

# Rapport de présentation de la cartographie des risques d'inondations sur le TRI de Saint-Paul

## 1 - Introduction

La directive européenne du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation, dite Directive Inondation (DI), impose l'élaboration des cartes des surfaces inondables et des cartes des risques d'inondation dans les TRI (Territoires à Risque Important d'inondation).

L'objectif premier de la cartographie est de contribuer à la connaissance de l'exposition des enjeux aux inondations pour éclairer notamment la mise à jour des plans de gestion des risques d'inondation.

Les objectifs devant guider l'utilisation des cartes élaborées par l'État sont les suivants:

- guider et encadrer les choix d'aménagement du territoire afin d'assurer la sécurité et la salubrité publique ;
- limiter le coût des dommages liés aux inondations et d'une manière générale ne pas aggraver et même réduire la vulnérabilité du territoire ;
- assurer l'information de la population ;
- participer à la préparation et à la gestion de l'événement d'inondation, notamment en évitant, par les choix d'aménagement ;
- compliquer exagérément la gestion de la crise.

Dans le district de La Réunion, 6 TRI ont été sélectionnés :

- Zones urbanisées des communes de Saint-Denis et de Sainte-Marie concernées par les bassins versants de la Rivière des Pluies, du Chaudron et de la Rivière Saint-Denis,
- Zones urbanisées des communes de Saint-Pierre et du Tampon concernées par les bassins versants de la Ravine Blanche, la Rivière d'Abord et la Ravine des Cabris,
- Zones urbanisées de la commune de Saint-Benoît concernées par le bassin versant de la Rivière des Marsouins,
- Zones urbanisées de la commune de Saint-Paul concernées par le Réseau hydrographique de l'Étang Saint-Paul et Saline Ermitage,
- Zones urbanisées des communes de Sainte-Suzanne et de Saint-André concernées par le bassin versant de la Grande Rivière Saint Jean et la rivière Sainte-Suzanne et
- Zone urbanisée de la commune de Saint-Joseph concernée par le bassin versant de la Rivière des Remparts.

Le 1<sup>er</sup> cycle de la DI (période 2011-2016) a permis la réalisation des cartes d'inondation relatives à l'aléa débordement de cours d'eau. Pour ce 2<sup>nd</sup> cycle (2016-2021), il a été proposé de :

- conserver les 6 TRI afin de poursuivre le travail déjà initié ;
- compléter la cartographie des risques d'inondation sur les 6 TRI avec l'aléa submersion marine ;
- mettre à jour les cartographies des risques par débordement de cours d'eau en intégrant les cartes d'aléa des Plans de Prévention des Risques (PPR) réalisées après 2013 ainsi que les nouveaux enjeux des 6 TRI.

La méthodologie utilisée pour la réalisation de la cartographie repose principalement sur les éléments suivants :

- la circulaire du 16 juillet 2012 produite par le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie relative à la phase cartographique pour l'évaluation et la gestion du risque inondation,
- la note méthodologique relative à la mise en œuvre de la phase cartographique des TRI du 2<sup>ème</sup> cycle de la directive inondation datant du 26 décembre 2018 produite par la direction générale de la prévention des risques.

Afin d'éclairer la connaissance des inondations dans les TRI, la cartographie est déclinée, pour les **2 natures d'aléas, à travers 3 scénarios** :

- les événements fréquents (période de retour de l'ordre de 10-30 ans),
- les événements d'occurrence moyenne (période de retour de l'ordre de 100-300 ans),
- les événements exceptionnels (période de retour supérieure à 1 000 ans).

C'est l'objet des cartographies présentées dans ce rapport sur le TRI du secteur de St-Benoît.

Les cartographies présentées dans ce rapport sur le TRI de St-Paul ont été arrêtées par Monsieur le Préfet de La Réunion le 19 décembre 2019 (arrêté n° 3873/SG/DRCL/BU).

## 2 - Présentation générale du TRI

Le TRI couvre la commune de Saint-Paul (99300 habitants). Le TRI couvre deux zones : au Nord le centre-ville impacté par l'Etang-Saint-Paul et au Sud la zone de la Saline et de l'Ermitage.

### L'Etang-Saint-Paul

La Ravine Etang-Saint-Paul, exutoire de l'Etang-Saint-Paul, draine un bassin versant de 106,4 km<sup>2</sup> environ entièrement implanté sur la planèze du grand Bénare, sur la commune de Saint-Paul. Le bassin culmine à 2 326 m NGR et présente une altitude médiane de 812 m NGR. La topographie du bassin fait que l'Etang-Saint-Paul draine un nombre important de cours d'eau dont les principaux sont :

- la Ravine Bernica ;
- la Ravine Divon ;
- la Ravine Athanase ;
- la Ravine Renaud ;
- la Ravine Tête Dure ;
- la Ravine La Plaine (en aval de l'Etang-Saint-Paul).

Tous les hauts du bassin se trouvent dans la forêt du Maïdo, du bois de Sans Souci au Brulé de Saint-Paul. Suivant une pente régulière, nombre de cours d'eau s'écoulent le long de la pente sur l'ensemble de la largeur du bassin. Cette zone présente d'abord très peu d'enjeux mais, par la suite, vers 800-1000m, les zones très boisées laissent la place à des champs agricoles, puis à des espaces plus urbanisés. On va trouver notamment du Nord au Sud du bassin quelques zones urbanisées exposées au risque d'inondation : les quartiers de Sans Souci, Bois de nèfles, Ruisseau, Bellemène, Petite-France, le Guillaume.

Le réseau routier de cette zone est très exposé compte tenu de la présence de nombreux radiers souvent vulnérables aux coupures de circulation.

Dans la partie basse du bassin se trouve l'Etang-Saint-Paul où se jette l'ensemble des cours d'eau. L'étang se trouve en amont du centre-ville de la commune, séparé de celui-ci par la route digue (route nationale RN1), et où la Ravine Etang-Saint-Paul draine l'Etang-Saint-Paul. Sur la partie aval se trouve une zone plate où s'accumulent les enjeux, la plupart situés en zone inondable. Cette partie plate est essentiellement composée d'habitations et de commerces (présence d'une zone commerciale à Cambaie). Les problématiques croisent le ruissellement, le débordement de cours d'eau, voire la submersion marine.

Deux éléments se distinguent dans cette vaste zone humide, quasiment plane et ne dépassant pas 2 m d'altitude, sous la forme d'un complexe marais - étang :

- l'étang s'étire sur une superficie d'environ 10 ha à l'aval de la RN1, véritable route digue sur la quasi-totalité de la traversée de la commune où elle est orientée du Sud-Ouest au Nord-Est. La profondeur maximale mesurée (Arda, 1996) est de 4 m ;
- la zone de marais constitue quant à elle le reste de la zone humide en amont de la nationale. On y distingue deux biefs principaux en eau : le canal du moulin s'étend sur 11,7 ha et le canal secondaire en travers, ainsi que plusieurs petits canaux annexes, et qui sont presque totalement envahis de végétation. Les biefs principaux ont une profondeur inférieure à 2 m.

L'exutoire est constitué d'un cordon littoral, faisant fluctuer la cote NGR de celui-ci en fonction de la houle océanique, ce qui impacte directement le niveau d'eau dans l'étang.

### L'Ermitage et la Saline-les-Bains

Au Sud de la commune, le réseau hydrographique présente des singularités, liées à la présence du lagon de l'Hermitage. Les principaux axes drainants de la planèze sont :

- la Ravine de l'Hermitage ;
- la Ravine de la Saline ;
- la Ravine des Sables ;
- la Ravine Trou d'Eau.

Seules les ravines les plus actives bénéficient d'un exutoire en mer (Ravine de l'Hermitage), les autres débouchent dans la zone sableuse sans exutoire marqué au lagon (Ravine des Sables, Ravine de la Saline, etc.), les eaux venant à s'infiltrer ou rejoignant l'exutoire voisin (Ravine de l'Hermitage).

Les ravines drainent le bassin versant, implanté sur la commune de Saint-Paul, en contrebas de la plaine du grand Bénare.

Le haut du bassin est essentiellement occupé par des champs agricoles. La majeure partie de sa superficie est essentiellement composée de zones de pâturage et très légèrement boisée. Du fait de sa largeur restreinte, cette partie du bassin est très peu urbanisée.

Les premières zones urbanisées font leur apparition en milieu de bassin avec le Bourg de l'Ermitage en rive gauche ou le Bourg de la Saline entre 400 et 550m d'altitude. Ces installations sont généralement suffisamment en hauteur par rapport au fond du lit pour être à l'abri des crues de la ravine.

En aval de ces habitations, on retrouve de nouveaux champs agricoles. Le bassin est alors traversé du Nord au Sud par la Route des Tamarins dont les ouvrages hydrauliques ont été dimensionnés pour permettre le rétablissement des écoulements en crue centennale.

Dans sa partie basse, le bassin devient beaucoup plus urbanisé. Après le franchissement de la voie urbaine de la Saline, la Ravine de l'Ermitage entre dans le bourg. Son tracé devient plus rectiligne en fonction des divers aménagements réalisés, comme l'endiguement de ses berges juste avant son exutoire dans l'océan.

Au sein du bassin, on trouve un ensemble de petites ravines qui prennent naissance juste en aval de la route des tamarins et dont les eaux, uniquement lors de fortes précipitations, sont soit reprises dans le réseau d'assainissement des eaux pluviales (noues, fossés...) soit rejoignent une zone d'expansion des crues située juste en amont du bourg de l'Ermitage-les-Bains.

Au niveau aval dans les quartiers hauts de la Saline-les-Bains, la ravine perd son lit naturel pour se trouver entièrement canalisée jusqu'à son exutoire artificiel dans l'océan. Par ailleurs, certains cours d'eau mineurs sont repris dans le réseau d'assainissement avant leur exutoire probable dans l'océan.

### **3 - Caractérisation des crues sur le TRI**

La zone est pluvieuse.

Sur la côte Ouest de l'île, il pleut moins de 1,5 mètres par an. Sur la partie amont du bassin, les pluies sont plus importantes en hiver (50 à 70mm). Le littoral Ouest est la zone où il pleut le moins (- d'un mètre par an). La sécheresse peut y sévir durement en hiver.

En plus des conditions pluviométriques et des apports des différentes ravines du bassin, les niveaux d'eau de l'Étang Saint-Paul en période de crue sont fortement influencés par le cordon littoral à l'exutoire de la ravine Étang Saint-Paul. Comparativement aux autres cours d'eau de l'île, la crue de la ravine de l'Étang Saint-Paul est relativement lente. Le pic de crue dépend fortement du niveau du cordon littoral. La décrue peut être progressive ou parfois plus rapide que la crue.

Des débits énormes

Le bassin versant de la Loire est 1100 fois plus étendu que celui de l'Étang Saint-Paul. Malgré cet écart de surface des bassins, la crue moyenne de l'étang Saint-Paul est équivalente au débit moyen hivernal de La Loire.

Plus remarquable, le débit de la crue historique de La Loire de 1999 n'est équivalent qu'à 2,5 fois celui de la crue moyenne de l'étang Saint-Paul.

L'influence des cordons dunaires

Les cordons littoraux de galets pour l'Étang Saint-Paul ou de sable pour la Ravine de l'Ermitage sont façonnés par la houle. Les mouvements sédimentaires les plus importants se produisent à proximité immédiate du littoral, c'est-à-dire dans la zone où les vagues déferlent.

Comme sur tout le littoral de galets, les mouvements de matériaux sont relativement faibles et limités à l'estran et aux petits fonds marins. Ces mouvements sont à l'origine de la construction du cordon. De façon générale, la hauteur de la crête d'un cordon de galets au dessus du niveau des plus hautes mers est sensiblement égale à la hauteur de la houle au déferlement. Ainsi, une houle australe de 3 m de hauteur au déferlement peut faire remonter le sommet du cordon littoral au débouché à environ 3 m NGR, si elle dure suffisamment longtemps.

Cette situation a conduit la DEAL à identifier les secteurs où le niveau du cordon implique un début d'inondabilité. Depuis 2010, pour la régulation des niveaux de la partie aval, la mairie de Saint-Paul peut effectuer une intervention régulière sur le cordon littoral entre deux niveaux possibles pour favoriser les habitats faunistiques et compatibles avec les risques d'inondation (Niveau d'intervention entre 1,5 m et 2,0 m NGR). Pour le cas de la Ravine de l'Ermitage, moins sensible que celui de l'Étang Saint-Paul, l'ouverture est réalisée de façon préventive avant la saison cyclonique.

#### **4 - Historique des crues et des études sur la Rivière des Marsouins**

Les principales crues se produisent en période cyclonique. Les crues recensées sont celles ayant causées des dégâts humains ou matériels aux infrastructures et aux habitations.

Le rapport sur le TRI de St-Paul établi en 2013 recense les dernières crues historiques de la rivière. La note de présentation du plan de prévention des risques naturels de Saint-Paul, approuvé en 2016, fait état des études antérieures sur la zone.

#### **5 - Qualification des scénarios de débordement de cours d'eau**

Les données utilisées ont pour origine :

- les couches des zones inondables TRI 2013 (issues de l'outil Cartino PC) réalisées par le CETE Méditerranée ;
- les nouveaux PPR approuvés dans chaque TRI, intégrant l'aléa inondation par débordement de cours d'eau ;
- les résultats des Études De Dangers (EDD) des digues présentes dans chaque TRI : les scénarios de défaillance (intégration des modélisations des études de dangers notamment).

L'impact morphogène de ce type d'événement (érosion, modification de lits) n'a pas été traité pour la cartographie des surfaces inondables.

Le mode de représentation retenu pour la cartographie est en classes de hauteurs d'eau (0-0.5m, 0.5-1m, 1 à 2m et supérieur à 2m). Une vectorisation, un lissage des petites surfaces (100m<sup>2</sup>) et une simplification de géométrie sont ensuite effectués pour un rendu au 1/25 000<sup>ème</sup>.

Les résultats du croisement entre les données PPR et les anciennes cartes TRI ont été établis à partir de 2 principales hypothèses :

- la cartographie de l'aléa du PPR sert de référence pour tous les scénarios TRI ;
- le respect du principe d'augmentation de l'enveloppe de l'aléa suivant l'ordre décroissant des probabilités d'occurrence des scénarios.

#### **Ouvrages pris en compte**

Il n'y a pas de scénario EDD pris en compte pour l'événement fréquent car ils n'ont pas été pris en compte dans le PPR de Saint Paul servant de référence.

À l'heure actuelle, la seule étude de danger sur le territoire du TRI concerne la route digue de Saint Paul, réalisée en 2013. Celle-ci est considérée comme résistante pour des crues de type fréquente et moyenne.

À la date d'édition des cartographies, les travaux du Programme d'Actions de Prévention contre les Inondations (PAPI) dans le secteur de la Saline Ermitage sont en cours de réalisation et n'ont pu être intégrés à la cartographie.

Les débits utilisés à l'Étang Saint-Paul pour les crues fréquentes et moyennes proviennent de l'étude hydraulique Tram-Train. Pour le secteur de l'Ermitage, les débits pour les crues fréquentes et moyennes proviennent de l'étude hydrologique pour le PPRI 2011.

### **Cartographie de l'événement extrême**

*« L'aléa de faible probabilité, dénommé événement extrême, est un phénomène d'inondation exceptionnel touchant toute la surface alluviale fonctionnelle (...). À titre indicatif, une période de retour d'au moins 1 000 ans sera recherchée. »*

Pour l'Étang Saint-Paul, le débit retenu pour l'événement extrême à l'exutoire est de 2300 m<sup>3</sup>/s avec un cordon haut. Pour le secteur de l'Ermitage, pour les 15 ravines, le débit retenu à l'exutoire est de 200 m<sup>3</sup>/s.

### **Cartographie de l'événement moyen**

*« L'aléa de probabilité moyenne est un événement ayant une période de retour comprise entre 100 et 300 ans qui correspond à l'aléa de référence du PPRI ».*

Outre l'utilisation des résultats de modélisation issue de Cartino, la cohérence avec l'enveloppe de la cartographie du plan de prévention des risques approuvé de la commune a été strictement respectée.

### **Cartographie de l'événement fréquent**

*« L'aléa de forte probabilité est un événement provoquant les premiers dommages conséquents, correspondant à un temps de retour de 10 ans ».*

La cartographie de cet événement est issue des résultats du modèle 1D CARTINO.

Pour l'Étang-Saint-Paul, le débit retenu pour l'événement extrême à l'exutoire est de 502 m<sup>3</sup>/s. Pour cet événement, on considère que les digues à l'exutoire de la ravine Grande Fontaine sont résistantes.

Pour les ravines du secteur de l'Ermitage - La Saline-les-Bains, les divers débits pris en compte sont à retrouver dans le rapport sur le TRI de 2013.

### **Incertitude des résultats**

Au-delà des incertitudes relatives à la période de retour notamment liées à la très forte disparité spatiale de la pluie qui peut être à l'origine de fortes crues sur les divers bassins versants du TRI, la limite est conditionnée par le référentiel topographique « Rge alti ign » qui présente un pas de 5 m ; la précision est de 20 cm en altimétrie et 50 cm en planimétrie.

### **Qualification des enjeux et sources de données utilisées**

La carte d'exposition aux risques reprend la synthèse des aléas d'inondation complétée avec les différents enjeux présents dans les zones inondables.

Issus majoritairement de la BD-Topo 2018, les enjeux reportés sont :

- la population et les emplois concernés
- les bâtiments
- le patrimoine naturel
- les zones d'activités
- les installations, classées au titre de la directive IED, sont des industries qui émettent des pollutions pouvant induire des risques chroniques,
- les stations d'épuration
- les points de ressources en eau potable
- le réseau routier structurant
- les ouvrages de protection contre les crues

Les ravines qui se jettent dans l'Étang Saint-Paul ou dans la zone d'expansion de crue de la Saline - Ermitage inondent des zones à forts enjeux, notamment au niveau des secteurs habités du centre-ville ou la zone urbaine balnéaire Ermitage – Saline.

Les cartographies font état des enjeux impactés par cet aléa.

## **6 - Caractérisation des submersions marines et Études antérieures**

Afin de caractériser les différents scénarios pour cet aléa, différents types de données ont été utilisées et valorisées :

- les données utilisées pour l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux de chaque TRI (couches de l'aléa submersion marine et couches précisant l'impact des événements historiques)
- les bases de données de caractéristiques des houles obtenues dans le cadre du projet HOULREU (Pedreros et al., 2009) et du projet ANR SPICY (<http://spicy.brgm.fr/fr>).

## **7 - Historique des submersions marines**

Approuvé en 2018, le Plan de Prévention des Risques Littoraux de Saint-Paul présente en annexe l'ensemble des données historiques de l'aléa submersion marine.

## **8 - Qualification des scénarios de submersion marine**

La modélisation numérique a été utilisée pour permettre d'intégrer les spécificités du littoral de l'île. Les simulations de propagation de la houle sont réalisées à partir du couplage du modèle spectral mis en place pour l'étude HOULREU (Pedreros et al., 2009) avec un modèle dit « vague à vague ». L'ensemble du littoral a été traité avec des modèles 1D (profils).

La méthode présentée ci-dessous concerne principalement le scénario de forte probabilité compte-tenu du fait que ceux de moyenne et faible probabilités sont issus des résultats cartographiques des Plans de Prévention des Risques Littoraux (<http://www.reunion.gouv.fr/plans-de-prevention-des-risques-naturels-pprn-r84.html>).

### **Cartographie de l'événement fréquent (occurrence 10-30 ans ou forte probabilité)**

La Réunion est exposée à deux régimes de houles qui peuvent générer des phénomènes de submersion marine : les houles australes et les houles cycloniques. Les houles d'alizés, bien que dominantes sur les façades Nord et Est, ne sont pas les plus impactantes (Pedreros et al., 2009). Pour déterminer les caractéristiques de l'événement fréquent, une analyse a été menée pour chaque TRI afin de définir le type de houle qui sera utilisé. Si l'ensemble de La Réunion peut être impactée par des houles cycloniques, les façades Sud et Ouest restent exposées en premier lieu aux houles australes. Il apparaît donc important de découper La Réunion en deux zones.

#### **Centre-Ville - Baie de Saint-Paul, Façade Nord**

Sur la base des données utilisées, le cyclone tropical GAMEDE survenu entre le 20 février et le 6 mars 2007 est apparu être l'événement le plus adapté. En effet, les hauteurs significatives de la houle générée lors du passage de GAMEDE sont estimées autour de 10 ans.

#### **Saline-Ermitage ou Sud de Saint-Paul, Façade Sud**

L'analyse des événements historiques ainsi que l'estimation des périodes de retours associées conduit à choisir les caractéristiques de la houle australe survenue entre le 31/07/2003 et le 03/08/2003. En effet, les caractéristiques de la houle pour cet événement ont une période de retour légèrement supérieure à 10 ans.

### **Cartographie de l'événement moyen (occurrence 100-300 ans ou moyenne probabilité)**

Les cartographies des classes de hauteur d'eau sont directement issues des cartographies de l'aléa submersion marine de référence intégrant une surélévation du niveau de la mer de 20 cm réalisées dans le cadre du Plan de Prévention des Risques Littoraux.

#### **Centre-Ville - Baie de Saint-Paul, Façade Nord**

Dans le cadre des PPRL, c'est le cyclone DINA qui a été considéré.

### **Saline-Ermitage ou Sud de Saint-Paul, Façade Sud**

Dans le cadre des PPRL, ce sont les houles australes de mai 2007 (avec une hauteur de houle rehaussée) qui a été pris comme aléa de référence.

### **Cartographie de l'événement extrême (occurrence supérieure à 1 000 ans ou faible probabilité)**

Aucun évènement connu ou documenté d'un tel niveau d'occurrence n'a été relevé sur le territoire. Aussi, les cartographies des classes de hauteur d'eau sont directement issues des cartographies de l'aléa submersion marine à échéance 2100, intégrant une surélévation du niveau de la mer de 60 cm réalisées dans le cadre du Plan de Prévention des Risques Littoraux.

### **Qualification des enjeux et sources de données utilisées**

La carte d'exposition aux risques reprend la synthèse des aléas d'inondation, complétée avec les différents enjeux présents dans les zones inondables. Les cartographies font état des enjeux impactés par cet aléa.

Les présentes cartes et l'analyse correspondante vont permettre de compléter les objectifs de la Stratégie Locale de Gestion du Risque Inondation (SLGRI) pour le TRI. Pour Saint-Paul, la SLGRI conduite par les collectivités locales, avec l'État, aura pour objectif de réduire au mieux la vulnérabilité des enjeux diagnostiqués dans le présent rapport.