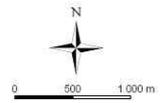
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**





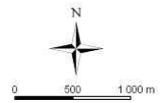
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

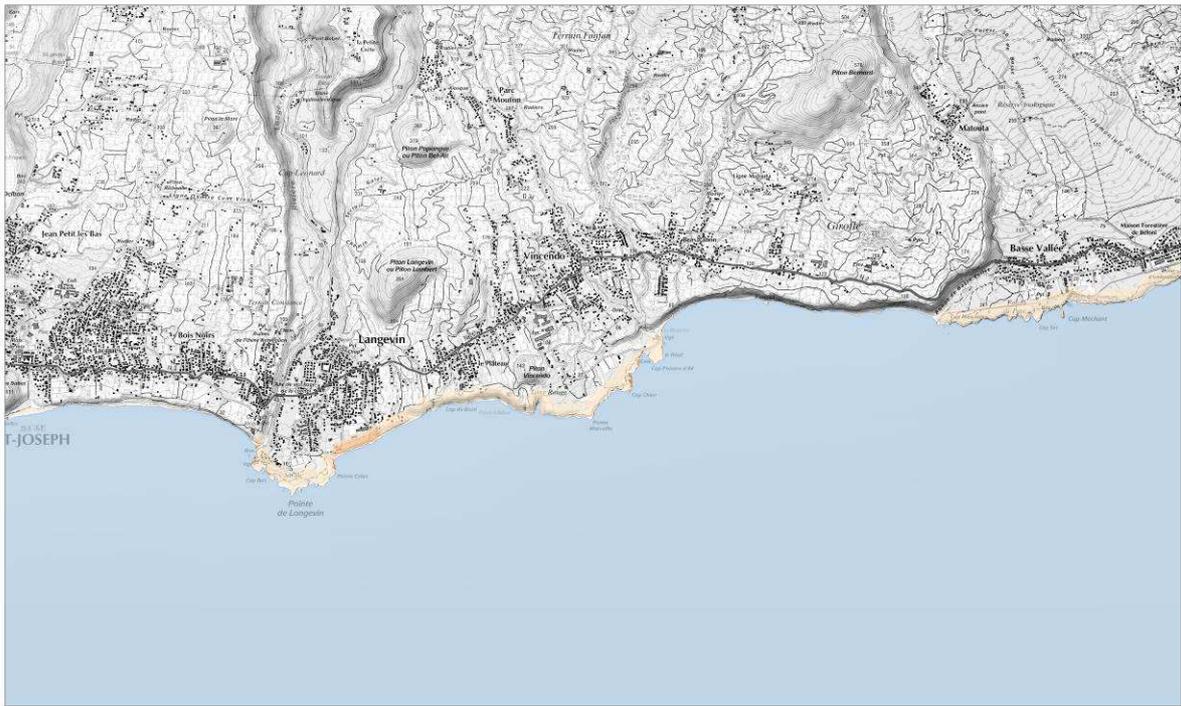
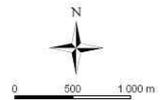
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**





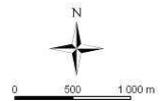
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

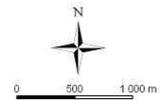
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**





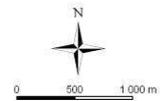
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

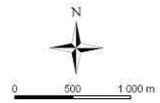
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**





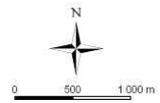
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

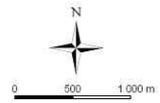
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**





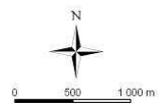
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

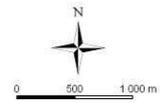
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**





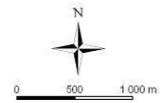
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

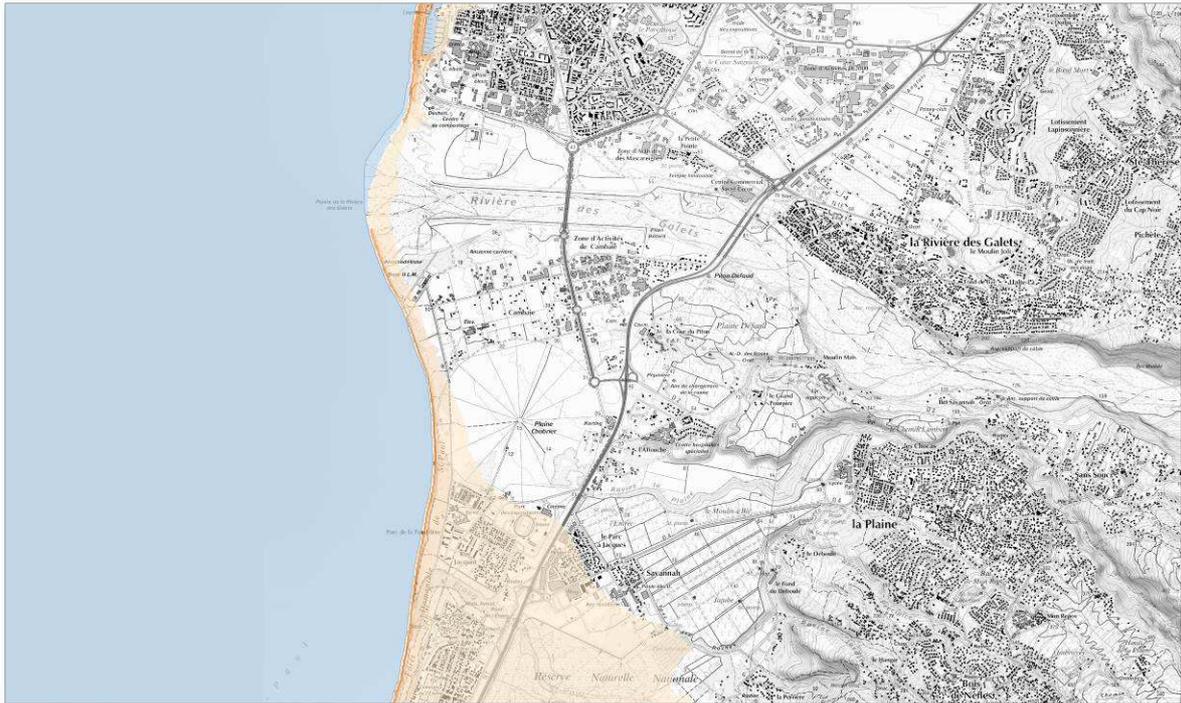
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

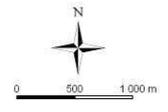
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**





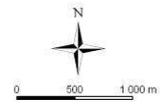
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

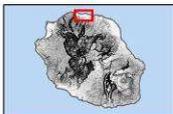
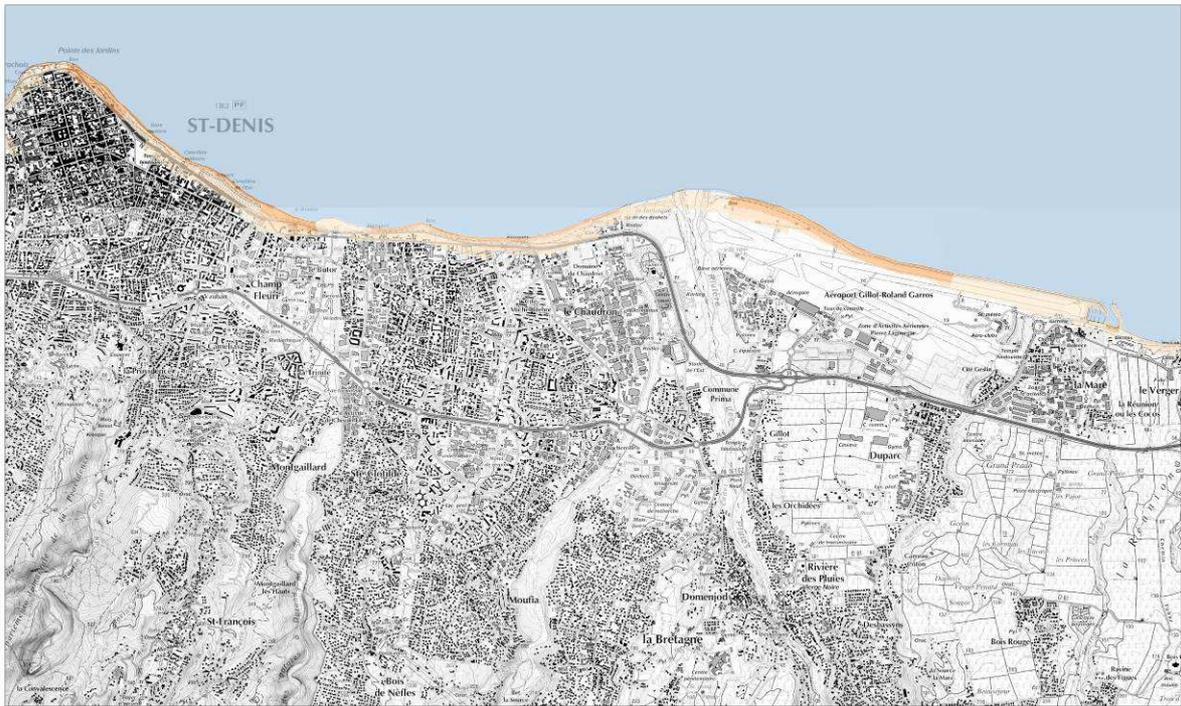
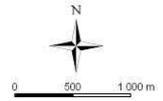
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**





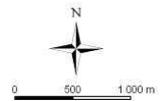
**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

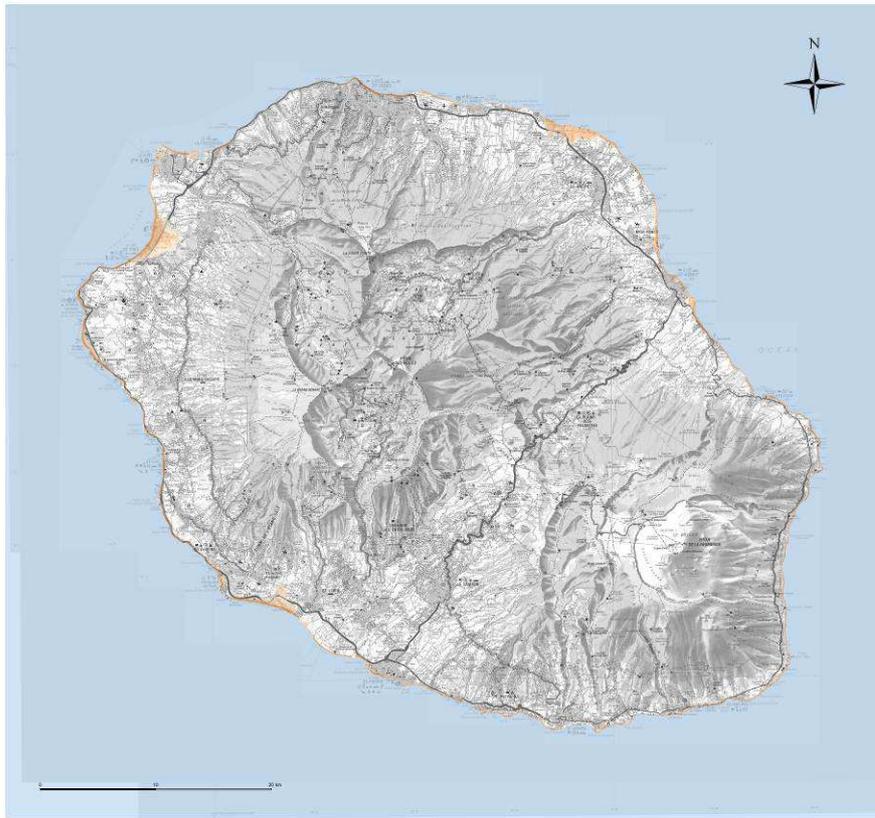
**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**



**Vulnérabilité**  
 Elevée : 299.269  
 Faible : 0.490307

**Projet Explore - Réunion**  
**Scénario avec élévation du niveau marin**





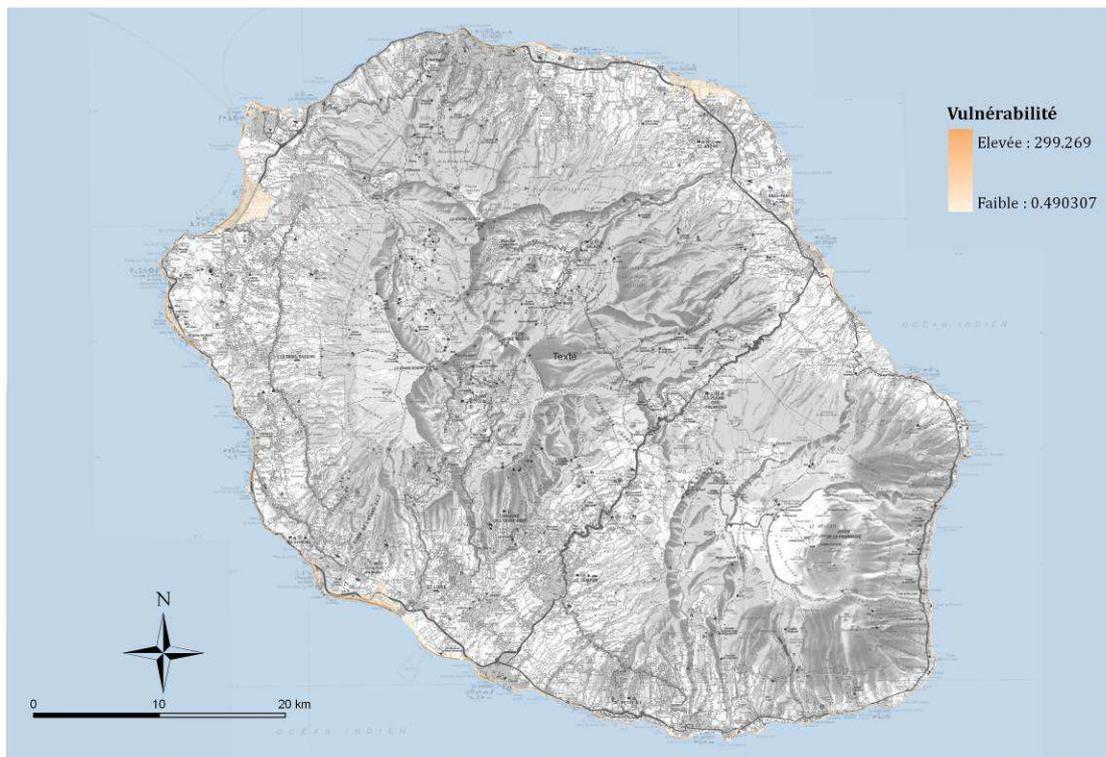
## Projet Explore Réunion

Scénario avec élévation du niveau de la mer

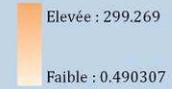
### Vulnérabilité



## Projet Explore Réunion - Scénario avec élévation du niveau marin



### Vulnérabilité



## 9. ANNEXE : COMPTE RENDU DE LA REUNION DU GROUPE D'EXPERTS

Orléans, le 13/04/12

<b>10. <u>COMPTE RENDU DE RÉUNION</u></b>	
Rédacteur : Gonéri Le Cozannet, Entité : RIS/RIC	
Pour une diffusion externe : Visa et nom du responsable :	
Projet : EXPLORE-2070	Numéro : PSP10RNS78
Objet : <b>Compte rendu de la réunion des experts pour le zoom Réunion</b>	
Date : 08/11/10	Lieu : Orléans
Participants : Y. De La Torre, C. Oliveros, M. Garcin, G. Le Cozannet	
Absents :	
Diffusion : Participants + Chef de projet + Severine Bes de Berc + Carola Mirgon	

### RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Résumé : la réunion du groupe de travail BRGM sur le zoom « Explore 2070 – La Réunion » s'est tenue le 13/04/2012 à Orléans. En résumé, le groupe de travail recommande des modifications afin d'améliorer la cartographie. La question de la diffusion et de la communicabilité des données a également été abordée.

Résumé détaillé :

#### **Analyse critique de la cartographie :**

- Montrer dans le rapport dans certains secteurs détaillés comment les différentes couches se comportent localement
- La classification concernant l'érodibilité devrait être remplacée par la suivante :
  - o Très érodible : sables dunaires, plages
  - o Erodible : alluvions (récentes ou anciennes)
  - o Erodibilité modérée : formations pyroclastiques, lahars, éboulis tufs

- Faiblement érodible : coulées basaltiques
- Les valeurs concernant le recul potentiel des falaises sont mal contraintes, mais on ne peut pas facilement proposer d'autres valeurs faute d'une étude des taux de reculs observés à l'échelle de l'île
- S'assurer de (éventuellement revoir) la cohérence des poids donnés à la submersion dans les deux scénarios (problème déjà soulevé par Carola Mirgon).
- Les poids donnés aux « événements extrêmes » vs « dynamique ordinaire » pourraient être revus en donnant une préférence légèrement supérieure pour les « événements extrêmes »

#### **Représentation :**

- La représentation est un aspect clé : conditionne la perception des utilisateurs potentiels
- Il faut faire très attention à la palette de couleurs : serait-il possible qu'il y ait une palette de couleurs du blanc au rouge ? Il faut que les palettes de couleur sont bien distinctes d'un scénario à l'autre.
- D'autre part, il ne faut représenter que les entités dont la vulnérabilité n'est pas négligeable (supprimer les autres)

#### **Communicabilité des résultats**

- Bien conserver dans le rapport la séparation des scénarios
- Revoir et bien mettre en exergue le mode d'utilisation des données (choix d'un scénario par des utilisateurs devant décider d'un aménagement à durée de vie  $\geq$  à 60 ans.

Ywenn De La Torre souligne que ces résultats pourraient être utiles dans le cadre des exercices de prospective et de planification des SAR (schéma d'aménagement régional) et SMVM.

La cartographie réalisée est complémentaire de celle des PPR : les PPR sont mis en place à l'échelle locale, en vue de planifier le territoire à l'échelle de la commune. Les cartes proposées dans le lot 6 peuvent être utilisées dans des réflexions prospectives de développement et d'évaluation des stratégies d'adaptation à l'échelle régionale. Elle donne une vision régionale qui pourra être améliorée avec de nouvelles données ou approches.

Carlos Oliveros recommande que les résultats soient portés à la connaissance de la DEAL/Réunion une fois l'étude stabilisée et après que le chef de Projet Meddtl aura donné son accord.

Suite : Gonéri fait un retour vers le chef de projet. Avec son accord, il voit avec Carola sous

quels délais les changements demandés peuvent être apportés (répartition du travail Gonéri/Carola à définir). Ensuite, une nouvelle cartographie sera présentée au groupe d'experts.

Action	Responsable	Délai	Soldé
Implémenter les résultats des experts	G. Le Cozannet, Carola Mirgon	A définir	