

Analyse Multicritères des aménagements de protection contre les inondations du quartier de l'Ermitage à Saint-Paul

Rapport d'étude



V1

HER21501V

Avril 2017

Informations qualité

Contrôle qualité

Version	Date	Rédigé par	Visé par :
V1	10/04/2017	N Morales	R. BRUN

Destinataires

Envoyé à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :
GUILHEM-DUCLEON	Commune de Saint Paul	11/04/2017
ABBAL	Commune de Saint Paul	11/04/2017

Copie à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :

Table des matières

1.	Introduction	7
1.1	Présentation de la démarche	7
1.2	Présentation des indicateurs synthétiques de l'AMC	8
2.	Description du périmètre d'étude	9
2.1	Réseau hydrographique	9
2.1.1	Réseau hydrographique actuel	9
2.1.2	Réseau hydrographique ancien	11
2.2	Caractéristiques physiques des bassins versants	13
2.3	Occupation du sol : généralités	13
2.4	Le périmètre d'étude : zone protégée par les aménagements	13
3.	Les scénarii d'inondation pris en compte	15
3.1	Les scénarii d'aléa pris en compte	15
3.2	Les aménagements objet de l'analyse	16
3.2.1	Présentation synthétique	16
3.2.2	Montant d'investissement considéré	24
3.3	Caractéristiques du modèle hydraulique utilisé – conditions aux limite retenues	25
3.3.1	Modélisation hydraulique de la zone d'étude	25
3.3.2	Cartographie des zones inondables	32
4.	Recensement des enjeux du territoire	33
4.1	Les sources de données exploitées	33
4.1.1	Les bases de données existantes	33
4.1.2	Les données de terrain	33
4.2	La cartographie des enjeux	33
5.	Détermination des indicateurs non monétaires	35
5.1	Rappel des indicateurs non monétaires définis dans l'analyse synthétique de l'AMC	35



5.2	Méthodologie générale de détermination du NMA / NEMA	35
5.3	Détermination du NEMA habitants	36
5.3.1	Détermination du nombre de personnes exposées aux inondations	36
5.3.2	Résultats	37
5.4	Détermination du NEMA emplois	39
5.4.1	Méthode d'estimation du nombre d'emplois	39
5.4.2	Résultats	39
6.	Détermination des indicateurs monétaires	41
6.1	Rappel des indicateurs monétaires définis dans l'analyse synthétique de l'AMC	41
6.2	Présentation générale de la démarche	42
6.4	Méthode d'évaluation du coût des dommages par typologie d'enjeu / Fonctions de dommages appliquées	43
6.4.1	Méthodologie générale	43
6.4.2	Hypothèses retenues pour la détermination des paramètres hydrauliques nécessaires à la détermination des montants de dommage	43
6.4.3	L'habitat	44
6.4.4	Les activités économiques	45
6.4.5	Les équipements publics	45
6.4.6	Les cultures	47
6.4.7	Résultats de l'évaluation du montant des dommages avant et après aménagement	48
6.5	Les bénéfices liés au projet : dommages moyens annuels (DMA) et dommages évités (DEMA)	52
6.6	Rapport des dommages évités (moyens annuels) grâce au projet sur les dommages (moyens annuels) en situation de référence	53
6.7	Calcul des critères de décision de l'ACB (VAN et ratio bénéfice-coût)	53
6.7.1	Hypothèses	53
6.7.2	Le calcul des critères de décision de l'ACB	54
6.7.3	Résultats	54
6.8	Analyse de sensibilité	55
6.8.1	Principe	55
6.8.2	Méthodologie proposée : présentation du logiciel @risk	56
6.8.3	Les résultats	56
7.	Récapitulatif des valeurs des critères synthétiques - Conclusion ...	59

Liste des annexes

Annexe 1 : Cartes des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement en état actuel Q2, Q5, Q10, Q100 et Q1000

Annexe 2 : Cartes des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement en état aménagé Q2, Q5, Q10, Q100 et Q1000.

Annexe 3 : Les lois de probabilité appliquées aux variables retenues dans l'analyse de sensibilité.

Liste des figures

Figure 1 : Présentation des ravines de la zone d'étude	10
Figure 2 : Carte IGN de 1969	12
Figure 3 : Périmètre d'étude – Emprise de la modélisation hydraulique réalisée	14
Figure 4: Ossature du modèle hydraulique	26
Figure 5 : Hydrogrammes ravine Joyeuse – Etat initial et aménagé	30
Figure 6 : Hydrogrammes Ravine de l'Ermitage – Etat initial et aménagé	30
Figure 7 : Hydrogrammes Ravine 3 bassins – Etat initial et aménagé	32
Figure 8 : Cartographie des enjeux et emprise de la crue de dimensionnement état actuel	34
Figure 9 : Courbe fréquentielle du nombre de personnes exposées	38
Figure 10 : Courbe fréquentielle du nombre d'emplois exposés	40
Figure 11 : Schéma récapitulatif des grandes étapes structurant la démarche de l'ACB (source : guide CEPRI – novembre 2011)	42
Figure 12 : Illustration de la répartition des montants de dommages par typologie d'enjeux ...	49
Figure 13 : Comparaison des montants de dommages état actuel et aménagé	49
Figure 14 : Illustration de la répartition des DOMMAGES EVITES par typologie d'enjeux	50
Figure 15 : Illustration de la répartition des DOMMAGES EVITES par période de retour	50
Figure 16 : Répartition des dommages évités par typologie d'enjeux pour la crue centennale (de dimensionnement)	51
Figure 17 : Courbe fréquentielle de dommages	52
Figure 18 : Résultats de l'analyse de sensibilité sur la variation de la VAN à 50ans	57
Figure 19 : Résultats de l'analyse de sensibilité sur variation ratio bénéfice-coût à 50ans	58

Liste des tableaux

Tableau 1 : Objectifs et indicateurs synthétiques de l'AMC (source : CGDD).....	8
Tableau 2 : Caractéristiques des exutoires actuels des ravines de la zone d'étude	11
Tableau 3 : Caractéristiques des bassins versants – état actuel.....	13
Tableau 4 : Détail du montant d'investissement considéré dans l'AMC (€HT).....	24
Tableau 5 : niveaux de marée astronomique	27
Tableau 6 : Elévation du niveau des mers avec le réchauffement climatique (recommandations ONERC)	28
Tableau 7 : Surcote cyclonique prise en compte par période de retour	28
Tableau 8 : Bilan des débits et volumes de crues aux exutoires –Etat initial et état projet.....	29
Tableau 9 : Débits dérivés et résiduels.....	31
Tableau 10 : Volumes résiduels.....	31
Tableau 11 : Tableau identifiant les indicateurs non monétaires de l'analyse synthétique (source : CGDD).....	35
Tableau 12 : Tableau de calcul du NMA / NEMA Habitants.....	37
Tableau 13 : Tableau de calcul du NMA / NEMA Emplois	39
Tableau 14 : Tableau identifiant les indicateurs monétaires de l'analyse synthétique (source : CGDD).....	41
Tableau 15 : Grille d'endommagement de la voirie (source : Guide CEPRI « Evaluation de la pertinence des mesures de gestion du risque inondation » - 2007).....	46
Tableau 16 : Grille d'endommagement de la voirie en € 2015 – Correspondance avec les données disponibles dans la BDTopo	46
Tableau 17 : Récapitulatif des montants de dommages par enjeu et par période de retour	49
Tableau 18 : Tableau de calcul du DMA / DEMA	52
Tableau 19 : Critères de décision de l'ACB : résultats.....	54
Tableau 20 : Incertitude forfaitaire proposée par défaut pour différents paramètres d'entrée. Source: CGDD.....	55
Tableau 21 : Incertitudes forfaitaires retenues pour différents paramètres d'entrée	55
Tableau 22 : Variations retenues pour les périodes de retour des crues considérées	55
Tableau 23 : Synthèse des résultats de l'analyse de sensibilité.....	56
Tableau 24 : Tableau synthétique des résultats de l'analyse synthétique réalisée	59

1. Introduction

1.1 Présentation de la démarche

La présente étude vise à fournir une Analyse Multicritère des aménagements de protection contre les inondations des secteurs de la Saline-les-Bains et l'Ermitage-les-Bains (commune de Saint-Paul) contre une crue d'occurrence inférieure ou égale à 100 ans.

L'étude évalue les dommages directs tangibles et intangibles pour les états avant et après aménagements selon la démarche d'Analyse Multicritère (AMC) telle que définie par le Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) dans ses publications de Juillet 2014.

Cette approche permet d'établir la pertinence, la faisabilité, l'efficacité et l'efficience¹ des aménagements projetés.

Cette méthodologie repose sur la détermination d'indicateurs.

Deux grandes catégories d'indicateurs de dommages, auxquelles sont rattachées des méthodologies spécifiques, sont établies dans le Guide du CGDD.

- Les indicateurs de dommages monétaires : on estime ici le montant des dommages directs causés par les inondations. Ils visent à caractériser la vulnérabilité matérielle et sont définis par des indicateurs dits « synthétiques ».
- Les indicateurs d'enjeux : ils visent à caractériser la vulnérabilité des enjeux, leur exposition au champ d'inondation. Ils sont définis de manière détaillée par les indicateurs dits « élémentaires » de l'AMC (population exposée, nombre de STEP en zone inondable, établissements sensibles exposés,...). Les principaux enjeux (population et emplois) sont également définis dans les indicateurs « synthétiques ».

Le présent document constitue une Analyse Multicritère via l'utilisation des indicateurs synthétiques tels que définis dans le guide méthodologiques des AMC de juillet 2014. Ces indicateurs sont suffisants dans le cadre de l'instruction d'un dossier PAPI.

¹ Efficience = rentabilité

1.2 Présentation des indicateurs synthétiques de l'AMC

Ils permettent de répondre à une demande de justification de la pertinence des aménagements dans le cadre de la labellisation d'un dossier de candidature PAPI.

Ils sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau 1 : Objectifs et indicateurs synthétiques de l'AMC (source : CGDD)

Objectifs	Indicateurs synthétiques	Notés dans la suite du texte ...	
Efficacité	Nombre (moyen annuel) d'habitants protégés par le projet	NEMA habitants*	Indicateurs non monétaires
	Nombre (moyen annuel) d'emplois protégés par le projet	NEMA emplois*	
	Rapport des dommages évités (moyens annuels) grâce au projet sur les dommages (moyens annuels) en situation de référence	DEMA/ DMA sc. de référence	Indicateurs monétaires
Coût-efficacité	Coût total moyen du projet par habitant protégé grâce au projet	C/ NEMA habitants	
	Coût total moyen du projet par emploi protégé grâce au projet	C/ NEMA emplois	
Efficience	Valeur Actualisée Nette du projet	VAN	
	Ratio des bénéfices générés par le projet sur le coût du projet	B/C	

- Les indicateurs d'efficacité synthétisent l'information sur les enjeux principaux protégés par le projet (population, emploi et biens)
- Les indicateurs de rapport coût-efficacité synthétisent l'information comparant les coûts aux bénéfices non monétarisés. Ils permettent d'évaluer le coût que la société consent pour protéger les enjeux principaux.
- La VAN et le rapport B/C synthétisent l'information comparant les coûts aux bénéfices monétarisés. Ils donnent une mesure de la production de bien-être du projet pour la société.

Ces indicateurs sont définis dans le cadre du présent dossier

2. Description du périmètre d'étude

2.1 Réseau hydrographique

2.1.1 Réseau hydrographique actuel

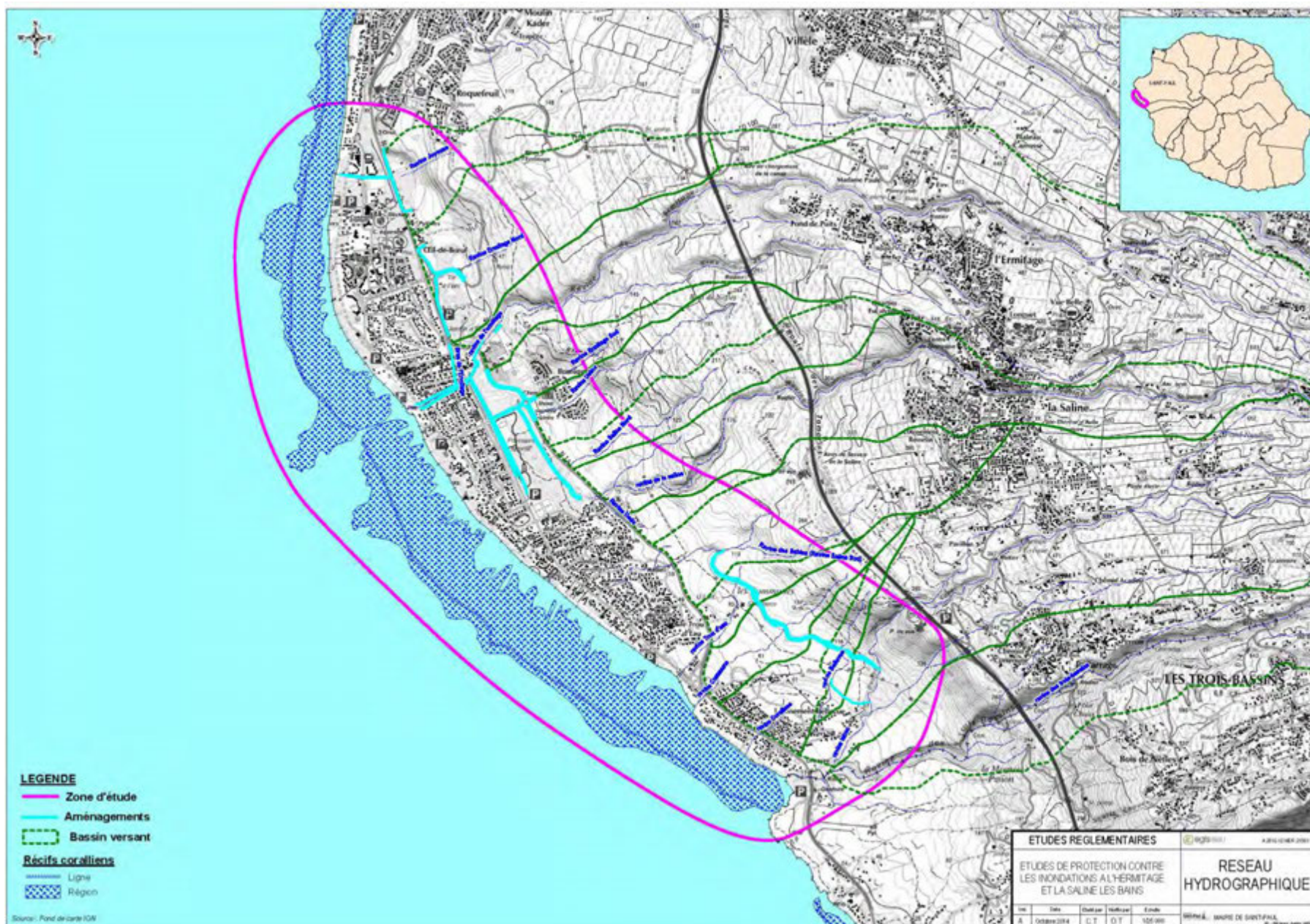
Le réseau hydrographique actuel est constitué d'un ensemble de ravines parallèles descendant la planèze du Maïdo et du Grand Bénard.

Du Nord au Sud, ces ravines sont les suivantes :

1. Ravine Joyeuse ;
2. Ravine de l'Ermitage Nord ;
3. Ravine de l'Ermitage ;
4. Ravine de l'Ermitage Sud ;
5. Ravine Usine ;
6. Ravine de la Saline Nord ;
7. Ravine de la Saline ;
8. Ravine Dodo ;
9. Ravine de la Sables (ou ravine des Sables) ;
10. Ravine trou d'eau ;
11. Ravine Commune ;
12. Ravine Coralines ;
13. Ravine Bellevue ;
14. Ravine Tabac ;
15. Ravine Trois Bassins.

Ces ravines sont cartographiées sur la figure page suivante.

Figure 1 : Présentation des ravines de la zone d'étude



Les exutoires actuels de ces ravines présentent les caractéristiques suivantes :

Tableau 2 : Caractéristiques des exutoires actuels des ravines de la zone d'étude

Nom de la ravine	Exutoire actuel
Ravine Joyeuse	Canal en aval de la RN2001 puis lagon
Ravine de l'Ermitage Nord	Passage sous la RN2001 et confluence avec la ravine de l'Ermitage
Ravine de l'Ermitage	Lagon et Océan Indien par la passe de l'Ermitage
Ravine de l'Ermitage Sud	Zone inondable entre la RN2001 et la déviation de la Saline
Ravine Usine	Zone inondable entre la RN2001 et la déviation de la Saline
Ravine de la Saline Nord	Zone inondable entre la RN2001 et la déviation de la Saline
Ravine de la Saline	Zone inondable entre la RN2001 et la déviation de la Saline
Ravine Dodo	Déviation vers la ravine de la Saline
Ravine de la Saline Sud (ou ravine des Sables)	Rue des Conques
Ravine trou d'eau	Lagon
Ravine Commune	Lagon
Ravine Corallines	Lagon
Ravine Bellevue	Les eaux se perdent dans le lotissement Bellevue
Ravine Tabac	Confluence avec la ravine Trois Bassins
Ravine Trois Bassins	Océan Indien en limite Sud du lagon de la Saline les Bains

2.1.2 Réseau hydrographique ancien

Avant l'urbanisation du littoral dans les années 1970, il n'existait pas d'exutoire propre à chacune des ravines. La carte IGN de 1969 est donnée sur la Figure 2.

Après examen de cette carte, on remarque que la ravine la Saline confluaient avec la ravine l'Ermitage à l'aval du pont de la RN1. La ravine Dodo, quant à elle, possédait sa propre sortie au lagon. Un ancien ouvrage pour le franchissement du Chemin de Fer Réunionnais (CFR) est d'ailleurs toujours visible au sud de la propriété du club des finances.

Au Nord de la zone d'étude, la ravine Joyeuse ne possédait pas d'exutoire. Le fossé actuel et son exutoire ont été créés, après le cyclone Hyacinthe, dans les années 1980.

Figure 2 : Carte IGN de 1969



2.2 Caractéristiques physiques des bassins versants

Les bassins versants des ravines du secteur d'étude, présentées précédemment, ont été tracés à partir de la carte IGN.

Les caractéristiques du bassin versant des ravines en amont de la déviation de la Saline sont les suivantes :

Tableau 3 : Caractéristiques des bassins versants – état actuel

Point de calcul	Superficie (km ²)	périmètre (km)	Alt. Médiane (m NGR)	longueur (km)	Pente moy. (m/m)	Indice de compacité	Larg. équiv. (km)	Long. équiv. (km)
Joyeuse	0.56	3.98	85	1.5	0.11	1.49	0.34	1.65
Ermitage Nord	1.85	7.87	160	3.3	0.10	1.63	0.54	3.39
Ermitage	7.56	17.59	420	8.9	0.09	1.80	0.97	7.83
Ermitage Sud	0.48	4.39	120	1.8	0.13	1.79	0.24	1.95
Usine	0.93	5.66	180	2.6	0.14	1.65	0.38	2.45
Saline Nord	0.89	6.28	215	2.9	0.15	1.87	0.32	2.82
Saline	4.69	26.94	580	13.7	0.12	3.51	0.36	13.11
Saline Sud	1.64	6.78	220	3	0.15	1.49	0.58	2.81
Dodo	0.18	2.67	100	1.2	0.17	1.80	0.15	1.19
Trou d'eau	0.30	3.32	125	1.5	0.17	1.70	0.21	1.45
Commune	0.60	4.63	180	2.2	0.16	1.69	0.30	2.02
Coralines	0.47	4.10	140	1.5	0.18	1.68	0.27	1.79
Bellevue	0.25	3.77	180	1.9	0.18	2.12	0.14	1.74
Tabac	6.75	18.67	635	9.4	0.14	2.03	0.79	8.54
3 Bassins	17.36	33.73	1230	15.2	0.16	2.28	1.10	15.76

2.3 Occupation du sol : généralités

Au-dessus de la RD4, soit au-dessus de la cote de 550 m NGR environ, l'occupation du sol est à dominante agricole avec des champs de canne à sucre. Entre la RD4 et la RD6, les champs laissent place à un paysage urbain avec les villages de la Saline les Hauts et de l'Ermitage les Hauts.

En aval de la RD6, soit à une cote au-dessous de 450 m NGR environ, la zone s'inscrit dans un paysage de savane semi-aride herbeuse et arbustive. La zone en amont de la RN2001 constitue un milieu particulier ; la proximité de la nappe phréatique favorisant une végétation plus hygrophile.

2.4 Le périmètre d'étude : zone protégée par les aménagements

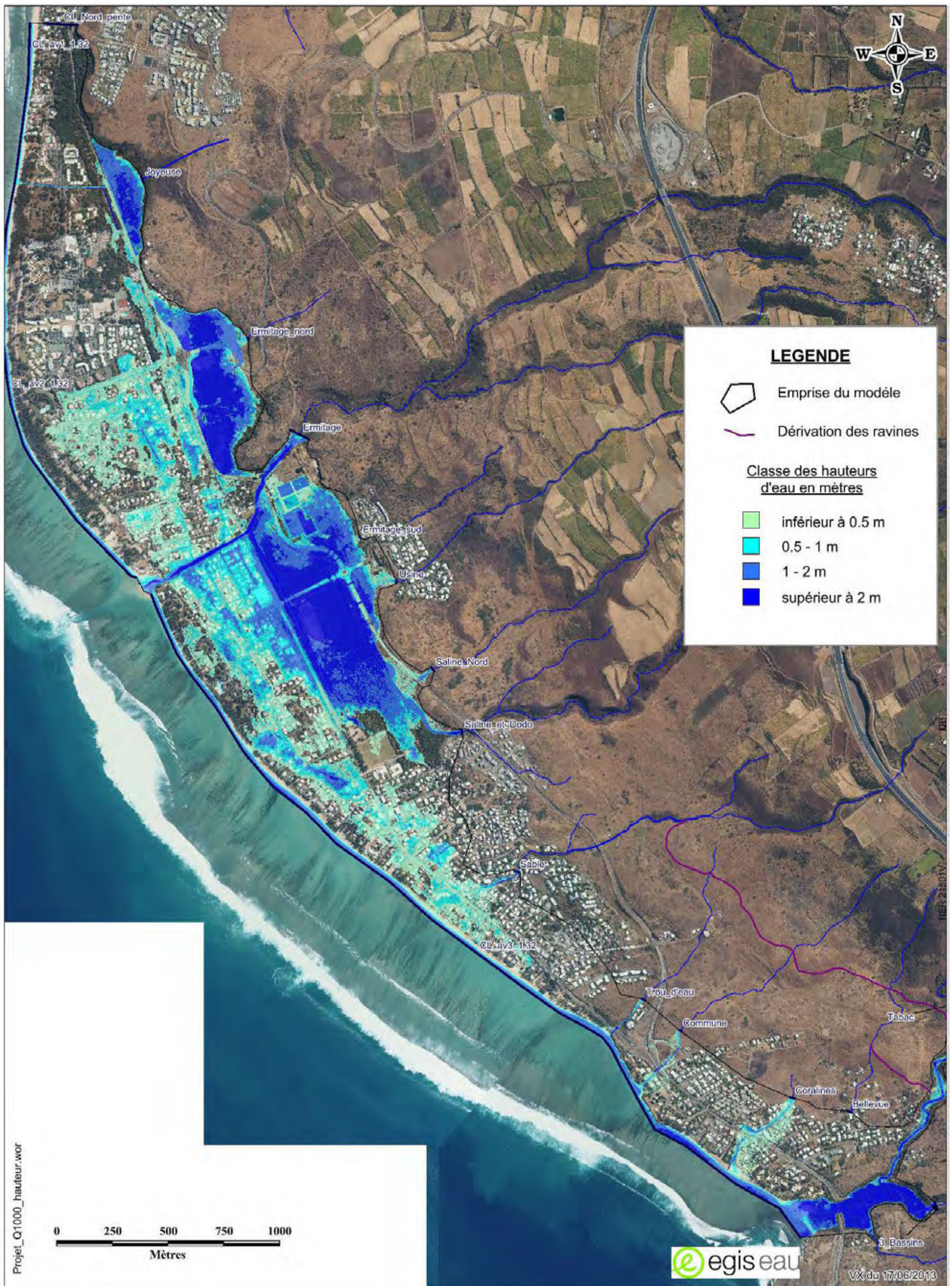
Le périmètre d'étude est défini de manière précise dans le guide méthodologique de Juillet 2014 de la manière suivante :

« Les délimitations amont et aval du périmètre géographique doivent correspondre aux **limites auxquelles l'impact hydraulique des aménagements est considéré nul** (ou si faible qu'il n'est pas quantifiable). »

L'étude hydraulique portant sur l'ensemble du quartier de l'Ermitage, le périmètre d'étude correspond à l'emprise de la plus forte crue modélisée en situation actuelle, soit la crue millénale.

L'emprise de la modélisation et du périmètre d'étude sont représentées sur la figure ci-après.

Figure 3 : Périmètre d'étude – Emprise de la modélisation hydraulique réalisée



3. Les scénarii d'inondation pris en compte

Rappel synthétique des hypothèses retenues dans les étapes précédentes

3.1 Les scénarii d'aléa pris en compte

Les simulations réalisées ont estimé à 2 ans la période de retour du début des débordements.

Conformément au guide méthodologique du CGDD de juillet 2014, les scénarios d'aléa retenus sont :

- « **le scénario engendrant les premiers dommages** »² : c'est la crue de période de retour 2 ans.
- « **le scénario d'aléa de probabilité fréquente ou moyenne, de période de retour inférieure à la période de retour de dimensionnement** » : ce sont les crues de périodes de retour 5 et 10 ans qui sont considérées ici.
- « **le scénario de dimensionnement du projet** » : c'est l'évènement centennal qui est considéré ici.
- « **un scénario d'aléa extrême, de période de retour au moins 1 000ans** » : la crue 1000 ans a fait l'objet de simulations hydrauliques, cet évènement est donc retenu comme scénario extrême.

La crue de plein bord a une période de retour estimée à 1 an d'après les simulations hydrauliques réalisées.

² Les intitulés entre guillemets sont ceux définis par le guide méthodologique de juillet 2014.

3.2 Les aménagements objet de l'analyse

3.2.1 Présentation synthétique

3.2.1.1 Objectif

Le but des aménagements est de protéger les secteurs de la Saline-les-Bains et l'Ermitage-les-Bains des inondations d'une crue d'occurrence inférieure ou égale à 100 ans.

Les aménagements à définir n'incluent pas la protection de la ville contre les inondations par les houles exceptionnelles ou les remontées de nappes.

3.2.1.2 Principes des aménagements retenus

Les principes retenus s'appuient sur la combinaison d'ouvrages de rétention en amont de l'ex RN1 et de recalibrages et/ou de dérivations des ravines.

Sur la partie de la zone d'étude située au nord de la ravine des Sables les volumes de stockage des zones inondables naturelles localisées entre les voiries de la RN1a et de l'ex RN1 sont optimisés par la construction de digues et d'ouvrages hydrauliques.

Au sud de la zone d'étude, les ravines (Sables, Trou d'eau, Commune, Coraline, Bellevue) sont dérivées vers la ravine Tabac afin de réduire les débits et volumes d'apport sur les zones urbanisées à l'aval.

La gestion des eaux résiduelles est réalisée dans la cadre des aménagements projetés du Schéma Directeur d'Assainissement Pluvial.

Les exutoires des ravines de l'Ermitage et Joyeuse sont réaménagés.

De façon synthétique, on peut distinguer trois zones de stockage :

- Casier 1 : alimenté par la Ravine Joyeuse, dont le débit de fuite s'évacue à l'aval de l'ex RN1 via un seuil calé à la cote 3.2 m NGR dans le fossé Villa Bourbon qui sera recalibré,
- Casiers 2 et 3 : le casier 2 est alimenté par la Ravine de l'Ermitage Nord. Deux ouvrages situés sous la voie cannière permettent l'alimentation du casier 3 dont le débit de fuite s'évacue dans le bras de l'Ermitage jusqu'à la ravine Ermitage,
- Casiers 4, 5 6 et 7 : Le casier 4 est alimenté par les débordements en rive gauche de la ravine de l'Ermitage. Le casier 5 est alimenté par la ravine de l'Ermitage Sud. Le casier 6 est alimenté par Ravine Usine. Le casier 7 est alimenté par la dérivation de la Saline et par la Ravine de la Saline Nord. Tous ces casiers sont en communication (6 avec 7, 7 avec 4, 5 avec 4).

L'exutoire aval du bassin 4 est la Ravine de l'Ermitage.

Ce système de stockage est complété par les dérivations de la Ravine des Sables (qui intercepte également les ravines Trou d'Eau, Coralines, Commune et Bellevue) et de la Ravine Bellevue vers la ravine Tabac

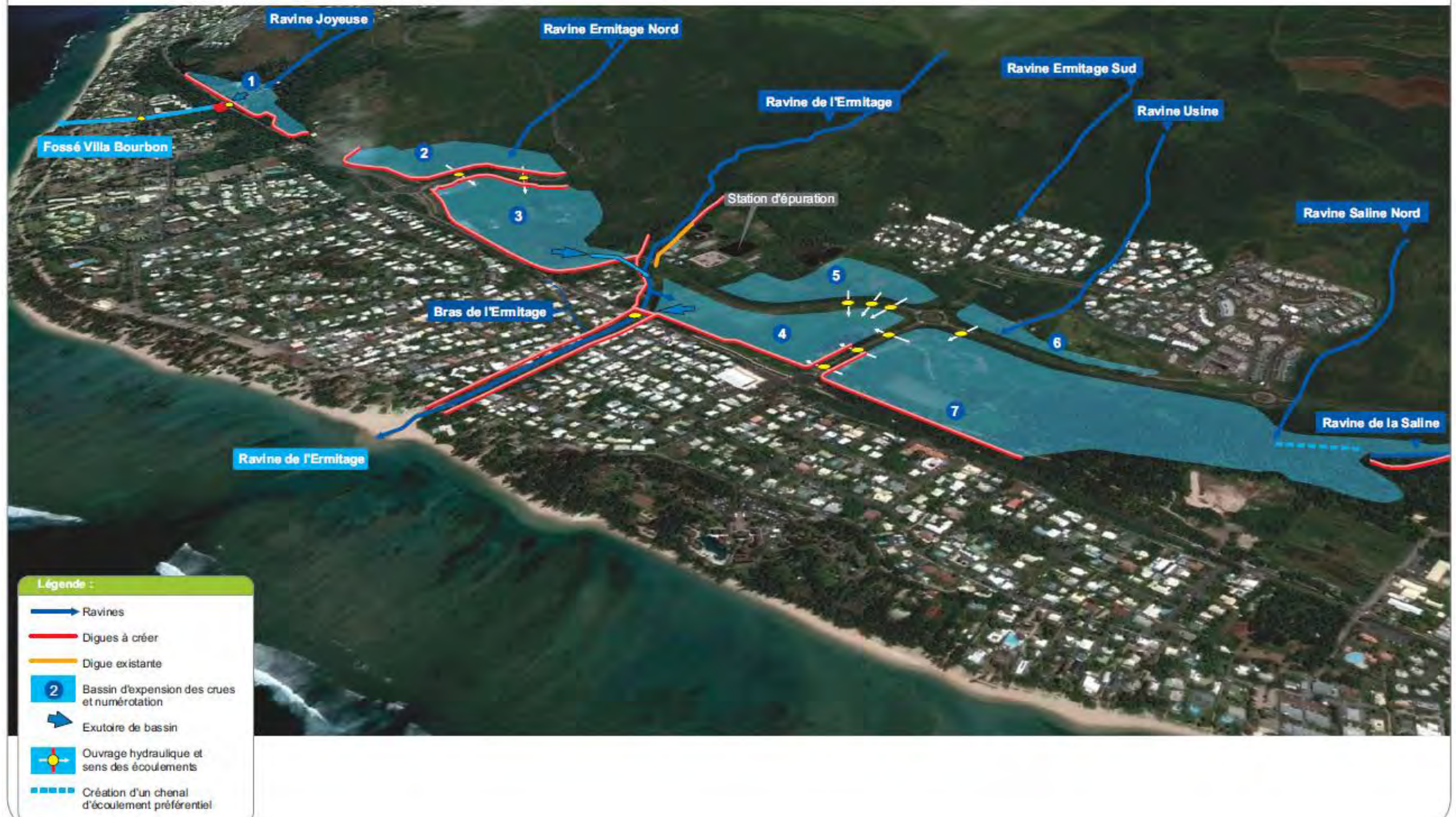
3.2.1.3 Schémas des aménagements

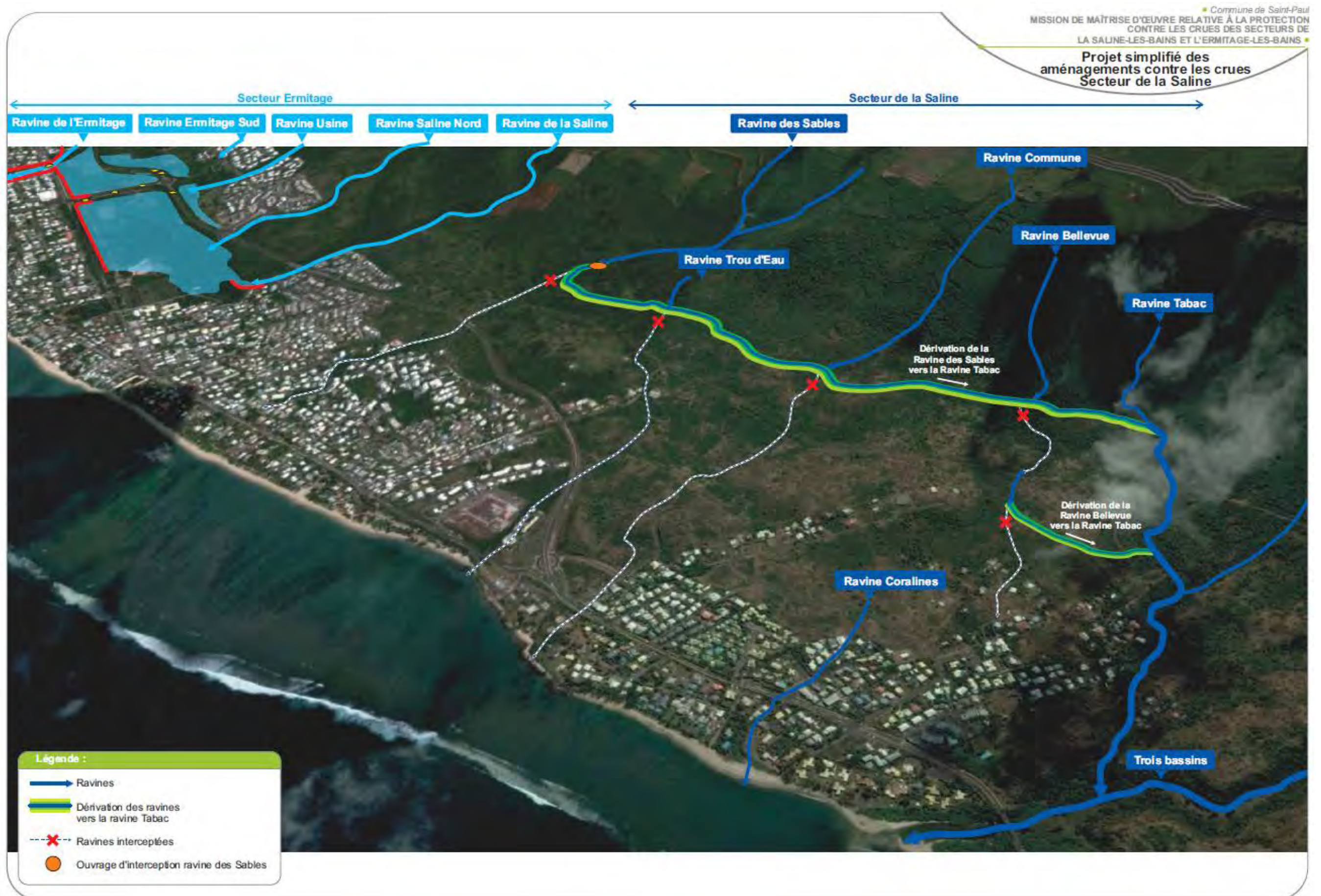




Commune de Saint-Paul
MISSION DE MAÎTRISE D'ŒUVRE RELATIVE À LA PROTECTION
CONTRE LES CRUES DES SECTEURS DE
LA SALINE-LES-BAINS ET L'ERMITAGE-LES-BAINS

Projet simplifié Secteur Ermitage





3.2.1.4 Description des aménagements

Casier 1 : alimentation et vidange

Le casier 1 est alimenté par les apports de la Ravine Joyeuse. Il est limité à l'aval par l'endiguement 1 le long de l'ex RN1.

Les eaux de vidange du casier 1 seront dirigées dans le canal existant (fossé Villa Bourbon) par un ouvrage hydraulique sous la RN1a composé d'un dalot béton. La crête de digue calée à la cote 3.90 m NGR, soit une hauteur de digue d'environ 1.90 m. Un seuil calé à la cote 3.20 m NGR sera mis en œuvre devant l'ouvrage hydraulique afin de supprimer tout rejet au lagon pour les crues de période de retour inférieure ou égale à 10 ans. Le débit de fuite maximum sera d'environ 2 m³/s.

Une martelière sera mise en place dans le seuil pour permettre la vidange « manuelle » de la zone de stockage 1 si nécessaire (par ex si le bassin 1 n'est pas vidangé naturellement par infiltration à l'arrivée d'un deuxième épisode de fortes pluies).

Le fil d'eau de l'ouvrage hydraulique sous l'Avenue de Bourbon devra être repris, car le profil en long de la ravine Joyeuse à l'aval de la RN1a doit être modifié.

La zone de stockage à l'amont de la RN1a permet de limiter l'emprise du chenal à 3.0 m de largeur à la base, soit environ 6 m en tête pour une hauteur de 1 m. La pente sera de 0.3%. Le chenal existant sera recalibré, les talus et le fond seront enherbés pour éviter l'érosion en cas de crue.

Remarque : Le niveau du cordon dunaire au droit de l'exutoire devra être abaissé à la cote 1 m NGR en cas de risque de crue pour permettre le bon écoulement des eaux. La mise en œuvre de cette procédure sera intégrée dans le système d'annonce de crue et validée avec les autorités environnementales.

Casiers 2 et 3 : description et fonctionnement

Le casier 2 est alimenté par les apports de la Ravine de l'Ermitage Nord. Il est limité par l'endiguement 2 le long de la voie cannière D100 (au sud) et de la RN1a (à l'ouest).

Le casier 3 est en communication avec le casier 2 par l'intermédiaire de deux ouvrages hydrauliques créés sous la voie cannière et un chenal de liaison creusé en amont de la voirie.

Le casier 3 est limité par l'endiguement 3 le long de la voie cannière D100 (au Nord) et de la RN1a (à l'ouest).

Les calculs en crue montrent que le niveau d'eau dans la ravine de l'Ermitage est tel que les eaux du Bras de l'Ermitage ne peuvent s'écouler vers l'exutoire de l'Ermitage. Au contraire, ce sont les eaux de la ravine l'Ermitage qui ont tendance à refouler vers le casier de stockage 3 (Jardin d'Eden). Afin de conserver une capacité de stockage maximale des bassins 2 et 3, un clapet anti-retour sera mis en place à l'exutoire du Bras de l'Ermitage dans la ravine Ermitage.

Le bassin 3 se vidange dans la Ravine Ermitage par un dalot.

Casiers 4, 5, 6, 7 : description et fonctionnement

Il existe actuellement au Nord du chemin Bruniquel, une zone de remblais issus des travaux du port du Saint Gilles, d'environ 1.5 ha et haute de 0.5 m à 2 m par rapport au terrain naturel. De façon à augmenter les volumes possibles de stockage en amont de l'ex RN1, les remblais (environ 15 000 m³) seront évacués et le terrain abaissé à la cote 1.5 m NGR.

La zone de stockage en amont de l'ex RN1 ne possède actuellement pas la capacité nécessaire à l'écêtement des crues pour un événement centennal.

Afin de se prémunir de tout risque de débordement, la périphérie des zones de stockages sera endiguée.

Le casier 4 est alimenté par les débordements rive gauche de la Ravine Ermitage entre la RN1a et l'ex RN1. Il est limité par l'endiguement 5 le long de l'ex RN1 côté nord du chemin Bruniquel et par l'endiguement 8 le long de la RN1a (déviation de la Saline) côté lagon entre le rond-point Bruniquel et la Ravine Ermitage.

Le casier 5 est alimenté par la Ravine de l'Ermitage Sud. Il est limité par l'endiguement 10 le long de la RN1a (déviation de la Saline) côté montagne entre le rond-point Bruniquel et la Ravine Ermitage.

Le casier 6 est alimenté par la Ravine Usine. Il est limité par l'endiguement 11 le long de la RN1a (déviation de la Saline) côté montagne entre le rond-point Bruniquel et la Ravine Usine.

Le casier 7 est alimenté par la Saline, la ravine Dodo et par la Ravine de la Saline Nord. Il est limité par l'endiguement 6 le long de l'ex RN1 et côté Sud du chemin Bruniquel et par l'endiguement 9 le long de la RN1a (déviation de la Saline) côté lagon entre le rond-point Bruniquel et la Ravine Usine.

Tous ces casiers sont en communication (6 avec 7, 7 avec 4, 4 avec 5).

L'exutoire aval du bassin 4 est la Ravine de l'Ermitage.

Les ouvrages hydrauliques sous le chemin Bruniquel doivent permettre les écoulements de chaque côté du chemin tout en optimisant les volumes de rétention dans les différents casiers.

Nota : Pour optimiser l'économie de l'opération, au stade PRO, les 4 digues 8, 9, 10 et 11 situées autour du giratoire Bruniquel sont supprimées.

Aménagement de la Ravine Ermitage à l'aval de l'ex RN1 :

La modélisation hydraulique a permis de mettre en exergue le rôle important du cordon dunaire et de la capacité hydraulique de la ravine l'Ermitage sur les hauteurs d'eau dans les casiers d'inondation.

Il est prévu de mettre en place un système d'entretien et de surveillance du cordon dunaire permettant de le maintenir à la cote maximale de 1.00 m NGR.

Une échelle limnimétrique pourra ainsi être placée sur une des piles de la passerelle piétonne, rendant compte de l'évolution des fonds à l'exutoire. En période cyclonique une pelle mécanique pourra être mise à disposition pour ouvrir si besoin le cordon dunaire.

La ravine sera endiguée sur ses deux rives (endiguement 4) pour évacuer la crue centennale.

La capacité hydraulique de l'ouvrage existant sous l'ex RN1 ne permet pas de faire transiter le débit de crue centennale et devra être repris. Le nouvel ouvrage sera composé de plusieurs dalots et pourra fonctionner en charge. La voirie devra être reprofilée de part et d'autre de l'ouvrage.

Par ailleurs, la passerelle piétonne située à l'embouchure doit être remplacée pour s'adapter au nouveau calibre de la ravine Ermitage.

Aménagement de la Ravine Ermitage à l'amont de l'ex RN1 :

Le chemin bétonné d'accès à l'ouvrage de la RN1a est aujourd'hui fortement dégradé, avec à terme un risque de destruction totale et d'érosion régressive pouvant venir dégrader les culées et la pile du pont de la déviation de la Saline.

Le lit de la ravine de l'Ermitage sera fixé par un seuil en enrochements liés muni d'un coursier et d'une fosse de dissipation.

Les habitations en rive droite de la ravine Ermitage en amont du pont de l'ex RN1 sont actuellement soumises à un risque d'inondation pour un évènement centennal.

Les travaux de protection contre les inondations sur la partie amont de la ravine de l'Ermitage sont basés sur les principes suivants :

- Endiguement (7) de la berge rive droite avec une digue moellons,
- Protection de la berge rive droite en enrochements libres,
- Restitution de l'accès riverains par un escalier,
- Décaissement du banc végétalisé dans le lit de la ravine en amont du pont de l'ex RN1,
- La berge rive gauche sera conservée en l'état. En effet les débordements en rive gauche alimenteront la zone de stockage (casier n°4).

La berge rive droite sera protégée par des enrochements libres entre le pont de la déviation jusqu'au pont de l'ex RN1. Une digue moellons sera construite en sommet de berge. Le niveau de la berge rive gauche sera égal au niveau du terrain naturel de la zone inondable (gazonnière).

En amont de la RN1a, la ravine est endiguée :

- en rive gauche (endiguement 12) sur 90 ml pour éviter les débordements vers la STEP et vers le casier 5 ;
- en rive droite (endiguement 13) sur 70 ml pour éviter les débordements vers le casier 3

Connexion de la ravine de la Saline :

La Ravine de la Saline ne possède actuellement pas d'exutoire. Les eaux de crue se perdent ainsi entre l'ancienne RN1 et la déviation de la Saline (secteur du parcours sportif) avant de déborder, pour des événements importants, vers les habitations de la Saline en aval. Il est prévu de reconnecter la ravine de la Saline à la Ravine de l'Ermitage, comme c'était le cas avant l'aménagement de la Saline-les-Bains.

La ravine Saline sera recalibrée à son débouché dans le casier 7.

Cet aménagement permettra de diffuser les écoulements dans les zones de stockage.

 Dérivation de la Ravine des Sables

La ravine des Sables ne possède actuellement pas d'exutoire. En crue, les eaux sont bloquées au droit de la rue des Conques puis débordent sur la chaussée pour finalement inonder les habitations de la Saline les Bains.

La solution retenue est la dérivation des eaux de la ravine des Sables vers la ravine Tabac (1 800 ml environ). Cette dérivation permet d'intercepter les eaux issues des bassins versants situés entre la ravine des Sables et la ravine Tabac (ravines Commune et ravine Bellevue) et ainsi diminuer les rejets d'eaux douces au lagon.

 Dérivation de la Ravine Bellevue vers la Ravine Tabac

La ravine Bellevue ne possède actuellement pas d'exutoire. En période de crue les eaux sont naturellement dirigées vers le quartier de Bellevue et inondent les habitations.

Ce projet de dérivation permet d'intercepter les eaux issues des bassins versants situées entre la ravine Bellevue et la ravine Tabac.

3.2.2 Montant d'investissement considéré

Les aménagements sont d'ores et déjà définis à un niveau avancé (PRO) qui permet d'obtenir une évaluation des coûts d'investissement fiable.

Le détail des postes de dépenses composant le montant d'investissement du dispositif de protection est synthétisé dans le tableau suivant.

Secteur	Ouvrages	Coût estimatif des travaux (€ H.T.)	Coût estimatif acquisitions foncières (€ H.T.)	Coût estimatif études / investigations (€ H.T.)	Montant total (€HT)	Remarques
Par secteur						
Secteur 1	Digue 1 OH 1 OH 0	2 522 000 €	369 000 €	174 000 €	3 065 000 €	acquisition de l'emprise digue et ouvrages (en cours d'actualisation)
Secteur 2	Digue 2 Digue 3 OH 2 OH 3	4 226 000 €	618 000 €	291 000 €	5 135 000 €	acquisition de l'emprise digue et ouvrages (en cours d'actualisation)
Secteur 3	Digues 7 12 13 14 OH 11	1 789 000 €	262 000 €	124 000 €	2 175 000 €	acquisition de l'emprise digue et ouvrages (en cours d'actualisation)
Secteur 4	Digues 4 RG et RD Pont-Dalot	6 534 000 €	955 000 €	450 000 €	7 939 000 €	acquisition de l'emprise digue et ouvrages (en cours d'actualisation)
Secteur 5-6	Digues 5 et 6 OH 12	6 720 000 €	982 000 €	463 000 €	8 165 000 €	acquisition de l'emprise digue et ouvrages (en cours d'actualisation)
Secteur 7	Dérivation rav. Sables Dérivation rav. Bellevue	4 081 000 €	597 000 €	281 000 €	4 959 000 €	acquisition de l'emprise digue et ouvrages (en cours d'actualisation)
Global						
TOTAL		25 872 000 €	3 783 000 €	1 783 000 €	31 438 000 €	acquisition de l'emprise digue et ouvrages (en cours d'actualisation)
Total pris en compte dans l'AMC				31 438 000 €		

Tableau 4 : Détail du montant d'investissement considéré dans l'AMC (€HT)

3.3 Caractéristiques du modèle hydraulique utilisé – conditions aux limite retenues

3.3.1 Modélisation hydraulique de la zone d'étude

3.3.1.1 Description du modèle

Le logiciel de modélisation ICM un permet la modélisation 2D des écoulements

Le **modèle 2D** est mis en œuvre sur le linéaire des ravines jusqu'au lagon, et sur l'emprise totale du champ d'inondation.

Le maillage du modèle est adapté à la configuration de la zone d'étude. La densité du maillage résulte de contraintes de représentation des écoulements et de la bathymétrie. Le maillage est construit pour prendre en compte les particularités des écoulements (lit mineur, obstacles, remblais, digues, ouvrages, bâtiments discontinuités topographiques...).

Enfin, l'outil utilisé permet d'intégrer des singularités de type seuil ou orifice pour représenter les ouvrages.

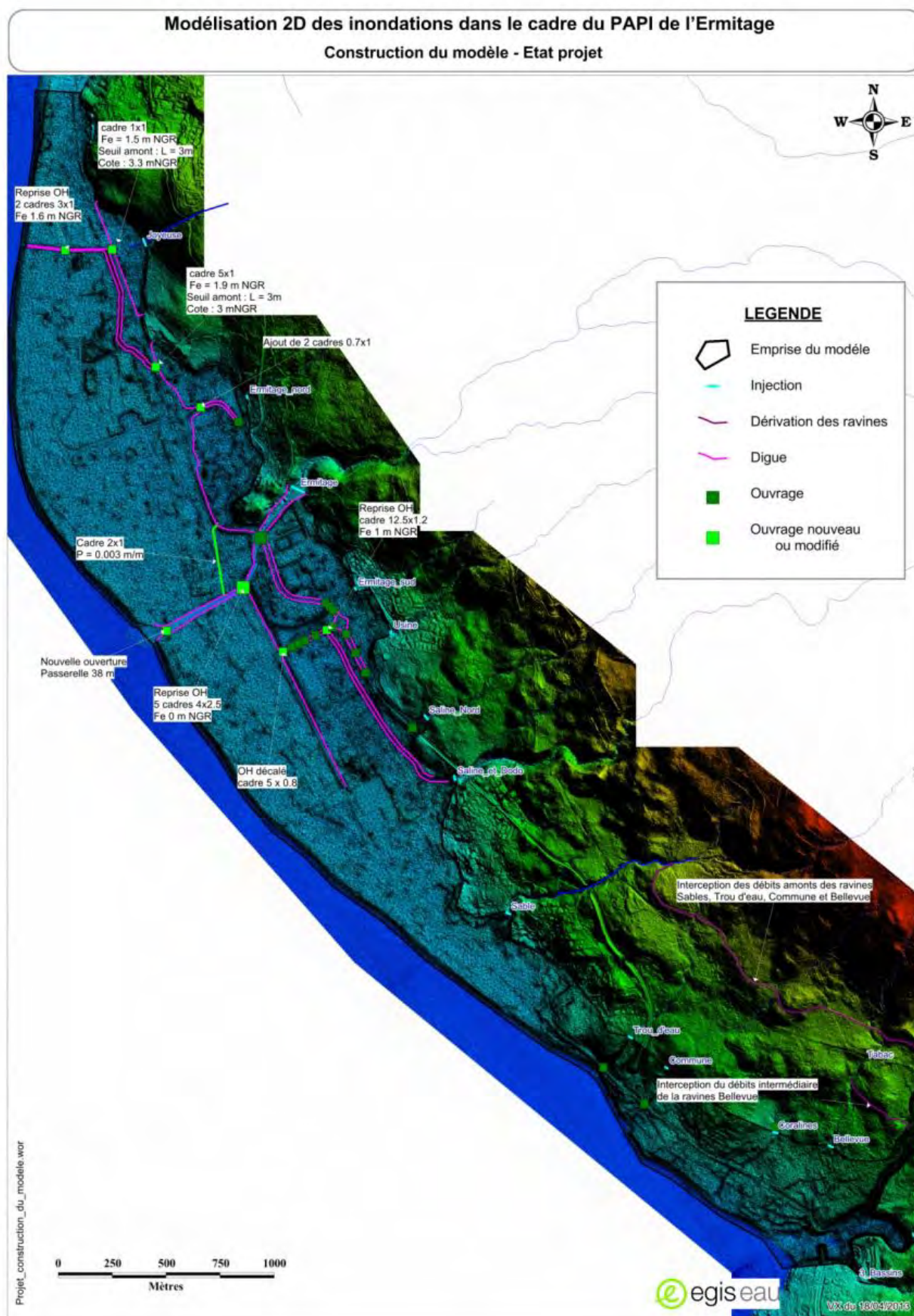
Les surverses sur berge sont représentées par des lois de seuil.

Le champ d'inondation est représenté par un maillage 2D triangulaire.

3.3.1.2 Topographie du modèle

La topographie du modèle est issue de la Litho 3D qui a été complétée par un relevé topographique terrestre sur certains secteurs. Le lit mineur de la ravine Ermitage et du bras de l'Ermitage a été modélisé à partir des profils en travers levés sur le terrain.

Figure 4: Ossature du modèle hydraulique



3.3.1.3 Conditions limites amont

Les hydrogrammes d'entrée types ont été présentés à l'AVP et mis à jour dans le cadre du PRO. Il a été fait le choix d'un évènement intense sur toute la zone d'étude entraînant une **concomitance des crues des ravines**.

3.3.1.4 Conditions limites aval

Les liaisons avec le lagon sont schématisées par les débouchés en mer de la ravine Joyeuse et de la ravine de l'Ermitage et par les points bas du cordon dunaire par lesquels les eaux peuvent déverser lors des fortes inondations.

La condition aux limites aval est fixée par la cote la plus haute entre le niveau du cordon dunaire, et le niveau de la mer.

Niveau du cordon dunaire :

L'observation des écoulements des eaux durant le cyclone DINA a montré que ce cordon dunaire avait une grande importance sur les niveaux d'eau amont. Pour la modélisation des écoulements on prend l'hypothèse d'un cordon bas calé à 1.00 m NGR.

Le niveau du cordon dunaire fera l'objet d'une surveillance et un engin mécanique sera mis à disposition pour abaisser le niveau du cordon dunaire à la cote 1 m NGR en période cyclonique.

Niveau marin :

Le calcul du niveau marin prend en compte les différentes composantes détaillées ci-après :

➤ Niveau de référence:

A la Réunion, le 0.00 m NGR se situe à + 0.53 m au-dessus du zéro hydrographique (0.00 N.H.) ou zéro des cartes marines (0.00 C.M.).(Source SHOM)

Nota :

- N.G.R : Nivellement Géographique de la Réunion (système altimétrique légale). Le zéro N.G.R correspond au niveau moyen de la mer.

- 0.00 C.M. : Zéro côte marine. Le « zéro cote marine » correspond au niveau le plus bas que la mer peut atteindre à l'occasion d'une marée de vives eaux d'équinoxes.

Les variations du niveau d'eau sont le fait de la marée astronomique et de la combinaison de facteurs météorologiques et hydrodynamiques.

➤ La marée astronomique :

D'après les valeurs communiquées par le SHOM pour le port de Saint-Leu, les niveaux de marée astronomiques sont les suivants :

Tableau 5 : niveaux de marée astronomique

Niveaux caractéristiques de la marée	Valeurs
niveau de la plus haute mer de marée astronomique (PHMA)	+ 0.85m ZH soit +0.32m NGR
niveau moyen des plus hautes mers journalières (PM)	+0.65 m ZH soit +0.12m NGR
niveau moyen des plus basses mers journalières (BM)	+0.30 m ZH soit -0.23 NGR
niveau de la plus basse mer de marée astronomique (PBMA)	+ 0.17m ZH soit -0.36 NGR

La valeur retenue pour le calcul du niveau de projet surcote sera le niveau moyen des plus hautes mers journalières soit **+0.12 NGR**.

➤ Réchauffement climatique :

La prise en compte de l'élévation du niveau des mers avec le réchauffement climatique sera conforme aux recommandations de l'ONERC.

Tableau 6 : Elévation du niveau des mers avec le réchauffement climatique (recommandations ONERC)

Hypothèses	2030	2050	2100
Optimiste	+10cm	+17cm	+40cm
Pessimiste	+14cm	+25cm	+60cm
Extrême	+22cm	+41cm	+100cm

La valeur proposée au regard des enjeux et de la durée de vie des ouvrages est de +0.25m

➤ Facteurs météorologiques / Surcote cyclonique :

Les effets de baromètre induisent des variations de pression qui font bouger le niveau de la mer de 1 cm par hPa environ.

Les effets du vent provoquent un basculement du plan d'eau. Un vent de terre pousse l'eau vers le large et provoque une décote, alors qu'un vent de mer accumule l'eau au rivage. Des dénivellations importantes du niveau des eaux ne sont possibles que sur les étangs et la mer par faibles fonds.

Lors du passage de dépressions cycloniques des surcotes peuvent s'ajouter aux marées. Elles sont le résultat de fluctuations des pressions barométriques, et de l'onde de tempête qui accompagne le centre du cyclone et gonfle à la remontée des fonds. Elles peuvent, dans les zones basses du littoral, être à l'origine d'inondations. Ces surcotes ne prennent pas en compte les déferlements qu'il convient donc d'ajouter à l'approche des côtes.

Tableau 7 : Surcote cyclonique prise en compte par période de retour

Période de retour	Surcote cyclonique
décennales	0,5m
trentennales	0,7 m
centennales	0,85 m

On considère la concomitance d'une dépression de période de retour 100 ans et d'un épisode pluvieux de même période de retour. **Nous retiendrons pour notre étude une surcote cyclonique de 0,85 m.**

➤ Facteurs hydrodynamique :

Le phénomène de set up caractérise l'augmentation du niveau d'eau au rivage induit par l'accumulation d'eau dans la zone de déferlement et le basculement du plan d'eau sous l'effet du vent.

Cette élévation de niveau est directement liée à la configuration du site, la pente des fonds, la vitesse du vent et la longueur du fetch.

Dans notre cas, le set up sera estimé à +0.10m car le secteur est protégé par le lagon

➤ Niveau de projet :

La cote de projet correspond à la somme des niveaux extrêmes et des surcotes de période de retour centennale.

Le niveau d'eau pour la condition aux limites aval sera de +1.32 m NGR

3.3.1.5 Débit de crue état aménagé

↳ Débits à l'exutoire et volumes d'eaux douces des rejets

L'impact des aménagements sur les débits de pointes et volumes de rejets au lagon est donné dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8 : Bilan des débits et volumes de crues aux exutoires –Etat initial et état projet

		T = 2 ans		T = 5 ans		T = 10 ans		T = 100 ans	
		Qp(m3/s)	V (m3)	Qp(m3/s)	V (m3)	Qp(m3/s)	V (m3)	Qp(m3/s)	V (m3)
Ravine Joyeuse	Etat initial	0	0	0	0	0	0	0.4	11 228
	Etat projet	0	0	0	0	0	0	1.6	72 900
	Δ (%)	/	/	/	/	/	/	355%	549%
Littoral entre Joyeuse et Ermitage	Etat initial	0	0	0	0	0	0	10.4	163 198
	Etat projet	0	0	0	0	0	0	0	0
	Δ (%)	/	/	/	/	/	/	-100%	-100%
Ravine Ermitage	Etat initial	17	515 102	37	1 233 229	55	1 697 126	93	3 995 967
	Etat projet	30	562 159	63	1 414 100	88	1 983 428	168	4 745 538
	Δ (%)	72.0%	9.1%	68.5%	14.7%	59.7%	16.9%	80.0%	18.8%
Littoral entre Ermitage et Sables	Etat initial	0	0	0.04	823	0.6	15 211	12.7	213 324
	Etat projet	0	0	0	0	0	0	0	0
	Δ (%)	/	/	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%
Ravine des Sables	Etat initial	1.2	14 607	3.6	33 773	5.1	46 773	10.9	128 949
	Etat projet	0.04	182	0.4	1 747	0.7	3 087	1.6	12 551
	Δ (%)	-96.8%	-98.8%	-88.2%	-94.8%	-86.2%	-93.4%	-85.3%	-90.3%
Ravine Trou d'eau	Etat initial	2.7	19 406	4.4	33 190	5.6	42 524	9.4	84 757
	Etat projet	1.1	5 069	2.1	9 580	2.8	12 915	5.2	29 043
	Δ (%)	-58.0%	-73.9%	-52.0%	-71.1%	-49.4%	-69.6%	-45.1%	-65.7%
Ravine Commune	Etat initial	4.6	42 736	7.9	73 371	9.9	92 370	16	186 857
	Etat projet	2.2	16 556	3.9	29 106	5.2	37 890	8.7	78 994
	Δ (%)	-51.5%	-61.3%	-50.1%	-60.3%	-48.0%	-59.0%	-46.8%	-57.7%
Ravine Coraline	Etat initial	2.6	12 036	4.5	22 410	5.8	22 410	10.3	69 569
	Etat projet	1.5	3 585	2.8	8 185	3.7	12 034	7.0	33 784
	Δ (%)	-42.2%	-70.2%	-38.0%	-63.5%	-35.8%	-46.3%	-32.3%	-51.4%
Ravine Bellevue	Etat initial	0.6	3 617	1.3	7 475	1.9	10 411	3.8	26 119
	Etat projet	0	0	0	0	0	0	0	0
	Δ (%)	-100.0%	-100.0%	-100.0%	-100.0%	-100.0%	-100.0%	-100.0%	-100.0%
Ravine Trois Bassins	Etat initial	68	988 335	167	2 450 495	232	3 423 183	438	8 220 963
	Etat projet	70	1 075 564	171	2 613 526	238	3 634 986	453	8 718 358
	Δ (%)	3.7%	8.8%	2.7%	6.7%	2.5%	6.2%	3.3%	6.1%
Total	Etat initial	97	1 595 839	226	3 854 767	316	5 350 009	606	13 100 930
	Etat projet	105	1 663 114	243	4 076 245	338	5 684 340	644	13 691 169
	Δ (%)	8.4%	4.2%	7.8%	5.7%	7.0%	6.2%	6.4%	4.5%

Remarque : Les débits et volumes de rejets sont calculés avec une hypothèse d'infiltration nulle (hypothèse nappe haute).

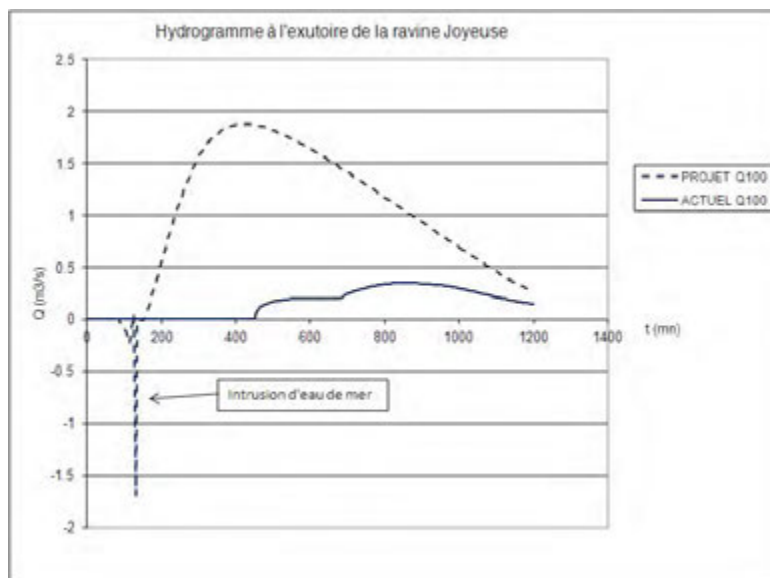
Les aménagements permettent :

- Suppression / Réduction des rejets chroniques ;
- Suppression des rejets diffus le long de la plage ;
- Réduction des débits de pointe et volumes sur les ravines des Sables, Trou d'eau, Commune et Coraline ;
- Faible augmentation des volumes globaux d'eaux douces envoyés au lagon (env +5%). Cette augmentation de volume a été calculée avec une hypothèse d'infiltration nulle, pourtant privilégiée et facilitée par les bassins d'écrêtage des crues qui doivent être réalisés;
- Augmentation des débits de pointe et volumes au niveau des exutoires autorisés : ravines Joyeuse, Ermitage et Trois Bassins (voir détail ci-après);

Ravine Joyeuse :

Le rejet au lagon via l'exutoire de la ravine joyeuse ne sera activé que pour les crues de période de retour supérieure à 10 ans. Les aménagements amont permettront de supprimer les rejets diffus au lagon entre la ravine Joyeuse et la ravine ermitage.

Figure 5 : Hydrogrammes ravine Joyeuse – Etat initial et aménagé

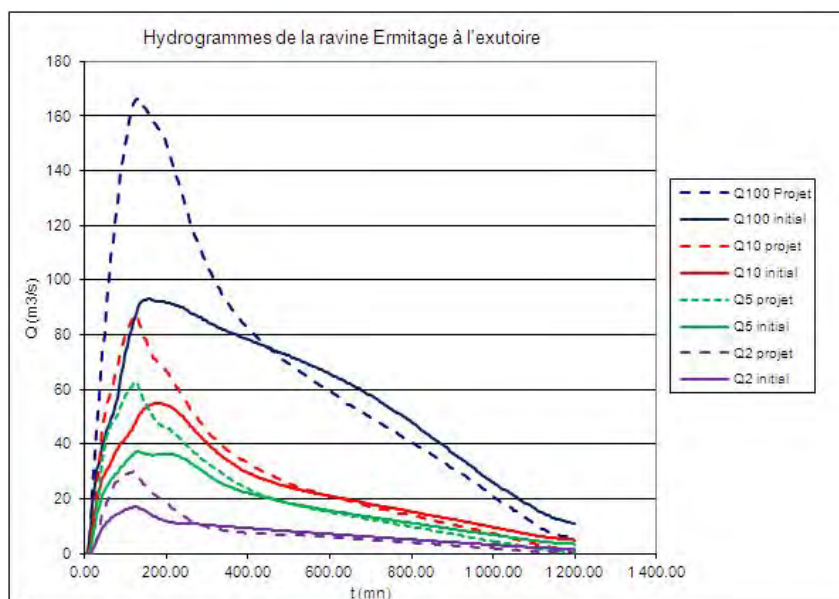


Ravine Ermitage :

Les aménagements décrits précédemment permettent d'éviter le rejet d'eaux douces entre les Villas du Lagon et la ravine des Sables ; secteur particulièrement vulnérable puisque défini comme « sanctuaire » dans le règlement de la réserve naturel marine.

Les ravines Ermitages amont et Saline sont reconnectés sur la ravine Ermitage ce qui entraîne une augmentation du débit de pointe et du volume de rejet au lagon via la passe de l'Ermitage.

Figure 6 : Hydrogrammes Ravine de l'Ermitage – Etat initial et aménagé



Dérivation des ravines Sables, trou d'eau, Bellevue, Commune et Coraline

Les ouvrages de dérivation des ravines (ravines des Sables, Trou d'eau Bellevue, Commune, Coraline) permettent de réduire fortement les débits et volumes entrant dans les zones urbanisées à l'aval. Cependant, les ravines conserveront un écoulement résiduel généré par les bassins versant situés à l'aval des dérivations.

Ces écoulements résiduels en période de crue permettront de maintenir la « mémoire du risque inondation » auprès des riverains, limitant ainsi le risque d'urbanisation des ravines. En effet, il ne faut pas oublier qu'en cas de dépassement de la crue de projet (Q100), une partie du débit des bassins versant amont surviendra par-dessus le seuil de dérivation pour alimenter la partie aval de la ravine.

Par ailleurs, le maintien d'un apport d'eau dans la partie aval des ravines pourra participer à l'alimentation de la nappe même si il semble que l'alimentation de la nappe se fasse principalement sur la partie du bassin versant dont l'altitude est supérieure à 1500 m.

Les tableaux suivants donnent les débits dérivés et résiduels ainsi que les volumes pour les différentes occurrences de crues étudiées :

Tableau 9 : Débits dérivés et résiduels

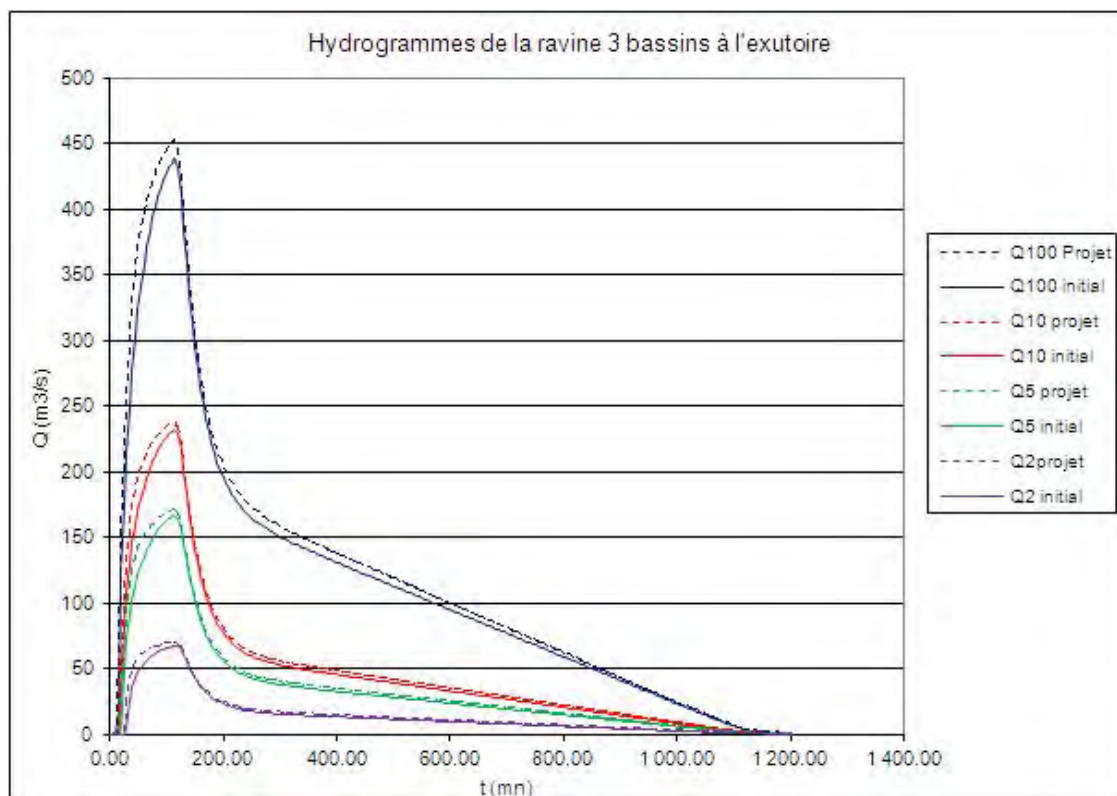
	T=2 ans (m3/s)	T=5 ans (m3/s)	T=10 ans (m3/s)	T=20 ans (m3/s)	T=50 ans (m3/s)	T=100 ans (m3/s)	T=1000 ans (m3/s)
Saline Sud (dérivé)	6,5	13,4	18,0	22,5	28,2	32,5	46,7
Saline Sud (résiduel)	1,4	2,9	3,8	4,8	6,0	6,9	9,9
Trou d'eau (dérivé)	1,4	2,5	3,2	3,9	4,8	5,5	7,7
Trou d'eau (résiduel)	1,4	2,4	3,1	3,8	4,7	5,4	7,5
Commune (dérivé)	2,3	4,2	5,4	6,6	8,1	9,3	13,0
Commune (résiduel)	2,2	3,9	5,1	6,2	7,6	8,6	12,2
Coraline (dérivé)	1,0	1,7	2,1	2,6	3,1	3,5	4,9
Coraline (résiduel)	3,5	5,7	7,2	8,6	10,5	11,8	16,4
Bellevue (dérivation amont)	1,1	2,1	2,7	3,4	4,2	4,8	6,8
Bellevue (dérivation aval)	0,6	1,1	1,4	1,8	2,2	2,5	3,5
Bellevue (résiduel)	0,3	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,8

Tableau 10 : Volumes résiduels

	T=2 ans (m3)	T=5 ans (m3)	T=10 ans (m3)	T=20 ans (m3)	T=50 ans (m3)	T=100 ans (m3)	T=1000 ans (m3)
Saline Sud (résiduel)	10 322	21 381	28 017	35 389	56 410	64 871	93 076
Trou d'eau (résiduel)	7 964	13 652	17 634	21 616	31 546	36 245	50 340
Commune (résiduel)	15 845	28 089	36 732	44 655	67 817	76 740	108 864
Coraline (résiduel)	23 073	37 576	47 465	56 694	85 099	95 635	132 917
Bellevue (résiduel)	1 732	3 463	4 040	5 195	7 567	8 943	12 383

L'impact des dérivations de la ravine des Sables et la ravine Bellevue sur les débits de pointe à l'exutoire des ravines Tabac et Trois bassins est mis en évidence sur le graphique ci-dessous :

Figure 7 : Hydrogrammes Ravine 3 bassins – Etat initial et aménagé



Les eaux de la dérivation à la cote 100 m NGR génèrent une augmentation de débit de pointe à l'exutoire de la ravine 3 bassins de l'ordre de 3 %.

↳ Synthèse

L'ensemble des aménagements engendre :

- Une augmentation du débit de pointe des eaux de crue envoyées au lagon pour : la ravine Joyeuse, la ravine de l'Ermitage et la ravine Trois Bassins (exutoires autorisés).
- Une augmentation des volumes d'eau arrivant au lagon au droit des passes de l'Ermitage et de Trois Bassins, jugés comme étant appropriés au sens de l'article 6 du décret de la réserve nationale marine.
- Une diminution des volumes d'eaux arrivant au lagon entre les ravines Trou d'Eau et Bellevue. Cette zone du lagon sera de fait moins soumise aux pressions engendrées par les arrivées d'eau douces (pollution, perturbation des conditions physiques et chimiques des eaux lagunaires, apport de matières en suspension, ...).
- Une suppression des rejets d'eaux pluviales envoyées au lagon entre les Villas du lagon et la ravine des Sables.
- Une diminution ou une suppression des débits rejetés au lagon pour les pluies chroniques.

3.3.2 Cartographie des zones inondables

Les cartographies des hauteurs d'eau d'inondation et des vitesses d'écoulement pour les crues de périodes de retour 2, 5, 10, 100 et 1000 ans (cf.3.1) sont disponibles en **Annexe 1 (état actuel) et 2 (état aménagé)**.

4. Recensement des enjeux du territoire

Ce chapitre vise à fournir la méthodologie utilisée pour la détermination des enjeux du périmètre d'étude. Ces enjeux, une fois clairement identifiés et géolocalisés permettent la détermination des critères de l'AMC, objet des chapitres suivants.

4.1 Les sources de données exploitées

4.1.1 Les bases de données existantes

Les cadastres des communes ainsi que la BDTopo 2016 ont été exploités afin de réaliser une première détermination des enjeux du périmètre d'étude.

4.1.2 Les données de terrain

Les enquêtes de terrain se sont déroulées durant le mois de mars 2017. Elles ont été réalisées dans une emprise de zone inondable maximale théorique définie d'après les données disponibles (Q1000 ans état actuel). Elles ont permis de préciser les caractéristiques des bâtis identifiés dans le périmètre d'étude.

Les informations ainsi recueillies, validées de visu, représentent la majeure partie des données utilisées pour la suite de l'étude.

Les caractéristiques des constructions relevées sont décrites ci-après (cf. table SIG) :

- Hauteur de seuil : c'est la hauteur entre le terrain naturel et le premier plancher habitable (pour tous les bâtis)

Cette donnée a été déterminée à l'échelle d' « îlots » (ensemble de bâtis) : le nombre de bâtis considéré par îlot est variable, l'objectif étant que la valeur fournie soit la plus représentative possible des bâtis visualisés.

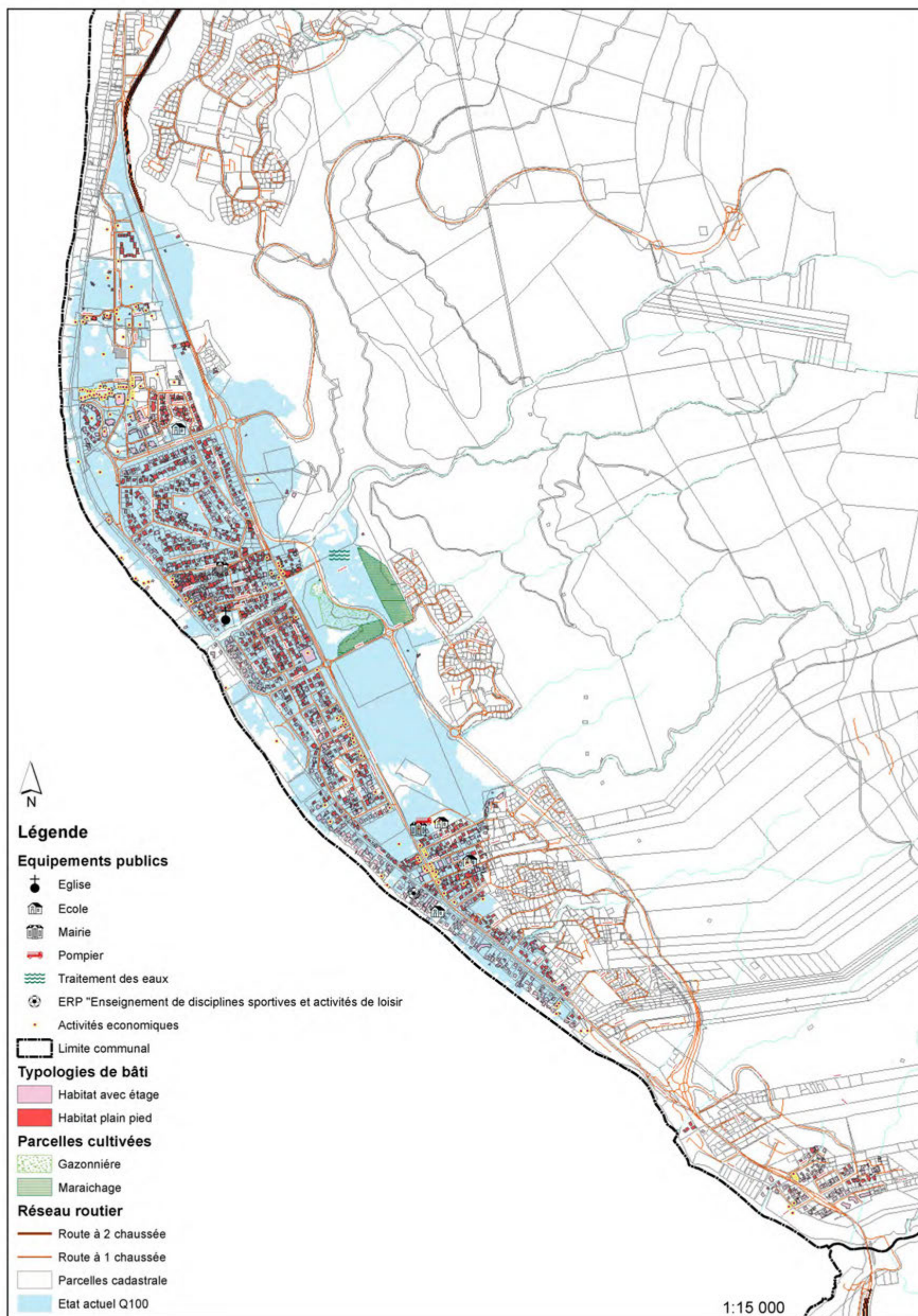
- Présence ou non de sous-sol
- Vérification des données disponibles :
 - o pour les équipements publics : nature / dénomination
 - o pour les activités économiques : domaine d'activité

On note que les enjeux agricoles sont peu représentés sur le périmètre d'étude. Les enjeux bâtis (habitat et activités économiques) sont prédominants.

4.2 La cartographie des enjeux

Conformément au guide méthodologique des AMC, elle est disponible pour le scénario de dimensionnement, soit un évènement de période de retour 100ans en état actuel.

Figure 8 : Cartographie des enjeux et emprise de la crue de dimensionnement état actuel



5. Détermination des indicateurs non monétaires

5.1 Rappel des indicateurs non monétaires définis dans l'analyse synthétique de l'AMC

Tableau 11 : Tableau identifiant les indicateurs non monétaires de l'analyse synthétique (source : CGDD)

Objectifs	Indicateurs synthétiques	Notés dans la suite du texte ...	
Efficacité	Nombre (moyen annuel) d'habitants protégés par le projet	NEMA habitants*	Indicateurs non monétaires
	Nombre (moyen annuel) d'emplois protégés par le projet	NEMA emplois*	
Coût-efficacité	Rapport des dommages évités (moyens annuels) grâce au projet sur les dommages (moyens annuels) en situation de référence	DEMA/ DMA sc. de référence	Indicateurs monétaires
	Coût total moyen du projet par habitant protégé grâce au projet	C/ NEMA habitants	
	Coût total moyen du projet par emploi protégé grâce au projet	C/ NEMA emplois	
Efficience	Valeur Actualisée Nette du projet	VAN	
	Ratio des bénéfices générés par le projet sur le coût du projet	B/C	

5.2 Méthodologie générale de détermination du NMA / NEMA

Le nombre obtenu pour chaque période de retour permettent de construire une courbe fréquentielle du nombre d'habitants (ou d'emplois ou tout autre paramètre) protégés liés aux crues en situation actuelle et une courbe en état aménagé.

Chaque point de la courbe est représentatif d'une crue de période de retour caractéristique. La définition précise de cette courbe nécessite la connaissance du nombre de personnes exposées (ou emplois ou dommage,...) aux inondations engendrées par plusieurs crues suffisamment différenciées en période de retour.

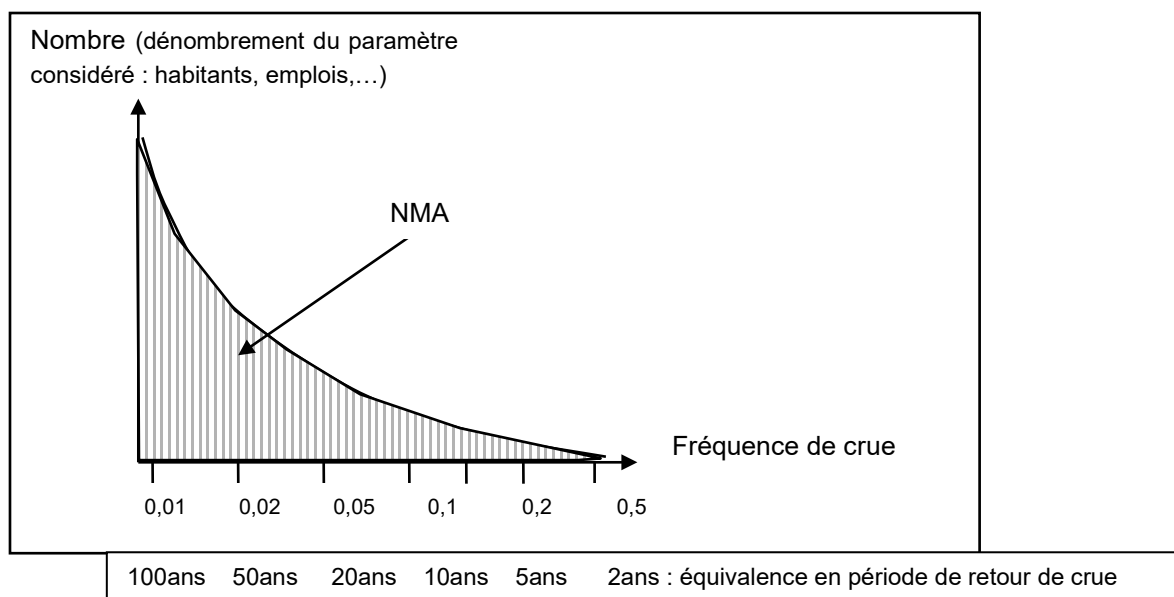
La fréquence de la crue provoquant les premiers dommages est particulièrement importante à appréhender pour caler la courbe. Elle fournit le point de départ inférieur de la courbe. La surface délimitée par cette courbe et l'axe des abscisses représente le nombre moyen annuel (NMA), évalué à partir de la formule suivante :

$$NMA = \int_{T=T_d}^{T=\infty} N(T) dT$$

Avec :

- $N(T)$: Population exposée pour l'événement de période de retour $\frac{1}{T}$
- $\frac{1}{T_d}$: Période de retour de l'événement débordant

Le NMA correspond à la surface sous la courbe fréquentielle, comme le montre la Figure ci-dessous :



Les crues exceptionnelles, qui occasionnent les dommages les plus importants, sont par définition rares et ont peu de poids, statistiquement parlant, dans le calcul du nombre moyen annuel (NMA), contrairement à des crues plus faibles mais beaucoup plus fréquentes.

L'estimation du nombre évité moyen annuel (NEMA) est donnée par la différence entre le nombre moyen annuel avec projet (état aménagé) et le dommage moyen annuel sans projet (état actuel):

$$\text{NEMA} = \text{NMA} (\text{sans projet}) - \text{NMA} (\text{avec projet})$$

Rappel : les modélisations ont déterminé le début des débordements pour une crue de période de retour équivalente à 5 ans (cf.3.1).

5.3 Détermination du NEMA habitants

La détermination de ce critère vise à déterminer :

- ✓ dans un premier temps : le nombre de personnes exposées aux différents scénarios d'aléa retenus
- ✓ déterminer la courbe fréquentielle – calculer le nombre moyen annuel et le nombre évité moyen annuel.

On dénombre donc le nombre de personnes habitant dans un bâtiment situé en zone inondable (le bâtiment pouvant être inondé ou non - fonction du niveau de seuil-), en incluant également les personnes habitant dans les étages. Cet indicateur donne une information sur la population pouvant être impactée à son domicile, en situation de nuit, puisque la population active n'est généralement pas présente à son domicile dans la journée.

5.3.1 Détermination du nombre de personnes exposées aux inondations

5.3.1.1 Données source

- Nombre d'habitants sans double compte par carreau de 200x200 m (source : Données Carroyées Insee) : http://www.insee.fr/fr/themes/detail.asp?reg_id=0&ref_id=donnees-carroyees&page=donneesdetaillees/donnees-carroyees/donnees-carroyees-200m.htm
- Bâti de la BD Topo (classe BATI_INDIFFERENCIE) (source : IGN)

5.3.1.2 Méthode de calcul

- Croisement géographique des aléas et du carroyage de population Insee
- Sélection du bâti d'habitation

- Suppression des bâtiments dont la hauteur est supérieure à 100 mètres
- Suppression des bâtiments de surface inférieure à 20 m²
- En cas de présence de bâtiments de hauteur inférieure à 3 mètres, imposer une hauteur égale à 3 mètres pour ces bâtiments
- Calcul de la surface développée par bâtiment = surface * hauteur/3
- Répartition de la population située dans chaque carreau intersecté par l'enveloppe de l'aléa, sur les bâtiments triés de la BD Topo, au prorata de leur surface développée
- Somme de la population des bâtiments situés à l'intérieur des scénarii d'événements.

Imprécisions de la méthode

Rappel :

- Ne sont considérés que les bâtis de plus de 20m²
- Les données sur la densité de population fournies par l'INSEE (rectangle de population) présentent des imprécisions sur les secteurs faiblement habités (habitat diffus), afin de préserver la confidentialité des données individuelles.
- Dans tous les cas, les hauteurs de bâtis sont définies par la BDTopo 2014.

La détermination de cet indicateur est entachée d'imprécisions, ainsi les résultats ne doivent pas être considérés comme rigoureusement fiables mais comme des ordres de grandeur.

5.3.2 Résultats

La méthodologie précédente appliquée aux résultats fournis au paragraphe 5.2 donne les résultats suivants :

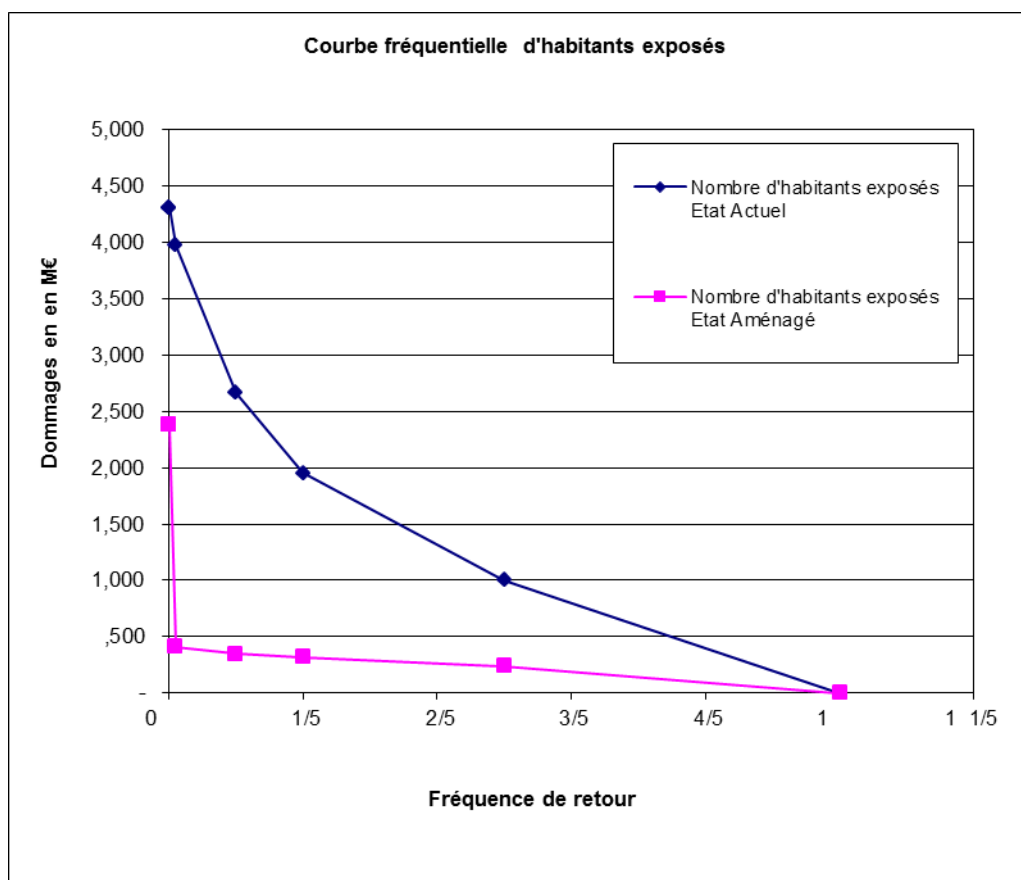
Tableau 12 : Tableau de calcul du NMA / NEMA Habitants

Paramètres des scénarios hydrologiques			Nombre d'habitants exposés		Incidence	
Nom	T	F	Etat Actuel	Etat Aménagé	Nombre de personnes protégées	%
<i>Crue non débordante état actuel</i>	1	1.000	-	-		
<i>le scénario engendrant les premiers dommages</i>	2	0.500	1 003	240	763	76%
<i>scénario d'aléa de probabilité fréquente ou moyenne, de Tr < à la Tr de dimensionnement</i>	5	0.200	1 954	318	1 636	84%
	10	0.100	2 663	344	2 319	87%
<i>Scénario de dimensionnement</i>	100	0.010	3 978	409	3 569	90%
<i>Scénario d'aléa extrême</i>	1000	0.001	4 313	2 379	1 934	45%
<i>Crue "infinie"</i>	infinie	-	4 313	2 379		
	coef	1	NMA état actuel	NMA état aménagé		
			1266	226		
			NEMA Habitants			
			1040			

Les résultats montrent que le projet protège toute la population exposée aux inondations de 13 des 15 ravines. Cependant pour les ravines des Sables et des Corallines, bien que la situation actuelle s'améliore (réduction des hauteurs d'eau et des emprises inondées), on note que 54 habitations restent inondables pour la Q2 ans (soit 240 personnes) et 104 habitations pour la Q100 ans (soit 409 habitants).

La protection maximale est apportée (réduction de 90% de la population exposée aux inondations) est apportée par le scénario de dimensionnement (Q100 ans).

Figure 9 : Courbe fréquentielle du nombre de personnes exposées



Ainsi, on retient les résultats suivants :

NMA habitants état actuel = 1 266

NMA habitants état aménagé = 226

NEMA = 1040 habitants

Les aménagements permettent de réduire de 82% le nombre moyen annuel de personnes exposées aux inondations. Ils protègent 1 040 personnes tous les ans en moyenne.

5.4 Détermination du NEMA emplois

Le NEMA est déterminé selon la même méthodologie que celle employée précédemment, décrite au paragraphe 5.2.

5.4.1 Méthode d'estimation du nombre d'emplois

Cette analyse est importante pour l'estimation du NEMA Emplois mais également pour l'évaluation des dommages aux entreprises (cf. 6.4.4).

Les visites de terrain ont permis de déterminer les activités présentes dans la zone d'étude. Des recherches internet ont permis de rattacher les noms d'enseigne à leur code APE et à un nombre d'emplois (via des sites du type societe.com).

Remarque : le nombre minimal considéré est de 1.

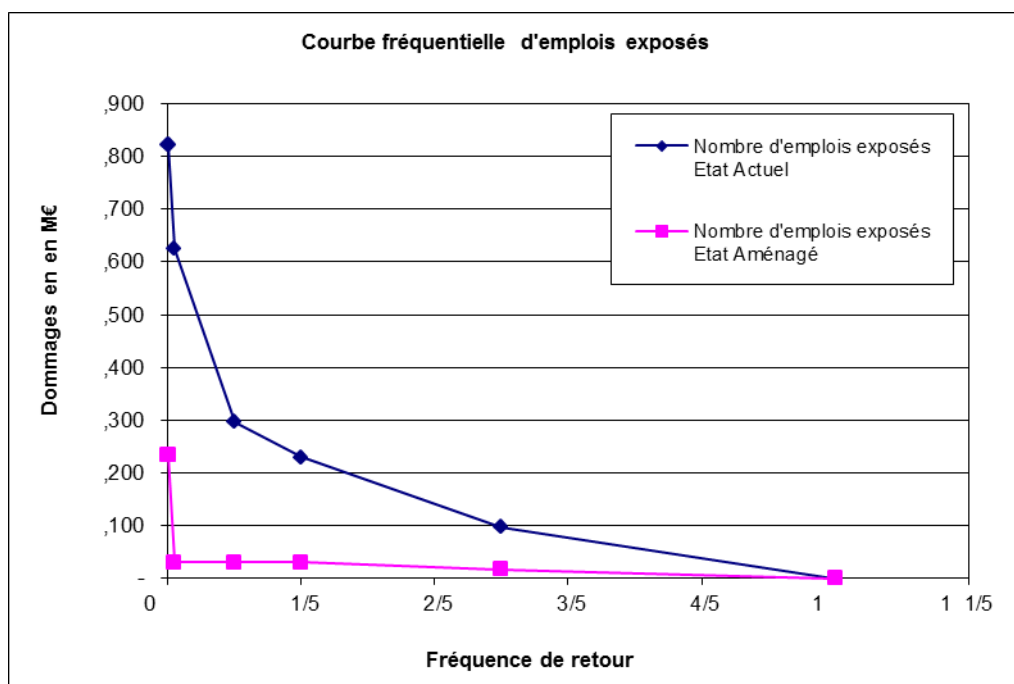
5.4.2 Résultats

La méthodologie précédente appliquée aux résultats fournis au paragraphe 5.2 donne les résultats suivants :

Tableau 13 : Tableau de calcul du NMA / NEMA Emplois

Paramètres des scénarios hydrologiques			Nombre d'emplois exposés		Incidence	
Nom	T	F	Etat Actuel	Etat Aménagé	Nombre d'emplois protégés	%
<i>Crue non débordante état actuel</i>	1	1.000	-	-		
<i>le scénario engendrant les premiers dommages</i>	2	0.500	97	17	80	0%
<i>scénario d'aléa de probabilité fréquente ou moyenne, de Tr < à la Tr de dimensionnement</i>	5	0.200	229	30	199	87%
	10	0.100	296	30	267	90%
<i>Scénario de dimensionnement</i>	100	0.010	625	30	595	95%
<i>Scénario d'aléa extrême</i>	1000	0.001	822	234	588	72%
<i>Crue "infinie"</i>	nfinie	-	822	234		
	coef	1	NMA état actuel	NMA état aménagé		
			148	18		
			NEMA Emplois			
			130			

Figure 10 : Courbe fréquentielle du nombre d'emplois exposés



Ainsi, on retient les résultats suivants :

NMA emplois état actuel = 148

NMA emplois état aménagé = 18

NEMA Emplois = 130 emplois

Les aménagements permettent de réduire de 88% le nombre moyen annuel d'emplois exposés aux inondations. Ils protègent 130 emplois tous les ans en moyenne.

6. Détermination des indicateurs monétaires

6.1 Rappel des indicateurs monétaires définis dans l'analyse synthétique de l'AMC

Tableau 14 : Tableau identifiant les indicateurs monétaires de l'analyse synthétique (source : CGDD)

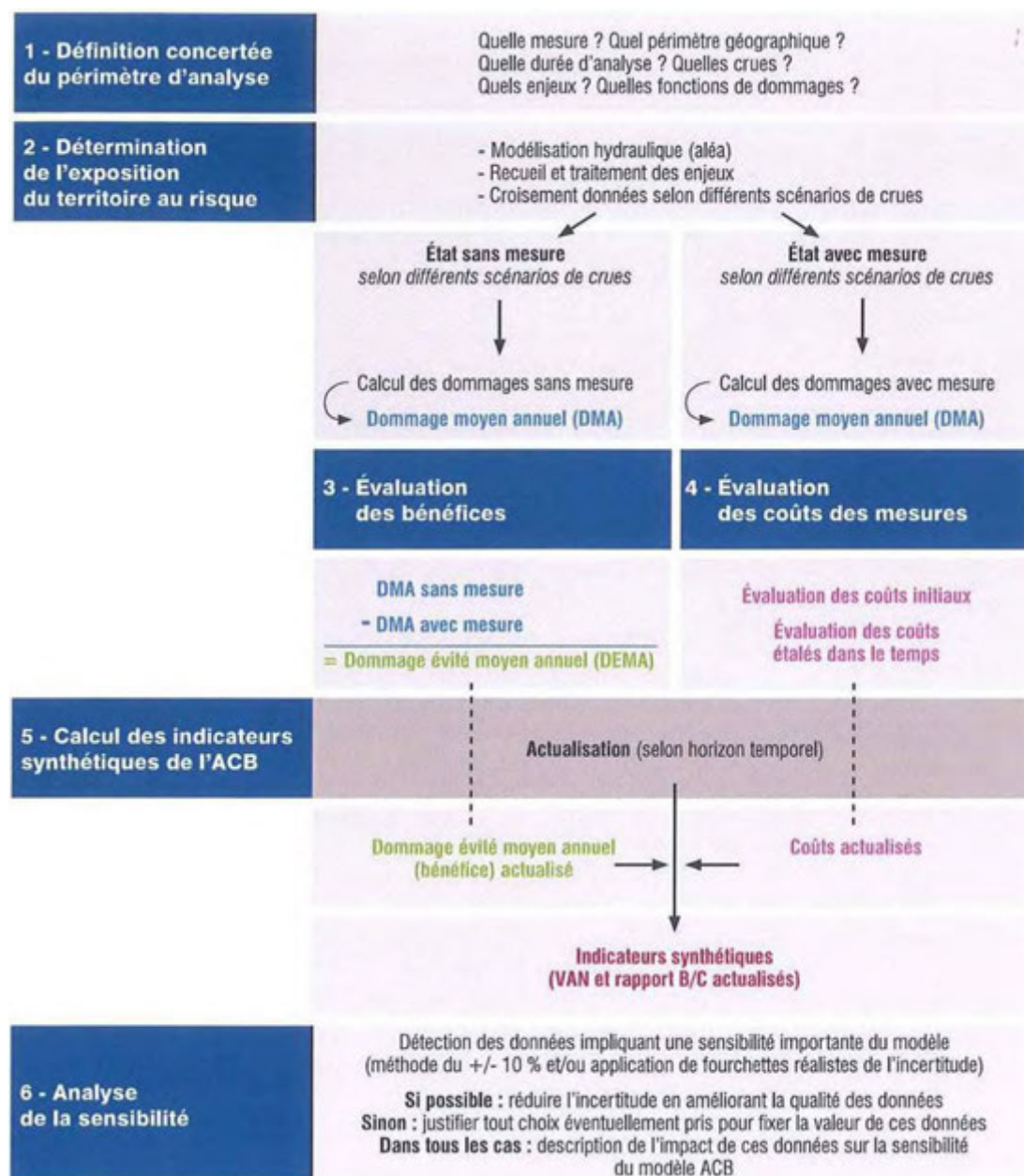
Objectifs	Indicateurs synthétiques	Notés dans la suite du texte ...	
Efficacité	Nombre (moyen annuel) d'habitants protégés par le projet	NEMA habitants*	Indicateurs non monétaires
	Nombre (moyen annuel) d'emplois protégés par le projet	NEMA emplois*	
Coût-efficacité	Rapport des dommages évités (moyens annuels) grâce au projet sur les dommages (moyens annuels) en situation de référence	DEMA/ DMA sc. de référence	Indicateurs monétaires
	Coût total moyen du projet par habitant protégé grâce au projet	C/ NEMA habitants	
	Coût total moyen du projet par emploi protégé grâce au projet	C/ NEMA emplois	
Efficience	Valeur Actualisée Nette du projet	VAN	
	Ratio des bénéfices générés par le projet sur le coût du projet	B/C	

Les indicateurs monétaires de l'analyse à réaliser sont issus des résultats d'une analyse coût-bénéfice.

6.2 Présentation générale de la démarche

La détermination des indicateurs monétaires d'efficacité et d'efficience (DEMA/DMA, VAN, B/C) nécessite la réalisation d'une analyse coût-bénéfice. Les étapes principales d'une analyse de ce type sont résumées dans le schéma ci-après :

Figure 11 : Schéma récapitulatif des grandes étapes structurant la démarche de l'ACB (source : guide CEPRI – novembre 2011)



6.4 Méthode d'évaluation du coût des dommages par typologie d'enjeu / Fonctions de dommages appliquées

Ce chapitre vise à fournir les sources des courbes d'endommagement utilisées ainsi que les hypothèses retenues pour leur application.

6.4.1 Méthodologie générale

Le coût global des inondations sur la zone d'étude sera calculé pour les crues de période de retour **2, 5, 10, 100 et 1000 ans**.

L'analyse globale se base sur le croisement de l'aléa hydraulique (hauteurs de submersion essentiellement) avec la carte d'occupation des sols (enjeux), et l'intégration au SIG des courbes d'endommagement relatives au mode d'occupation du sol et de son usage à l'échelle du bâti disponible dans le cadastre. Les fonctions de dommages utilisées sont issues de guides méthodologiques reconnus. Dans tous les cas, seuls les dommages directs ont été chiffrés.

La correspondance entre les typologies d'enjeux identifiés préalablement et les courbes d'endommagement disponibles est fournie dans les paragraphes suivants.

Les catégories d'enjeux identifiés sur le périmètre d'étude sont :

- L'habitat ;
- Les activités économiques (entreprises dont les exploitations agricoles) ;
- Les équipements publics (administrations diverses, écoles, églises, STEP, réseau de transport ...) ;
- Le réseau de transport (routes, voies ferrées)
- Les cultures

Les bâtiments concernés par l'analyse sont ceux qui sont considérés inondables. Les hypothèses suivantes ont été retenues :

- *Bâti présentant une surface de plus de 30 m² : cette hypothèse est conforme à celle retenue dans le guide méthodologique de l'analyse multicritères de Juillet 2014.*
- *Prise en compte des hauteurs de seuil définies par des levés de terrain spécifiquement réalisés dans le cadre de cette étude (cf. 4.1.2).*

6.4.2 Hypothèses retenues pour la détermination des paramètres hydrauliques nécessaires à la détermination des montants de dommage

L'application des courbes d'endommagement relatives aux enjeux identifiés sur le périmètre d'étude nécessite la détermination des paramètres hydrauliques suivants :

- **La hauteur d'eau** : elle est directement issue des modélisations hydrauliques réalisées. Les classes de hauteurs d'eau correspondent précisément à celles demandées pour l'application des courbes de dommages (globalement : tous les 10cm à partir de 15cm d'eau).
- **La vitesse d'écoulement** : elle est directement issue des modélisations hydrauliques réalisées.
- **La durée de submersion** : les valeurs seuil déterminant les montants de dommages sont :
 - o +/- 24h (courbes d'endommagement aux activités économiques)
 - o +/- 48h (courbes d'endommagement aux établissements publics et à l'habitat)

L'expertise des résultats hydrauliques a conduit à considérer les durées de submersion suivantes :

- Entre 24 et 48h pour les événements 2 et 5 ans
- >48h pour les autres événements

6.4.3 L'habitat

6.4.3.1 Courbes d'endommagement disponibles

Le guide méthodologique de Juillet 2014 fournit des courbes de dommages pour les catégories d'habitat suivantes :

- **Individuel :**
 - o sans étage
 - o avec étage

Remarques : cette typologie d'habitat est supposée ayant un garage dans les hypothèses prises en compte pour la détermination des montants de dommages.

La détermination de la présence ou non d'un étage a été réalisée d'après les données disponibles dans la BDTopo : les bâtis inférieurs à 4m de hauteur ont été considérés comme de plain-pied.

- **Logement en collectif**

Le guide méthodologique de Juillet 2014 définit comme bâti d'habitat collectif les habitats dont la surface est supérieure à 180m².

Une fois ces typologies d'habitat définies (individuel / collectif), le guide propose deux sortes de courbes d'endommagement, applicables en fonction de l'étendue du périmètre d'étude :

- Les courbes applicables au logement : pour les périmètres couvrant des territoires communaux
- Les courbes applicables à la surface de bâtis d'habitation : pour les périmètres d'étude interdépartementaux.

A titre d'exemple, les montants de dommages suivants sont fournis :

- Pour une habitation individuelle de 100 m² de plain-pied impactée par 50cm d'eau en Q100 ans (durée de submersion > 48h) : 24 445 €
- Pour une habitation individuelle de 100 m² à étage impactée par 50cm d'eau en Q100 ans (durée de submersion > 48h) : 15 252 €
- Pour un logement collectif de 300m² par 50cm d'eau en Q100 ans (durée de submersion > 48h) : 67 704 €
- Pour une habitation individuelle de 100 m² de plain-pied impactée par 50cm d'eau en Q2 ans (durée de submersion < 48h) : 18 876 €
- Pour une habitation individuelle de 100 m² à étage impactée par 50cm d'eau en Q2 ans (durée de submersion < 48h) : 10 660 €
- Pour un logement collectif de 300m² par 50cm d'eau en Q2 ans (durée de submersion < 48h) : 49 608 €

6.4.3.2 Modalités d'application

La définition cadastrale des bâtiments permet l'application des courbes « au logement » (attribution à chaque entité bâtie). Cependant, la difficulté d'accès aux immeubles ne permet pas de déterminer le nombre de logements par bâtis d'habitation collectif, les hypothèses suivantes ont été retenues :

- ❖ **Pour le bâti individuel (surface < 180m²) :** prise en compte des courbes au logement en prenant l'hypothèse qu'un bâti abrite un logement.
- ❖ **Pour le bâti collectif (surface ≥ 180m²) :** prise en compte des courbes applicables à la surface d'habitat.

Les sous catégories avec / sans étage (pour l'habitat individuel) et avec / sans sol-sol sont prises en compte pour l'estimation des dommages.

6.4.4 Les activités économiques

Le guide méthodologique de Juillet 2014 propose l'application des courbes de l'outil standard ACB de la Mission Rhône.

Le taux d'inflation entre 2008 et 2015³ a été appliqué dans le cadre de la présente étude.

Ces courbes impliquent que l'on dispose, par entreprise, de la nature de l'activité pratiquée (rattachée à un code NAF).

Le coût des dommages directs (seuls dommages à être évalués) peut ensuite être calculé :

- De manière globale par entreprise ;
- Par salarié : ce calcul nécessite donc d'avoir des informations sur le nombre de salariés par entreprise.

Compte-tenu de l'étendue du périmètre d'étude, les montants des dommages « au salarié » sont appliqués.

La détermination du nombre de salariés est identique à celle fournie au paragraphe 5.4.1, Hormis la détermination de la typologie de la courbe d'endommagement (ci-avant) et la hauteur d'eau et durées de submersion (fournies par les résultats des modélisations hydrauliques réalisées), l'application des courbes d'endommagement disponibles nécessite la détermination du **temps d'intervention** : l'expertise ayant conduit à la mise au point de ces grilles a mis en évidence que les dommages aux entreprises étaient significativement aggravés lorsqu'aucune intervention n'avait pu avoir lieu dans les 48h après le début du sinistre. Les grilles proposent donc des valeurs de dommages dans les hypothèses où la durée du sinistre est inférieure à 48h, ces dernières sont retenues dans le cadre de la présente étude.

6.4.5 Les équipements publics

Rappel : définition d'un équipement public :

« Ensemble des installations, réseaux et bâtiments assurant à la population locale et aux entreprises les services collectifs dont elles ont besoin. » Il en existe deux types :

- **Les équipements d'infrastructure** (au sol ou en sous-sol) : voiries, réseaux de transport ou de communications, canalisations...

- **Les équipements de superstructure** (bâtiments à usage collectif) : bâtiments administratifs, équipements sportifs, écoles, mairie, commissariat, gendarmerie,...

Ils ont été regroupés en fonction des données disponibles.

6.4.5.1 Le réseau routier (infrastructure)

Les valeurs d'endommagement utilisées sont issues de l'étude « *Méthode simple d'évaluation de la population bénéficiaire et de l'intérêt des travaux économiques des travaux réalisés* » (SCE – 2007) disponibles dans le guide « *Evaluation de la pertinence des mesures de gestion du risque inondation – Manuel des pratiques existantes* » (CEPRI - Juin 2008).

Le tableau ci-après reprend les valeurs « brutes » fournies dans le guide (en € 2007).

³ La valeur 2015 n'est pas disponible au moment de l'édition du présent rapport.

Tableau 15 : Grille d'endommagement de la voirie (source : Guide CEPRI « Evaluation de la pertinence des mesures de gestion du risque inondation » - 2007)

Usage	Type	Unité	Hauteur d'eau (m)	Valeur (€ 2007)			Ratio d'endommagement
				minimum	moyenne	maximum	
Voiries / Routes	Routes	/ m ²	< 0.5m	20 €	60 €	100 €	20%
			0.5 – 1m				60%
			> 1m				100%
	Voirie avec trottoir	/ m ²	< 0.5m	30 €	70 €	110 €	20%
			0.5 – 1m				60%
			> 1m				100%

Le tableau ci-après fournit les valeurs applicables dans notre cas, prenant en compte :

1. L'inflation entre 2007 et 2015 ;
2. La correspondance entre les typologies de voiries disponibles dans la BDTopo et celle des courbes d'endommagement utilisées ;
3. Un coût de dommage au kilomètre de voirie.

Tableau 16 : Grille d'endommagement de la voirie en € 2015 – Correspondance avec les données disponibles dans la BDTopo

Type	Nature de l'attribut de la classe « Route » de la BDTopo	Unité	Hauteur d'eau (m)	Valeur (€ 2014) ⁴	Valeurs de dommages estimées	
					m ²	Km*
Routes	Route à 1 chaussée Bretelle Autre	/ m ²	< 0.5m	22 €	4 €	22 000 €
			0.5 – 1m		13 €	66 000 €
			> 1m		22 €	110 000 €
Voirie avec trottoir	Quasi-autoroute (2 * 2 voies)	/ m ²	< 0.5m	121 €	24 €	605 000 €
			0.5 – 1m		73 €	1 815 000 €
			> 1m		121 €	3 025 000 €
	Route à 2 chaussées (2 * 1 voie)	/ m ²	< 0.5m	77 €	15 €	184 800 €
			0.5 – 1m		46 €	554 400 €
			> 1m		77 €	924 000 €

* Les résultats au kilomètre sont des valeurs arrondies.

Remarque : les « sentiers » et « routes empierrées » de la BDTopo correspondent à des routes goudronnées sur le terrain, on applique donc la courbe « Routes » pour ces catégories.

Une majoration de 25% est ensuite appliquée (hors catégories « sentiers » et « routes empierrées ») afin de prendre en compte les dommages aux réseaux secs et humides présents en nombre sous les routes / voies ferrées du périmètre d'étude.

⁴ Rappel : 1€ 2007 = 1.1€ (2014) – Source INSEE

6.4.5.2 Les équipements publics (superstructures)

Le guide méthodologique de Juillet 2014 fourni 6 courbes d'endommagement spécifiques aux établissements suivants :

- Courbe A. Etablissements scolaires
- Courbe B. Etablissements d'incendie et de secours
- Courbe C. Centres techniques municipaux
- Courbe D. Mairies/ centres administratifs
- Courbe E. Commissariats de police/ gendarmeries
- Courbe F. Hébergements

La détermination de ces enjeux a été réalisée sur la base des données issues de la BDTopo et des investigations de terrain.

6.4.6 Les cultures

Le guide méthodologique de réalisation des AMC de juillet 2014 fourni des courbes d'endommagement spécifiques à la détermination du montant des dommages aux cultures.

Les différentes cultures considérées sont :

1. Le blé tendre
2. Le maïs grain et ensilage
3. L'orge
4. Les autres céréales
5. Le colza
6. Le tournesol
7. Les autres oléagineux
8. Les autres cultures industrielles
9. L'arboriculture et les vergers
10. Les vignes
11. Les légumes-fleurs
12. Le fourrage
13. Les prairies permanentes
14. Les prairies temporaires

Les cultures étant peu présentes sur le périmètre d'étude, elles ont été déterminées d'après les visites de terrain. Une gazonnière, une zone de maraichage et le jardin botanique 'le Jardin d'Eden » ont été identifiées.

Les paramètres pris en compte pour l'attribution des montants de dommages aux cultures sont :

1. La hauteur d'eau / vitesse du courant :

Disponible dans les simulations hydrauliques réalisées.

2. Durée de submersion :

Les modélisations hydrauliques et retour d'expérience sur les événements passés ont permis de considérer (correspondance avec les paramètres d'application des courbes d'endommagement du CGDD) :

- Une durée « longue » (entre 5 et 10 jours) : en situation actuelle
- Une durée « moyenne » (entre 2 et 4 jours) : en situation aménagée

3. La saison :

Ce paramètre vise à définir la saison la plus probable pour la survenance d'une inondation. Les courbes ont été définies d'après le climat en France métropolitaine (4 saisons).

Cependant, le périmètre d'étude se situe à la Réunion sous un climat tropical (2 saisons : la saison chaude et humide, de novembre à avril, et la saison plus sèche et plus fraîche, de mai à octobre).

Des précipitations importantes peuvent survenir pendant l'été austral : c'est la saison des cyclones tropicaux, qui perturbent l'île une ou deux fois par an en moyenne, pendant quelques jours.

Afin de traduire la violence et la brutalité de ces événements, les montants de dommages les plus forts disponibles ont été considérés pour les paramètres évoqués précédemment : ils correspondent au printemps.

6.4.7 Résultats de l'évaluation du montant des dommages avant et après aménagement

L'application des courbes d'endommagement décrites aux paragraphes précédents donnent les résultats synthétisés dans le tableau suivant :

Tableau 17 : Récapitulatif des montants de dommages par enjeu et par période de retour

Nature des enjeux monétarisés	T=2ans						T=5ans						T=10ans						T=100ans						T=1000ans					
	Etat actuel	%	Etat aménagé	%	Incidence	%	Etat actuel	%	Etat aménagé	%	Incidence	%	Etat actuel	%	Etat aménagé	%	Incidence	%	Etat actuel	%	Etat aménagé	%	Incidence	%	Etat actuel	%	Etat aménagé	%	Incidence	%
Habitat	4 557 690	61%	783 534	81%	3 774 156 €	83%	13 166 876	64%	974 696	57%	12 192 180 €	93%	27 633 832	69%	1 595 752	61%	26 038 080 €	94%	47 061 302	64%	2 471 505	66%	44 589 797 €	95%	54 085 520	62%	28 143 159	72%	25 942 361 €	48%
Activités économiques	2 529 214	34%	107 174	11%	2 422 039 €	96%	6 297 856	31%	581 236	34%	5 716 620 €	91%	9 829 186	24%	650 648	25%	9 178 538 €	93%	21 899 294	30%	698 934	19%	21 200 360 €	97%	27 951 219	32%	8 288 450	21%	19 662 769 €	70%
Etablissements publics	208 163	3%	0	0%	208 163 €	100%	556 305	3%	51 982	3%	504 323 €	91%	1 935 791	5%	229 927	9%	1 705 864 €	88%	2 522 172	3%	343 191	9%	2 178 981 €	86%	2 674 404	3%	1 649 416	4%	1 024 989 €	38%
Réseau routier	145 084	2%	47 807	5%	97 277 €	67%	496 632	2%	75 563	4%	421 069 €	85%	741 855	2%	93 085	4%	648 771 €	87%	1 529 181	2%	180 317	5%	1 348 864 €	88%	1 926 856	2%	972 774	2%	954 082 €	50%
Cultures	28 079	0%	25 129	3%	2 950 €	11%	41 882	0%	38 519	2%	3 363 €	8%	47 028	0%	45 041	2%	1 988 €	4%	52 397	0%	52 882	1%	-485 €	-1%	54 233	0%	54 627	0%	-394 €	-1%
TOTAL	7 468 230 €		963 644 €		6 504 585 €	87%	20 559 551 €		1 721 996 €		18 837 555 €	92%	40 187 693 €		2 614 453 €		37 573 240 €	93%	73 064 347 €		3 746 830 €		69 317 517 €	95%	86 692 233 €		39 108 426 €		47 583 807 €	55%

Figure 12 : Illustration de la répartition des montants de dommages par typologie d'enjeu

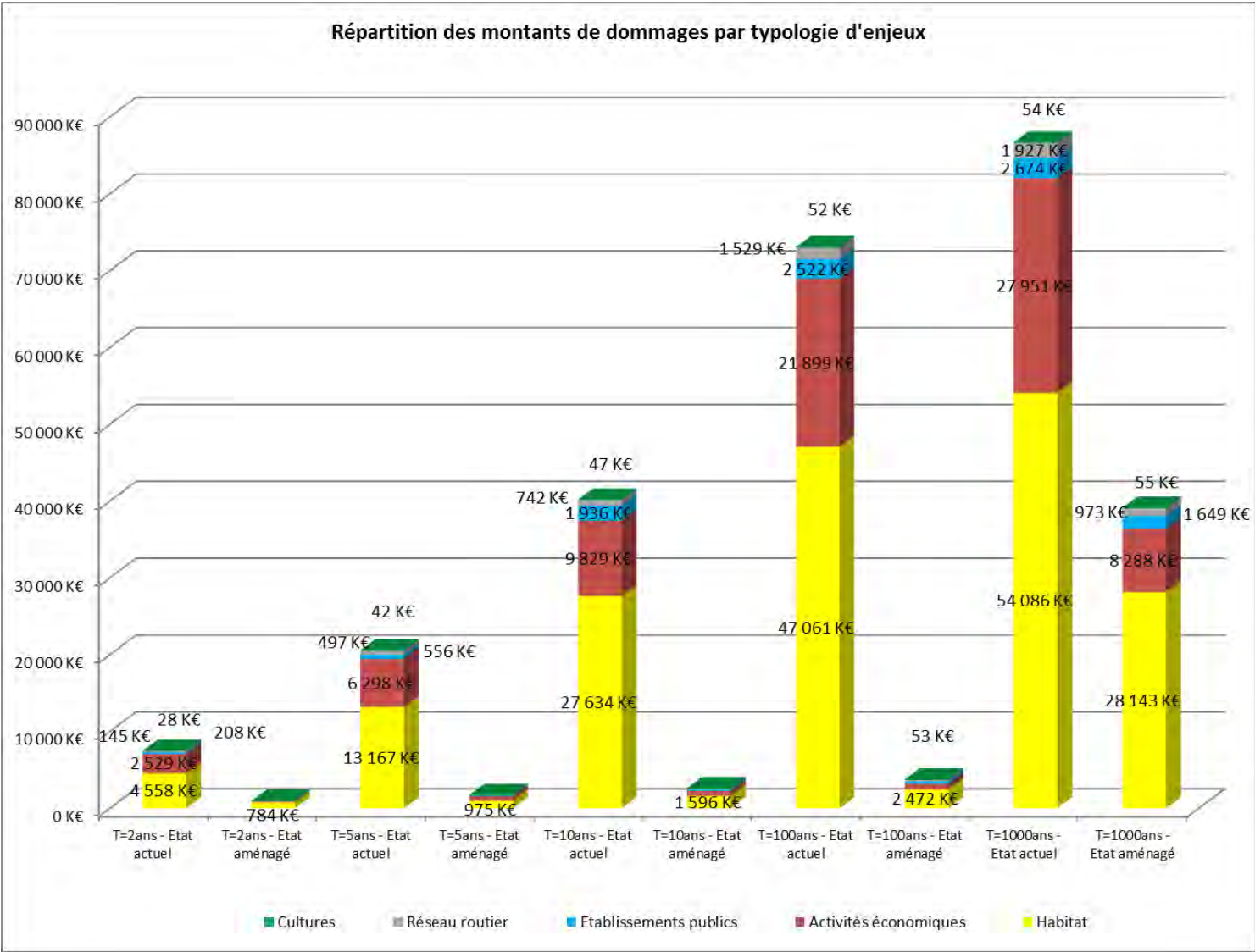


Figure 13 : Comparaison des montants de dommages état actuel et aménagé

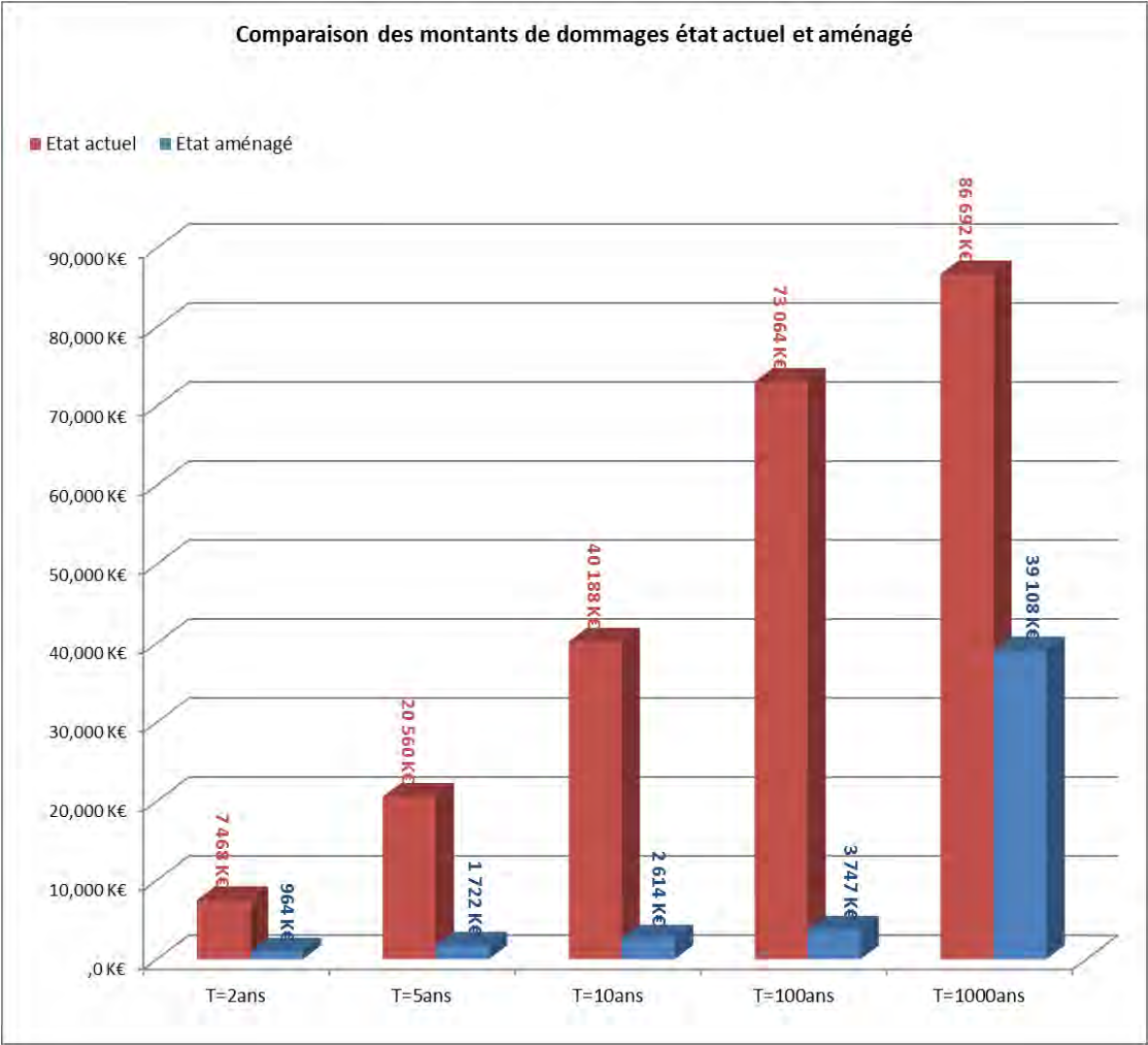


Figure 14 : Illustration de la répartition des DOMMAGES EVITES par typologie d'enjeu

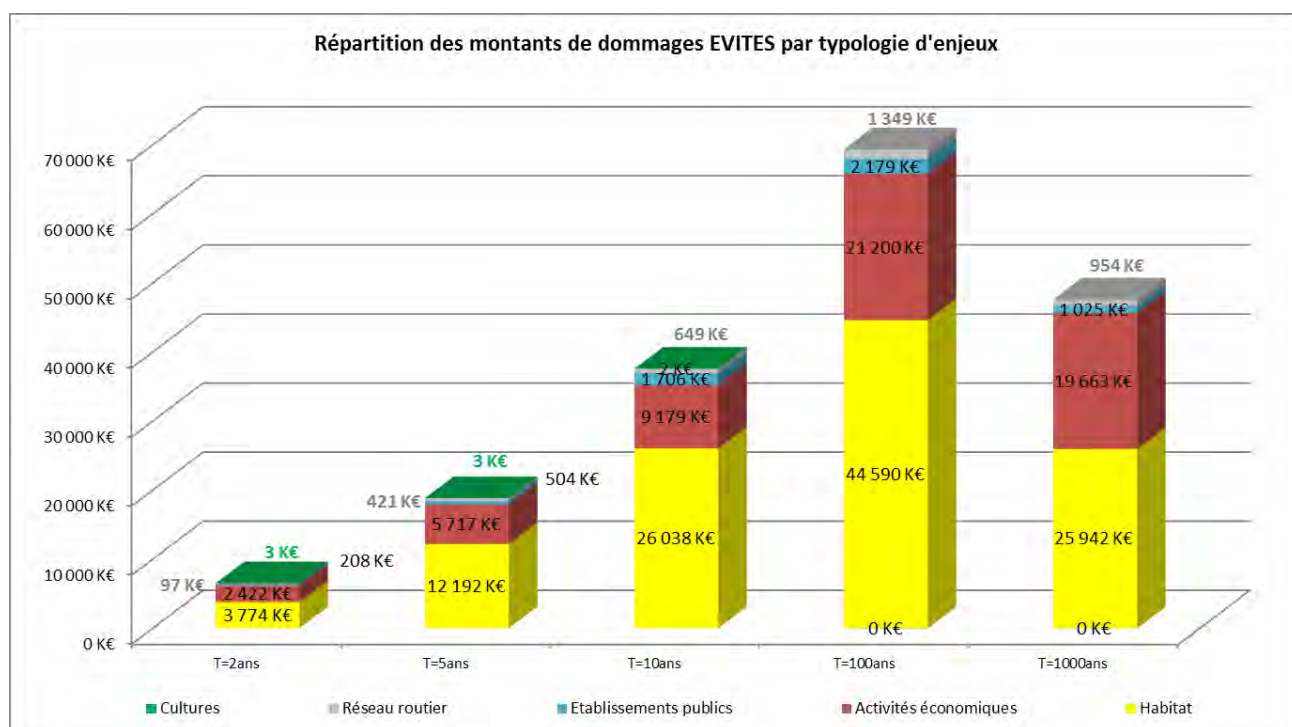
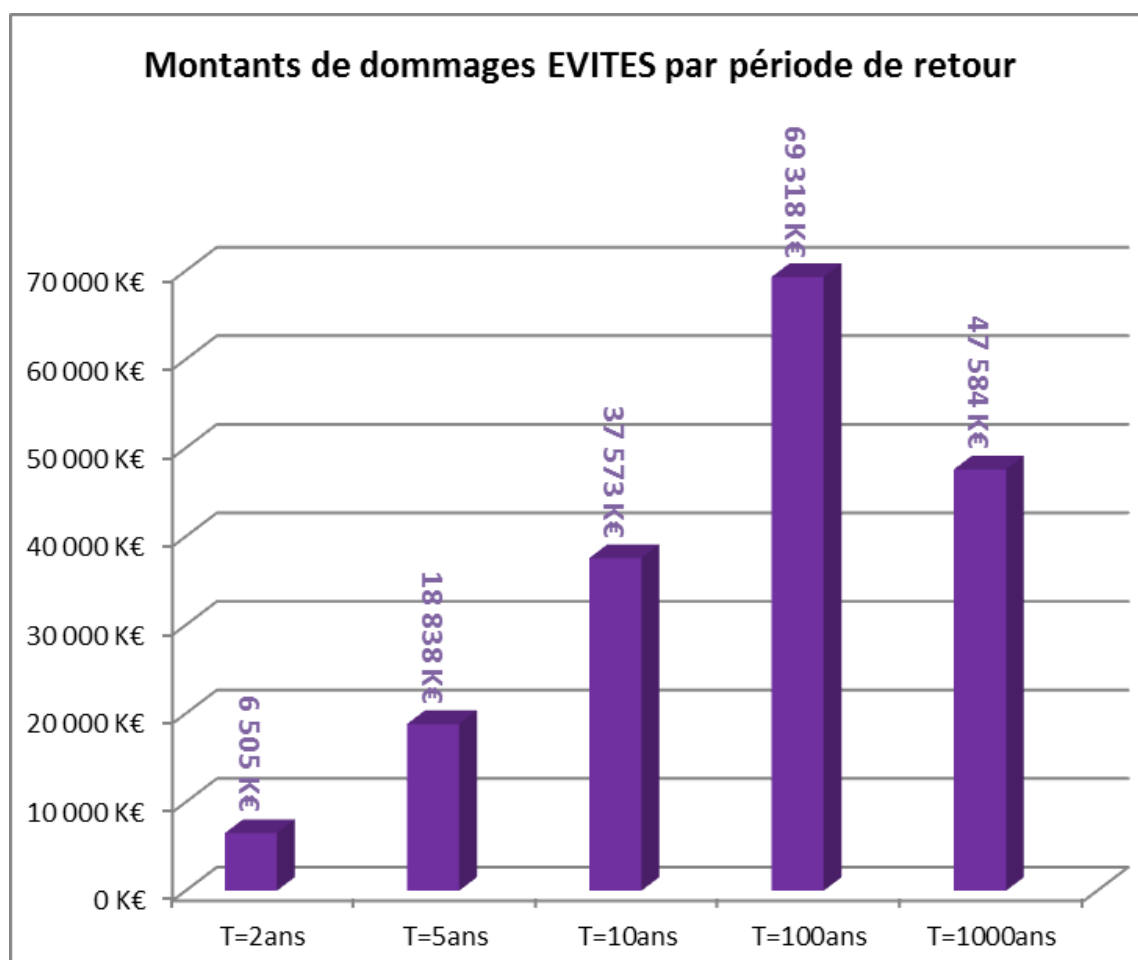


Figure 15 : Illustration de la répartition des DOMMAGES EVITES par période de retour



Ces résultats montrent :

- Des dommages état actuel majoritairement associés aux habitations

En situation actuelle la répartition des dommages se caractérise de la manière suivante :

- 60 à 70% des dommages sont liés aux habitations
- Entre ¼ et 1/3 des dommages sont relatifs aux entreprises
- 3 à 5% aux établissements publics
- 2% aux infrastructures routières
- <1% aux cultures

- Les habitations : enjeu protégé prépondérant aux travers des dommages évités.

La répartition des dommages par typologie d'enjeu état actuel est similaire à celle des dommages évités par évènement.

Les habitations représentent environ 2/3 des dommages évités et les entreprises environ 1/3.

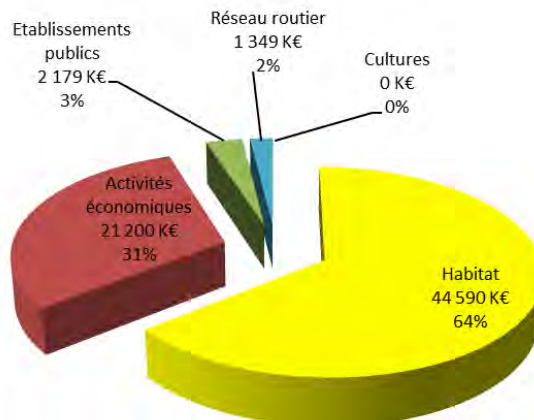
La réduction des dommages aux établissements publics est au réseau routier est nettement moins importante (entre 3 et 5% des dommages évités).

On note également une incidence négative de la création des casiers sur les cultures : cependant, elle n'est identifiée que pour les évènements 100 et 1000 ans et représentent moins de 1% d'augmentation.

La figure suivante illustre cette répartition :

Figure 16 : Répartition des dommages évités par typologie d'enjeux pour la crue centennale (de dimensionnement)

Répartition des dommages EVITES par typologie d'enjeux pour la crue 100 ans



- Une réduction des montants de dommages de 87% en Q2 ans à 95% en crue centennale

Les enjeux de 13 des 15 ravines du périmètre d'analyse sont totalement protégés jusqu'à la crue centennale.

Bien que des enjeux restent inondables (dès la Q2ans) sur les ravines des Sables et des Corallines, le projet apporte une amélioration de la situation actuelle pour toutes les crues analysées (y/c la Q1000 ans) : les emprises inondées et les hauteurs d'eau sont moins importantes qu'en état actuel.

- Une incidence notable pour l'évènement extrême (Q 1000 ans) :

On note encore une incidence importante des aménagements pour une crue millénale où les dommages sont réduits de 55%.

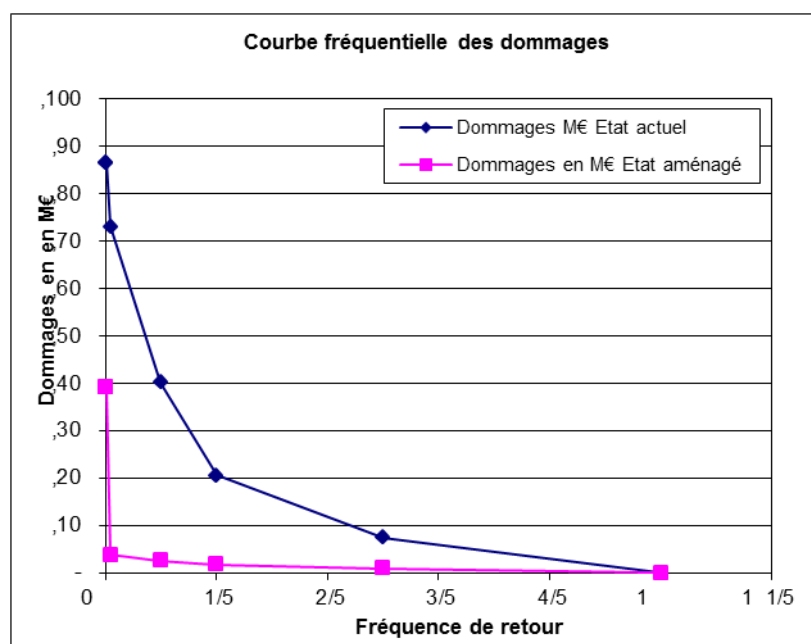
6.5 Les bénéfices liés au projet : dommages moyens annuels (DMA) et dommages évités (DEMA)

Selon la même méthodologie que celle décrite au paragraphe 5.2, on obtient les résultats suivants :

Tableau 18 : Tableau de calcul du DMA / DEMA

Paramètres des scénarios hydrologiques			Dommages M€ Etat actuel	Dommages en M€ Etat aménagé
Nom	T	F		
Crue non débordante état actuel	1	1.000	-	-
le scénario engendrant les premiers dommages	2	0.500	7.468	0.964
scénario d'aléa de probabilité fréquente ou moyenne, de $T_r < \lambda$ la T_r de dimensionnement	5	0.200	20.560	1.722
	10	0.100	40.188	2.614
Scénario de dimensionnement	100	0.010	73.064	3.747
Scénario d'aléa extrême	1000	0.001	86.692	39.108
Crue "infinie"	infinie	-	87	39
	coef	1	DMA état actuel	DMA état aménagé
			15.01 M€	1.38 M€
			DEMA	
			13.63 M€	

Figure 17 : Courbe fréquentielle de dommages



Ainsi, on retient les résultats suivants :

DMA état actuel = 15 M€
DMA état aménagé = 1.4 M€
DEMA = 13.6 M€

Le dispositif de protection des secteurs de la Saline-les-Bains et l'Ermitage-les-Bains contre les crues des ravines permet d'éviter 13.6M€ de dommages tous les ans, en moyenne. Cette valeur traduit l'écart notable entre les courbes fréquentielles de dommages état actuel et état aménagé présentées sur la figure précédente.

6.6 Rapport des dommages évités (moyens annuels) grâce au projet sur les dommages (moyens annuels) en situation de référence

Identifié comme le premier des indicateurs monétaires, il vise à fournir le ratio suivant :

DEMA / DMA du scénario de référence

Est défini comme scénario de référence, le scénario avant réalisation des aménagements, dans notre cas, il correspond à l'état actuel.

Ainsi, on obtient :

$$\text{DEMA / DMA état actuel} = 15.01 / 1.38 \\ = \underline{\underline{91\%}}$$

Ce critère montre que les dommages évités par la mise en place du projet représentent plus de 90% des dommages actuels (en moyenne annuelle).

En d'autres termes, les aménagements permettent de réduire de 91% des dommages potentiels moyens dus aux inondations des ravines : le projet est donc très performant en termes de réduction des dommages monétaires.

6.7 Calcul des critères de décision de l'ACB (VAN et ratio bénéfice-coût)

Nous exposons ici le calcul de la valeur actualisée nette, qui correspond à la différence entre les bénéfices du projet (les dommages évités par le projet dans la méthode présentée) et les coûts d'aménagement.

C'est une étape-clé de l'analyse coût-bénéfice (ACB).

6.7.1 Hypothèses

➤ Les coûts d'entretien :

Il est proposé de retenir un ratio de 2% du montant d'investissement pour estimer les coûts d'entretien annuel relatifs aux aménagements. Ce ratio est

Ce paramètre sera soumis à variation dans l'analyse de sensibilité réalisée (cf.6.8).

- Pour les bénéfices, nous nous sommes basés sur les Dommages Évités Moyens Annuels (DEMA).
- Les coûts et bénéfices ont ensuite été actualisés avec les **taux d'actualisation** comme recommandés par le Commissariat Général au Plan (CGP 2005). Il s'agit d'un taux fixe de 2.5% tel que défini dans le rapport Quinet et préconisé dans le guide méthodologique de réalisation des AMC de juillet 2014.
- **La période de retour de la première crue engendrant des dommages** est évaluée par les modélisations hydrauliques réalisées à **1 an** pour l'état actuel (cf. 3.1).
- **La durée de vie** d'ouvrages de type digue se situe entre 35 et 100 ans selon le FEMA (**Federal Emergency Management Administration**, États-Unis). En France, **un horizon temporel de 50 ans** est retenu pour analyser la rentabilité et l'efficacité des ouvrages hydrauliques.

6.7.2 Le calcul des critères de décision de l'ACB

Ce paragraphe vise à fournir les formules de calcul utilisées pour :

- a. Le critère de Kaldor-Hicks / Valeur actualisée Nette :

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{1}{(1+r)^i} (B_i - C_i)$$

- b. Le ratio bénéfices-coûts :

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{(1+r)^i} \frac{B_i}{C_i}$$

Avec :

B : les bénéfices liés au projet

C : les coûts du projet

n : la durée de vie considérée

r : le taux d'actualisation

6.7.3 Résultats

Afin de faciliter la lecture des résultats, il est convenu pour l'ensemble des valeurs du ratio bénéfices – coût fournies dans le présent rapport d'utiliser un code couleur qui sera fonction de la fiabilité du résultat annoncé :

Fiable pour un ratio ≥ 1.2 **Moyennement Fiable** pour $1 \geq \text{ratio} > 1.2$ **Peu fiable** pour un ratio < 1

Tableau 19 : Critères de décision de l'ACB : résultats

Critère considéré	Résultat
VAN à 50ans	<u>337.36 M€</u>
VAN > 0	<u>3 ans</u>
Ratio bénéfices – coût à 50 ans*	<u>7.86</u>
Montant d'investissement (rappel)	31.44 M€HT

Ces résultats montrent que le dispositif de protection des secteurs de la Saline-les-Bains et l'Ermitage-les-Bains sont économiquement rentables dès la 3^{ème} année après leur réalisation. A l'horizon 50 ans (visé pour définir l'efficacité d'un projet), le gain (représenté par la DEMA cumulée sur 50 ans) dépasse l'investissement réalisé et un gain de plus de 337 M€ est calculé. Pour 1€ d'investissement, le projet engendre 7.86 € de dommages évités : le programme d'aménagement est donc très performant d'un point de vue économique.

6.8 Analyse de sensibilité

6.8.1 Principe

L'analyse de sensibilité vise à estimer la robustesse des résultats fournis précédemment en estimant la contribution de chaque paramètre d'entrée à la variabilité des résultats de sortie du modèle.

Les paramètres dont les variations conditionnent la robustesse finale des résultats de l'analyse économique sont :

- Le montant du coût d'investissement
- Le taux estimé pour l'entretien / fonctionnement annuel des ouvrages
- Le montant des dommages
- Les périodes de retour des événements considérés

Le tableau ci-après fournit les incertitudes forfaitaires proposées par défaut par le CGDD (dans le guide méthodologique de réalisation des AMC de juillet 2014) pour les différents paramètres soumis à variations :

Tableau 20 : Incertitude forfaitaire proposée par défaut pour différents paramètres d'entrée. Source: CGDD.

Coûts des dommages	+/- 50 %
Coût d'investissement	+/- 50 %
Coûts d'entretien	[1 %; 5 %] du coût d'investissement

Les variations proposées par défaut par le CGDD ne semblent pas en adéquation avec le niveau de définition du projet (PRO).

Afin de prendre en compte les études détaillées de définition du projet d'ores et déjà disponibles, il est proposé de retenir les variations suivantes :

Tableau 21 : Incertitudes forfaitaires retenues pour différents paramètres d'entrée

Paramètre	Variation retenue
Coût des dommages	+/- 50% (idem prescriptions CGDD)
Coût d'investissement	+/- 20%
Coûts d'entretien et de fonctionnement	0.5 à 3%

Les variations des périodes de retour prises en compte sont :

Tableau 22 : Variations retenues pour les périodes de retour des crues considérées

Evènement considéré	Valeur dans l'analyse initiale	Borne inférieure	Borne supérieure
Evènement de 1 ^{er} débordement	2 ans	1 an	3 ans
Scénarios d'aléa de probabilité fréquente ou moyenne, de période de retour inférieure à la période de retour de dimensionnement	5 ans	3 ans	7 ans
	10 ans	7 ans	13 ans
Crue de dimensionnement	100 ans	80 ans	120 ans
Crue extrême	1 000 ans	800 ans	1 200 ans

6.8.2 Méthodologie proposée : présentation du logiciel @risk

Compte tenu des incertitudes qui entourent la réalisation des analyses coût-bénéfice, il est proposé de construire **un modèle probabiliste : @risk**, équivalent du logiciel R préconisé dans le guide méthodologique de réalisation des AMC de juillet 2014.

Cela signifie que plutôt que d'attribuer une seule valeur déterminée aux variables du modèle pour lesquelles il existe une forte incertitude, c'est une distribution de probabilité qui leur sera attribuée. De ce fait, les résultats sont eux aussi exprimés selon leur probabilité d'occurrence.

Une fonction de Pert permettra de définir la variation de certaines données du modèle. Cette fonction possède les mêmes caractéristiques qu'une loi normale mais permet de définir des valeurs bornes (minimum et maximum). La densité de probabilité est centrée sur la valeur retenue dans l'analyse initiale (et varie en fonction des incertitudes fixées dans les tableaux du paragraphe précédent).

Des lois de probabilité appliquées aux variables retenues sont disponibles en **Annexe 3** : les valeurs suivantes sont fournies :

- Maximales
- Minimales
- Moyennes
- L'écart type

Lors de la simulation, l'ensemble des variables retenues (coût des dommages, de l'investissement, de l'entretien) sont prises en compte de manière simultanée.

Grâce à cette méthode (méthode de Monte Carlo), on obtient une plage complète de résultats possibles, et les probabilités de les voir se réaliser.

Dans le cadre de cette simulation, le modèle est recalculé 10 000 fois à chaque fois que de nouvelles valeurs aléatoires dans les lois de probabilité spécifiées sont prises en compte.

Cette méthode de calcul est identique à celle proposée par l'Irstea dans le guide des AMC via l'utilisation du logiciel « R ».

6.8.3 Les résultats

Les 10 000 simulations réalisées fournissent les résultats suivants, synthétisés dans le tableau :

Tableau 23 : Synthèse des résultats de l'analyse de sensibilité

	VAN (M€)	Ratio B/C
Valeur moyenne	346.42 M€	8.26
Valeur extrême maximale	584.12 M€	16.29
Valeur extrême minimale	171.62 M€	3.92
Ecart type	53.08	1.47
Intervalle de valeurs dans 90% des cas	262.8 M€ / 437.9 M€	6.1 / 10.89
Probabilité d'un résultat positif (VAN>0 – B/C>1)	100%	

Sur les 10 000 simulations réalisées, toutes ont donné un résultat positif permettant de confirmer la rentabilité des aménagements réalisés.

Les aménagements proposés sont efficaces dans tous les cas de figures simulés.

Les figures ci-après illustrent les résultats obtenus dans le cadre de l'analyse de sensibilité.

Figure 18 : Résultats de l'analyse de sensibilité sur la variation de la VAN à 50ans

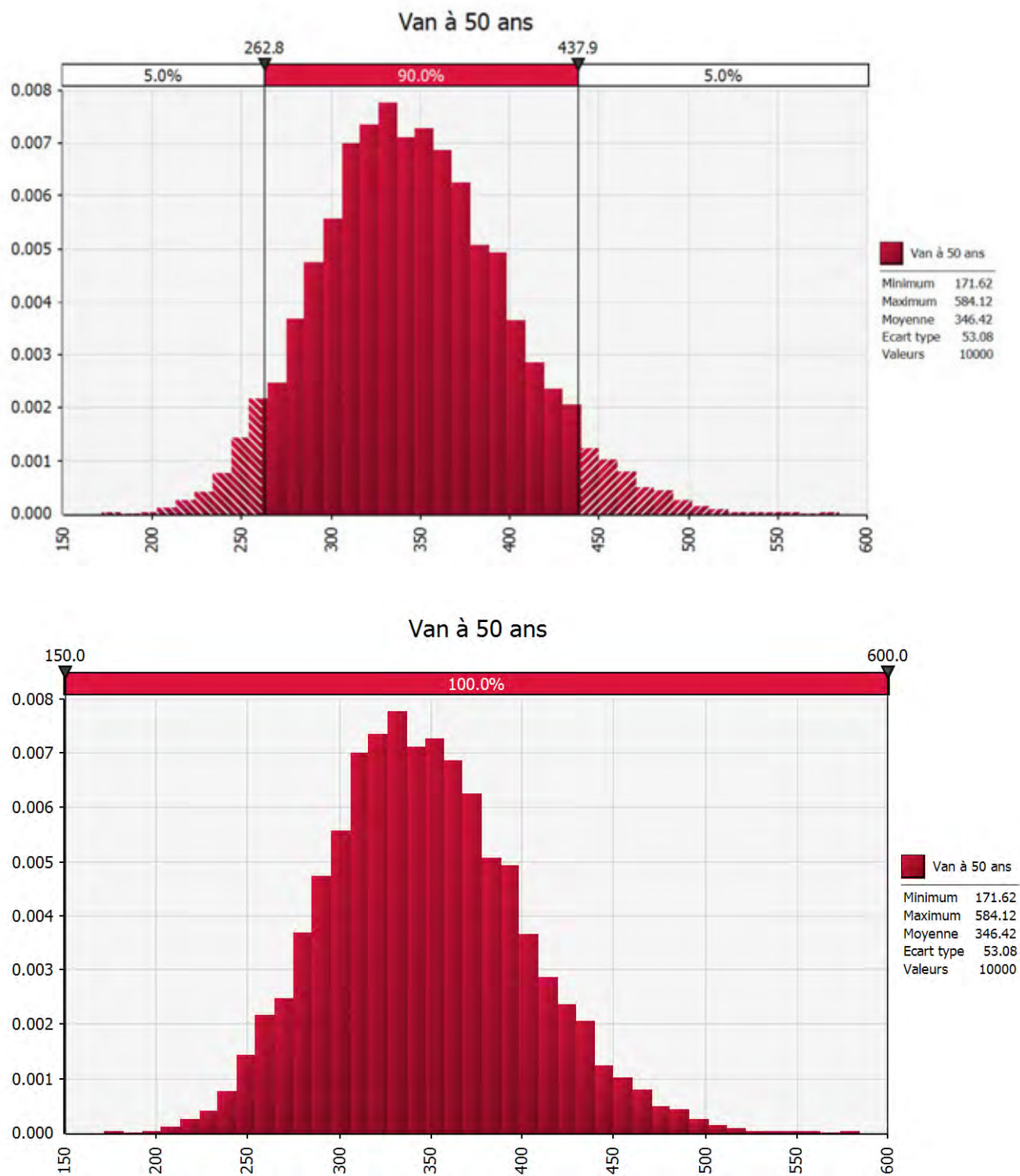
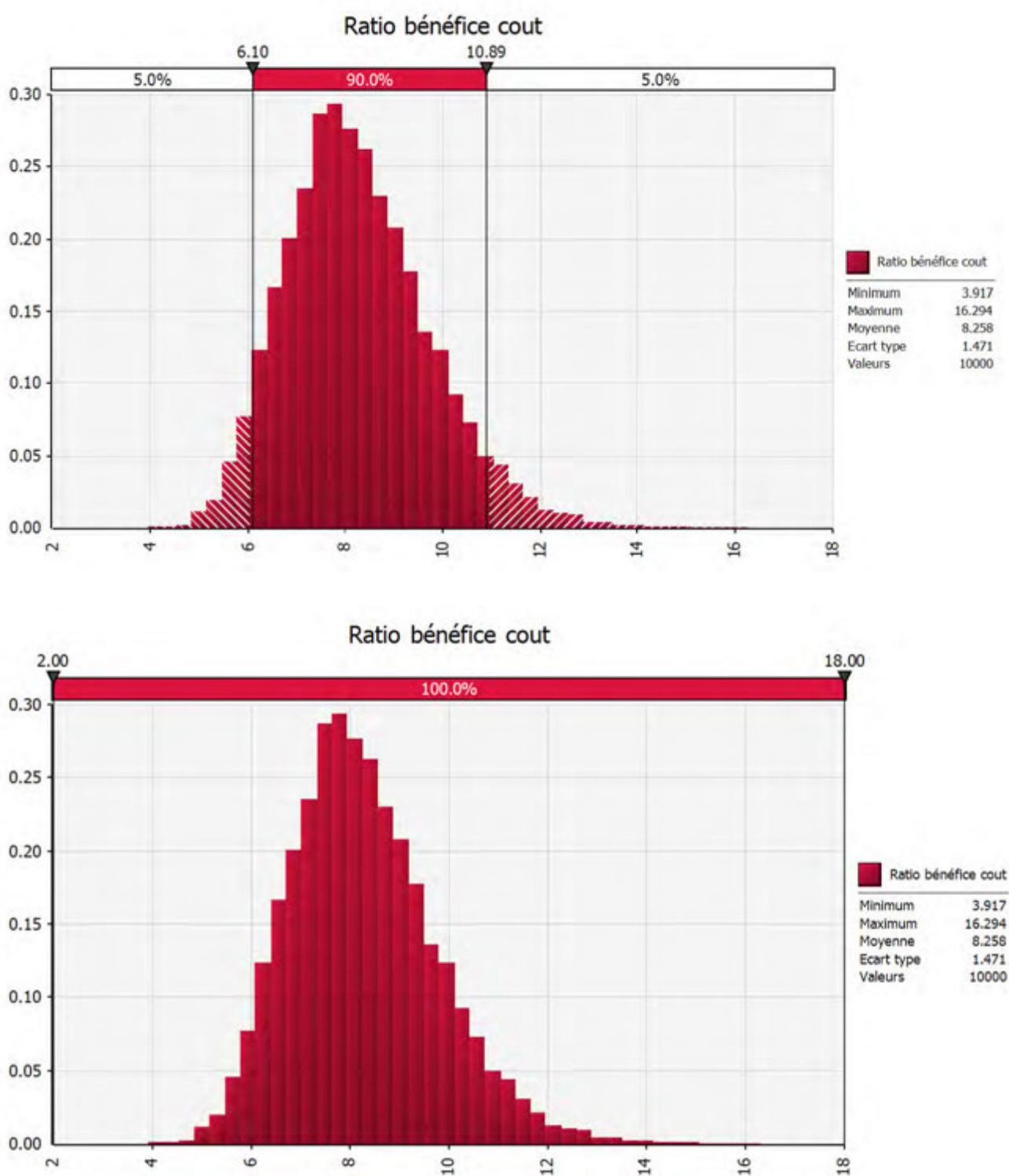


Figure 19 : Résultats de l'analyse de sensibilité sur variation ratio bénéfice-coût à 50ans



7. Récapitulatif des valeurs des critères synthétiques - Conclusion

Ce chapitre vise à synthétiser dans un tableau l'ensemble des valeurs des critères synthétiques de l'AMC obtenus ainsi que leur critique.

Tableau 24 : Tableau synthétique des résultats de l'analyse synthétique réalisée

Objectifs	Indicateur synthétique considéré	Résultats HERMITAGE
Mesurer l'efficacité	NEMA Habitants	1 040
	NEMA Emplois	130
	DEMA	13.64 M€
	DEMA / DMA référence	91%
Mesurer le rapport coût-efficacité	Coût d'investissement	31.44 M€
	Coût d'investissement actualisé* à l'échéance 50ans (C actualisé)	49.33 M€
	C actualisé / NEMA Habitants	47 429 € / habitant protégé Soit 949 € / habitant protégé / an
	C actualisé / NEMA Emplois	380 134 € / emploi protégé Soit 7 603 € / emploi protégé / an
Mesurer la rentabilité	VAN	337 356 K€
	Horizon temporel à partir duquel VAN > 0	3 ans
	B / C	7.86

* Prise en compte des coûts de fonctionnement et d'entretien annuel ainsi que du taux d'actualisation.

Les valeurs des indicateurs obtenues mettent en évidence l'efficacité et la rentabilité des aménagements de protection contre les inondations des ravines sur les quartiers de la Saline-les-Bains et l'Ermitage-les-Bains.

D'un point de vue économique (rentabilité)...

Les résultats économiques mettent en évidence la nette performance économique des aménagements proposés.

Ils sont économiquement rentables 3 ans après leur réalisation : cet horizon temporel est très inférieur à l'échéance des 50 ans visée pour qualifier l'efficience des projets.

A cet horizon (50 ans) :

Pour 1 € d'investissement, on gagne 7.86 € de dommages évités. Les montants financiers engagés sont donc amortis : ils sont très inférieurs au 13.6 M€ de dommages évités annuel apportés par le projet et permettent un gain de plus de 337 M€ à l'échéance 50 ans.

Ces résultats sont consolidés par l'analyse de sensibilité réalisée qui montrent que la VAN et le ratio bénéfice-coût présentent des valeurs acceptables ($VAN > 0$ – $B/C > 1$) dans 100% des 10 000 simulations réalisées.

Concernant la protection des enjeux (efficacité)...

Les aménagements apportent une protection notable dès la Q2ans avec une réduction de 87% des dommages (soit 6.5M€ de dommages évités). Cette incidence augmente avec l'importance des crues jusqu'à atteindre 95% de réduction pour une crue centennale (soit 69.3M€ de dommages évités).

On note encore une incidence importante des aménagements pour une crue millénale où les dommages sont réduits de 55%.

Les enjeux de 13 des 15 ravines du périmètre d'analyse sont totalement protégés jusqu'à la crue centennale.

Bien que des enjeux restent inondables (dès la Q2ans) sur les ravines des Sables et des Coralines, le projet apporte une amélioration de la situation actuelle pour toutes les crues analysées (y/c la Q1000 ans) : les emprises inondées et les hauteurs d'eau étant moins importantes qu'en état actuel.

Les aménagements protègent principalement des entreprises et des habitations et permettent de réduire d'environ 90% les montants de dommages jusqu'à la crue centennale et encore de 55% pour la crue millénale.

Ainsi, les indicateurs relatifs aux habitants et aux emplois présentent un intérêt et permettent de critiquer l'efficacité du projet sur la protection des personnes et des biens.

En situation actuelle, on estime à presque 4 000 le nombre de personnes exposées à la crue de dimensionnement des ouvrages (Q100) et 625 emplois. Le programme d'aménagement réduit ce nombre à 409 habitants (-90%) et 30 emplois (-95%) soit une moyenne annuelle de 1 040 habitants et 130 emplois protégés.

Concernant le coût-efficacité...

A l'heure actuelle, il est encore difficile de critiquer les valeurs obtenues sur les indicateurs de coût-efficacité. On rappelle qu'ils représentent ce que la société consent à payer pour protéger les principaux enjeux en zone inondable, en l'occurrence, la population.

Cependant, Egis Eau ayant participé à la réalisation de multiples AMC de ce type, il est possible de mettre en relation les valeurs obtenues de l'indicateur C actualisé / NEMA avec celles obtenues sur des territoires dont les PAPI ont été labellisés. Ainsi, nous avons exploité les résultats des AMC réalisées pour les PAPI suivants : Calavon-Coulon, Cagne, Estuaire (Bordeaux Métropole), Ouvèze Provençale, Montesson / Sartrouville (inclus dans PAPI Seine) et Draguignan (aménagements de la Riaille inclus dans le PAPI Argens).

Le NEMA habitants présente une valeur très supérieure à celle obtenues d'autres bassins versant : 64 sur le bassin versant de la Riaille à Draguignan, 123 sur Montesson Sartrouville ou (la plus forte dont nous disposons) : 484 pour Bordeaux Métropole.

Le montant d'investissement par habitant protégé tous les ans calculés (<1000€) est la valeur la plus faible dont nous disposons : 1.2 K€ (pour le PAPI Ouvèze provençale), 2K€ (PAPI Yser sur les cours d'eau Yser / Peene Becque) à 4.9 K€ (pour Draguignan).

La protection apportée par les aménagements sur les habitations de la commune de Saint-Paul est donc meilleure que celle de la dizaine de programmes d'action PAPI analysés jusqu'à lors.

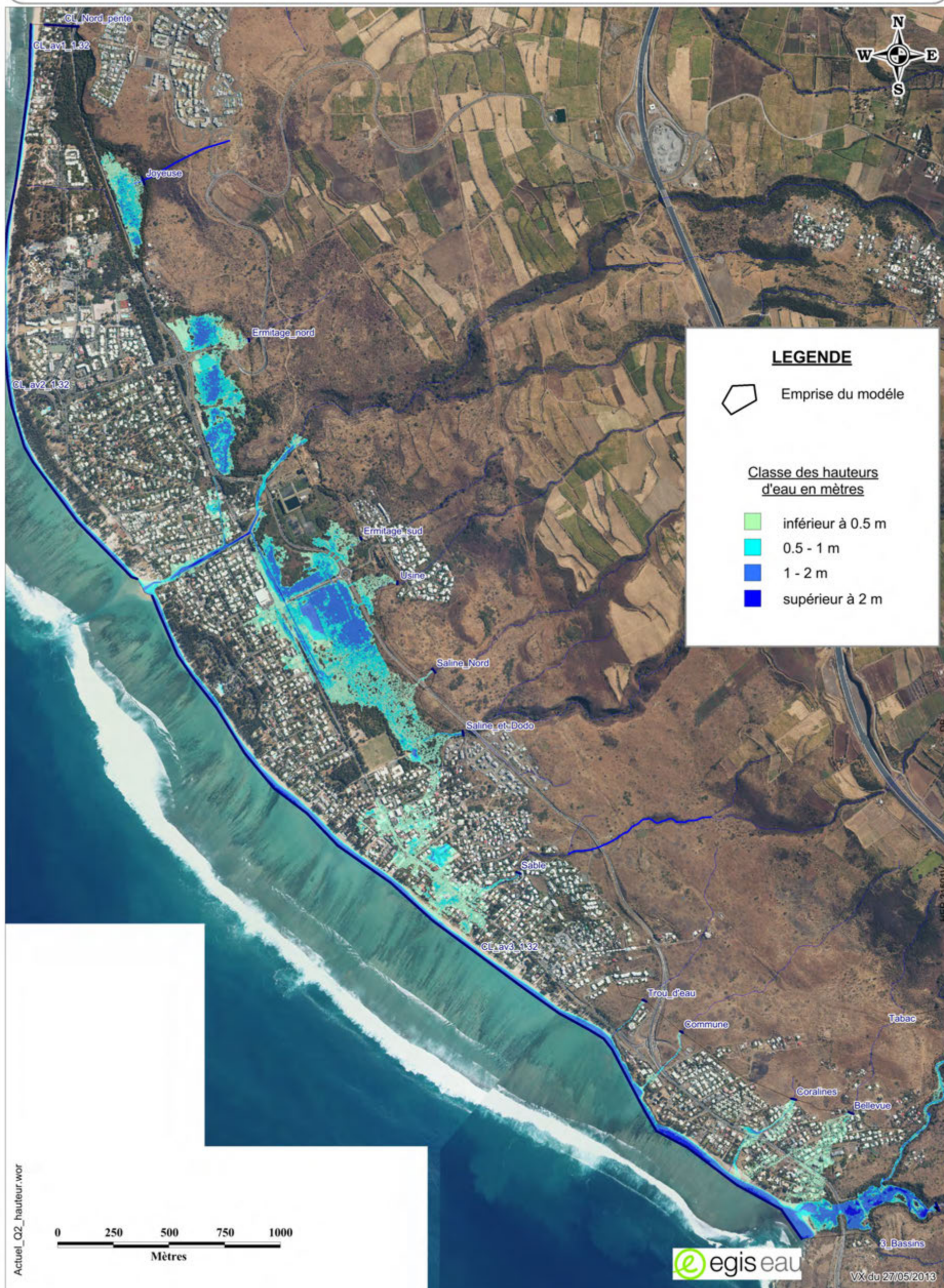
Le montant d'investissement par emploi protégé tous les ans est de 10K€ : sur les autres territoires comparables⁵, cet indicateur varie entre 3.7 K€ (Draguignan : valeur la plus basse) à 10.2K€ (Bordeaux) ou 15.6K€ (Ouvèze Provençale).

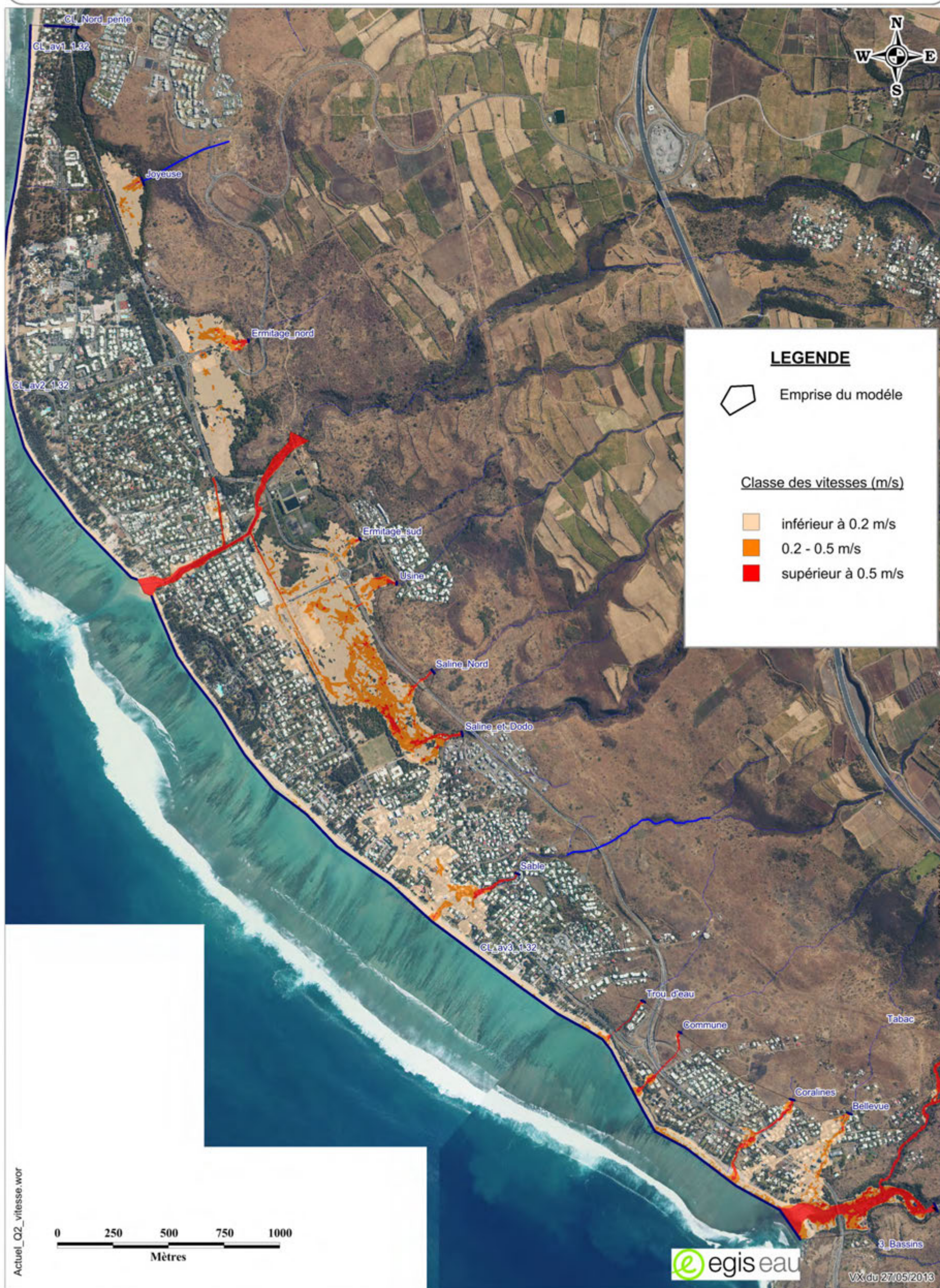
Les ratios coût-efficacité des aménagements de protection des quartiers de la Saline-les-Bains et l'Ermitage-les-Bains peuvent donc être jugés très performants et présentent les montants d'investissement par enjeu protégé (habitant ou emploi) parmi les moins onéreux dont Egis Eau dispose (sur plus de 10 programmes d'action PAPI dont l'AMC a été validée).

⁵ Territoire où les activités économiques présentes un enjeu

ANNEXES

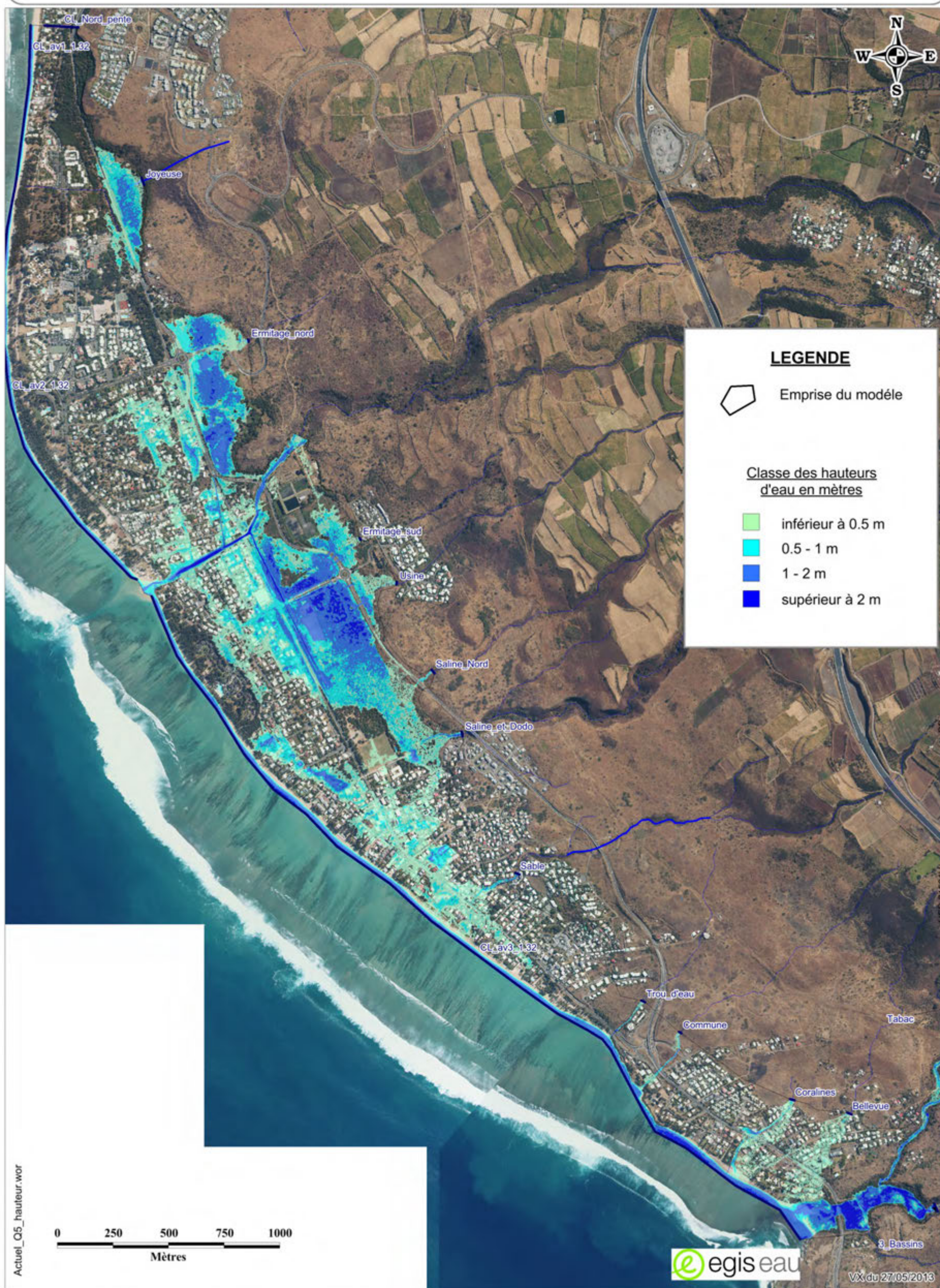
Annexe 1 : Cartes des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement en état actuel Q2, Q5, Q10, Q100 et Q1000.

Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage**Hauteurs d'eau maximales - Crue biennale - Etat actuel**

Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage**Vitesses maximales - Crue biennale - Etat actuel**

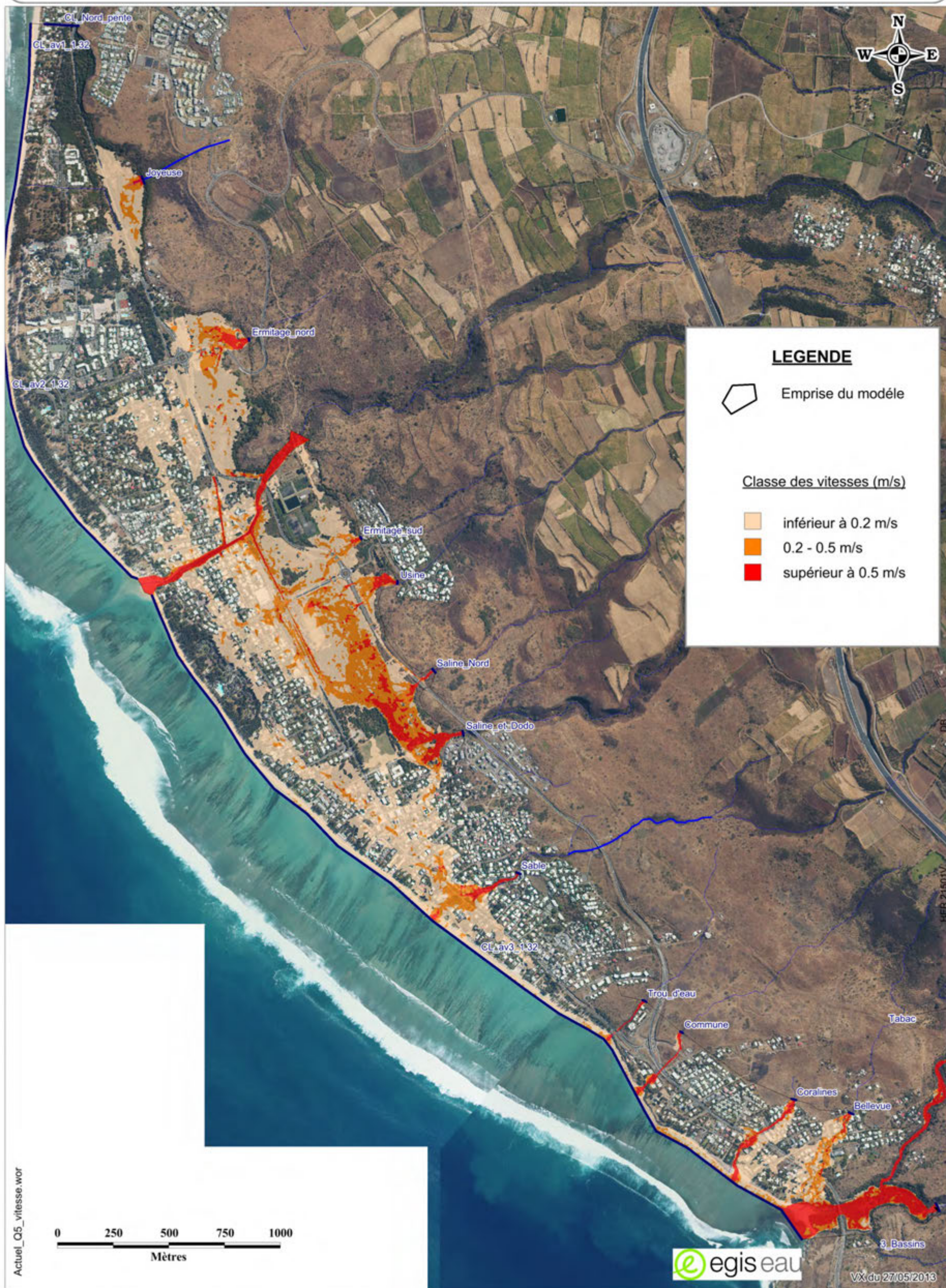
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Hauteurs d'eau maximales - Crue quinquennale - Etat actuel



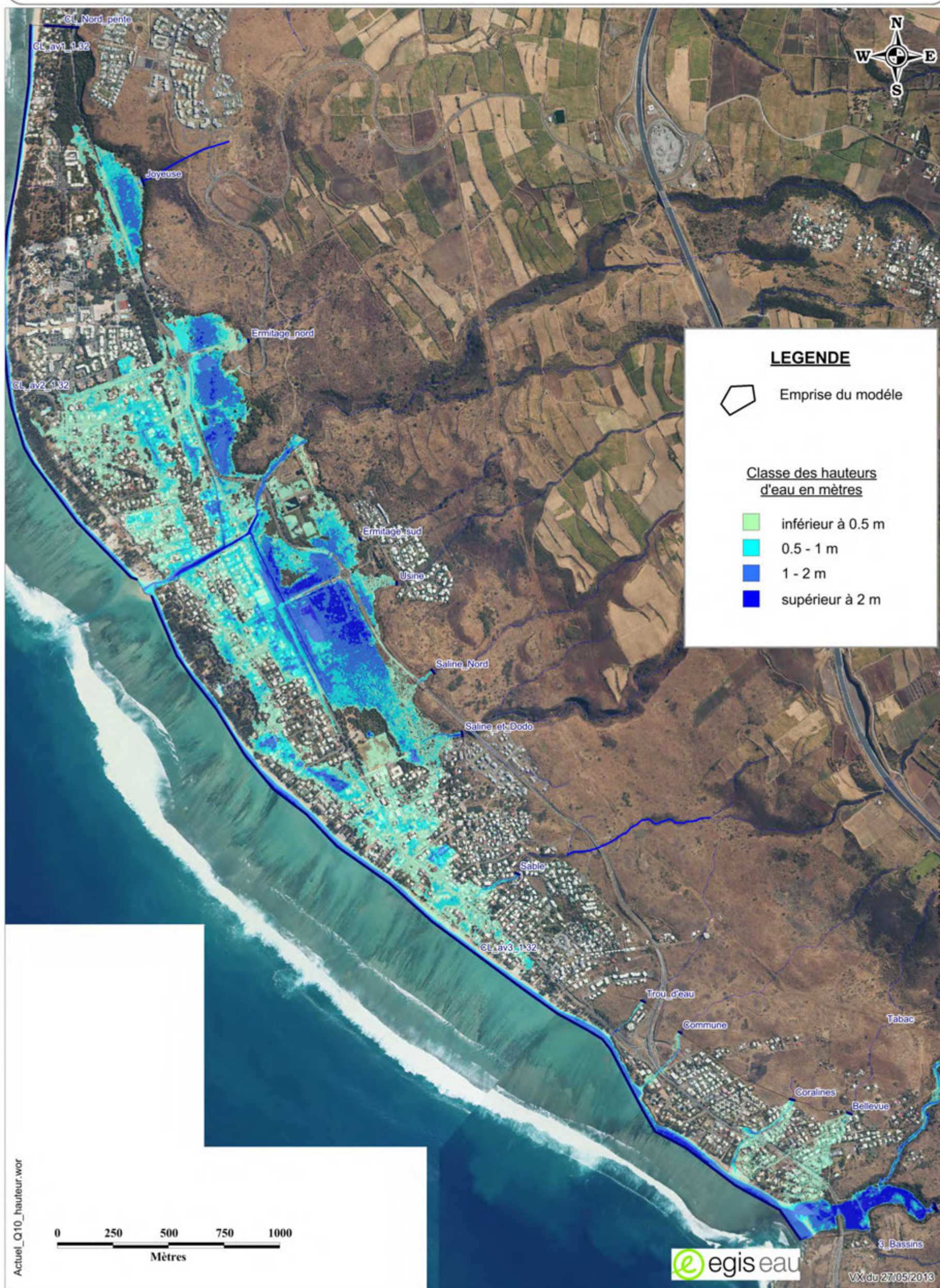
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Vitesses maximales - Crue quinquennale - Etat actuel



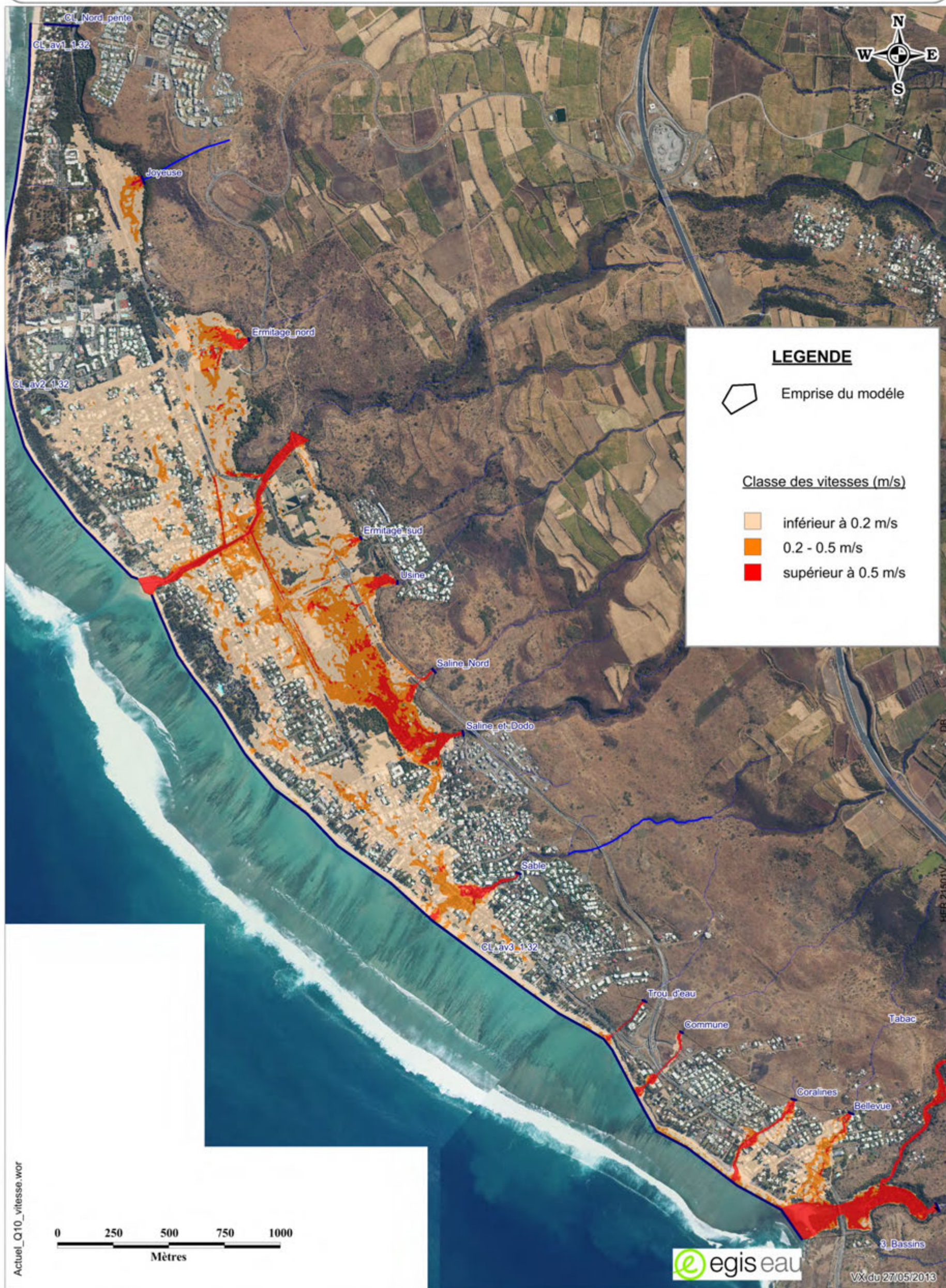
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Hauteurs d'eau maximales - Crue décennale - Etat actuel



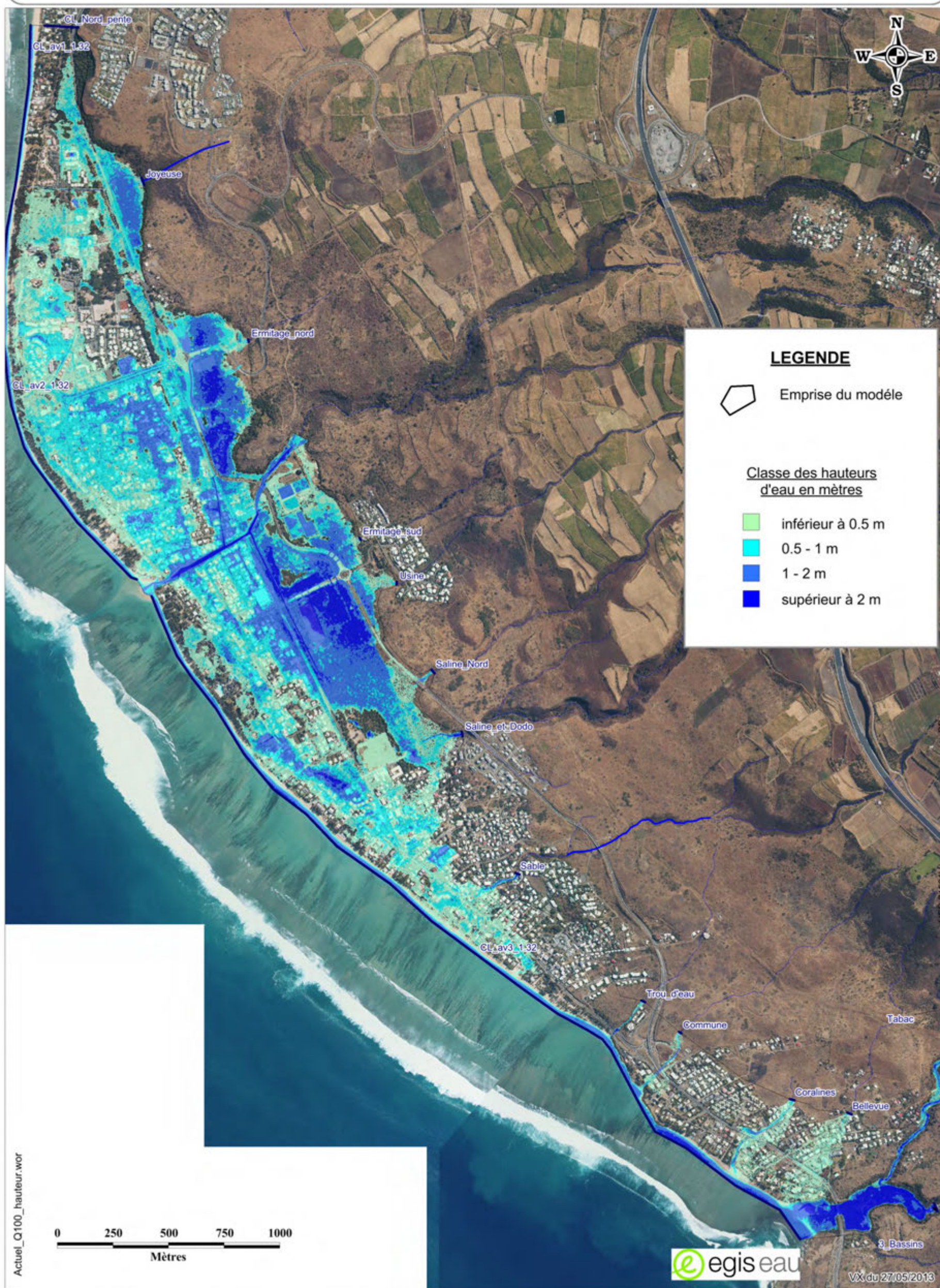
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Vitesses maximales - Crue décennale - Etat actuel



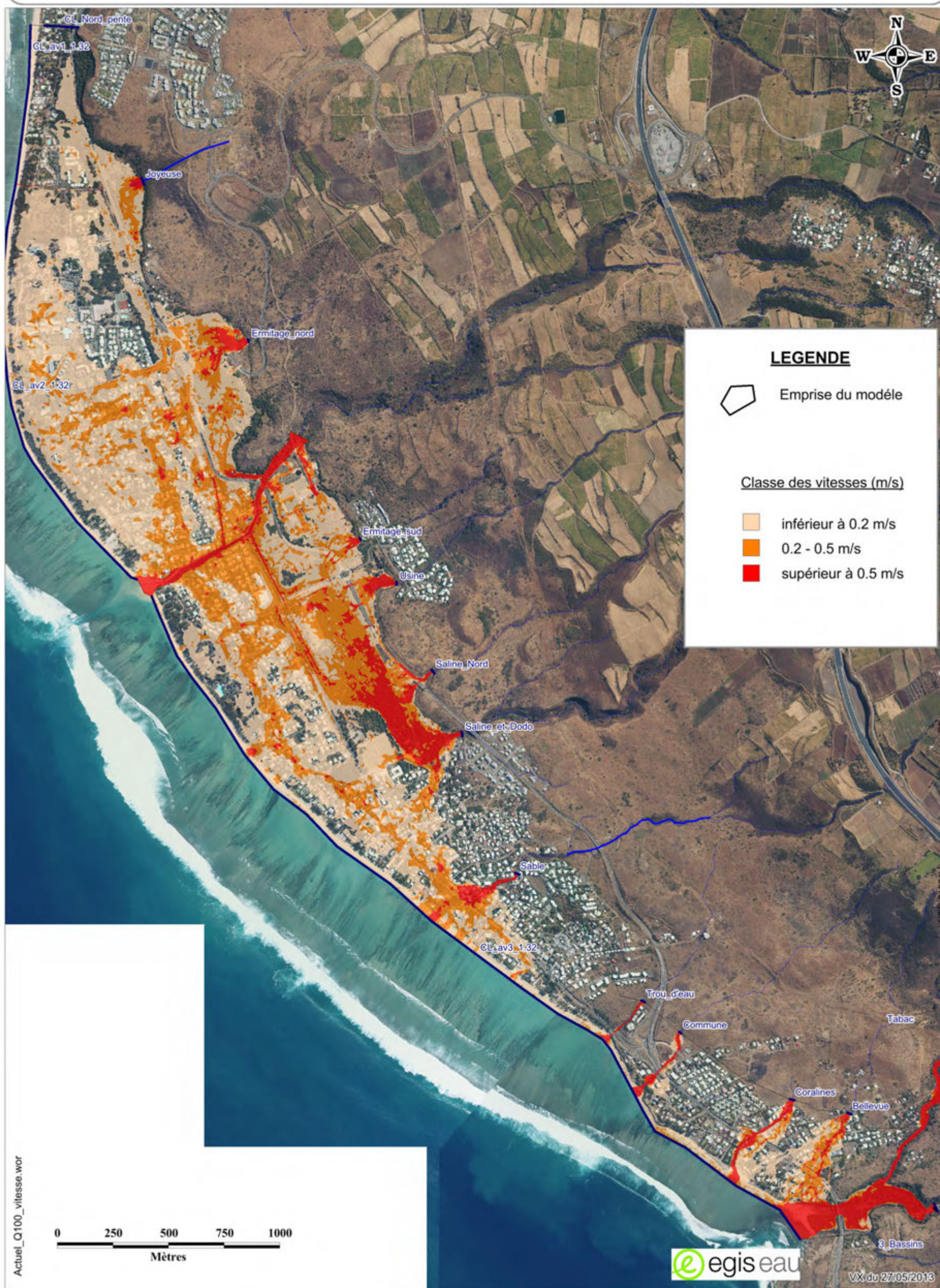
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Hauteurs d'eau maximales - Crue centennale - Etat actuel



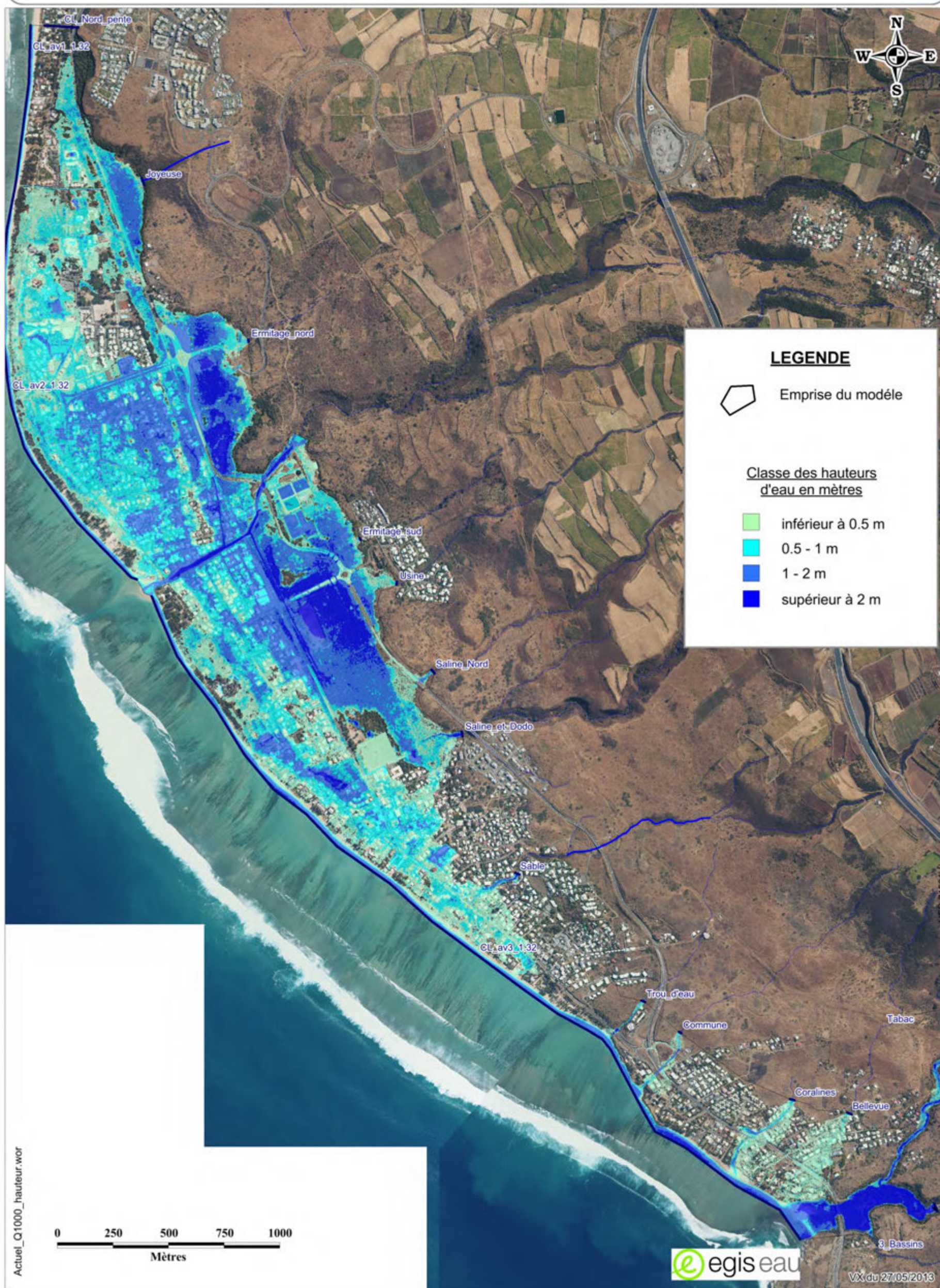
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Vitesses maximales - Crue centennale - Etat actuel



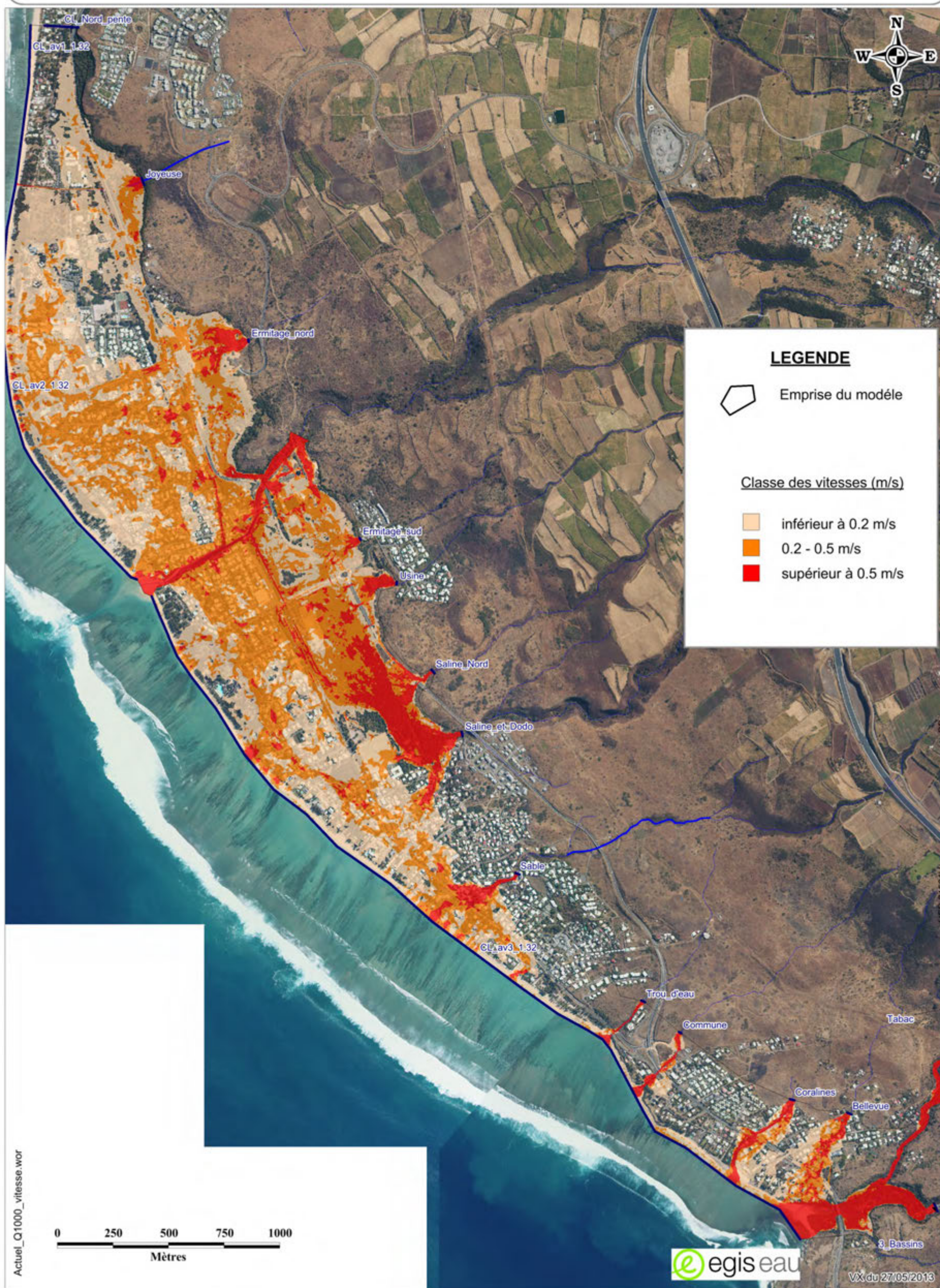
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Hauteurs d'eau maximales - Crue millénale - Etat actuel



Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

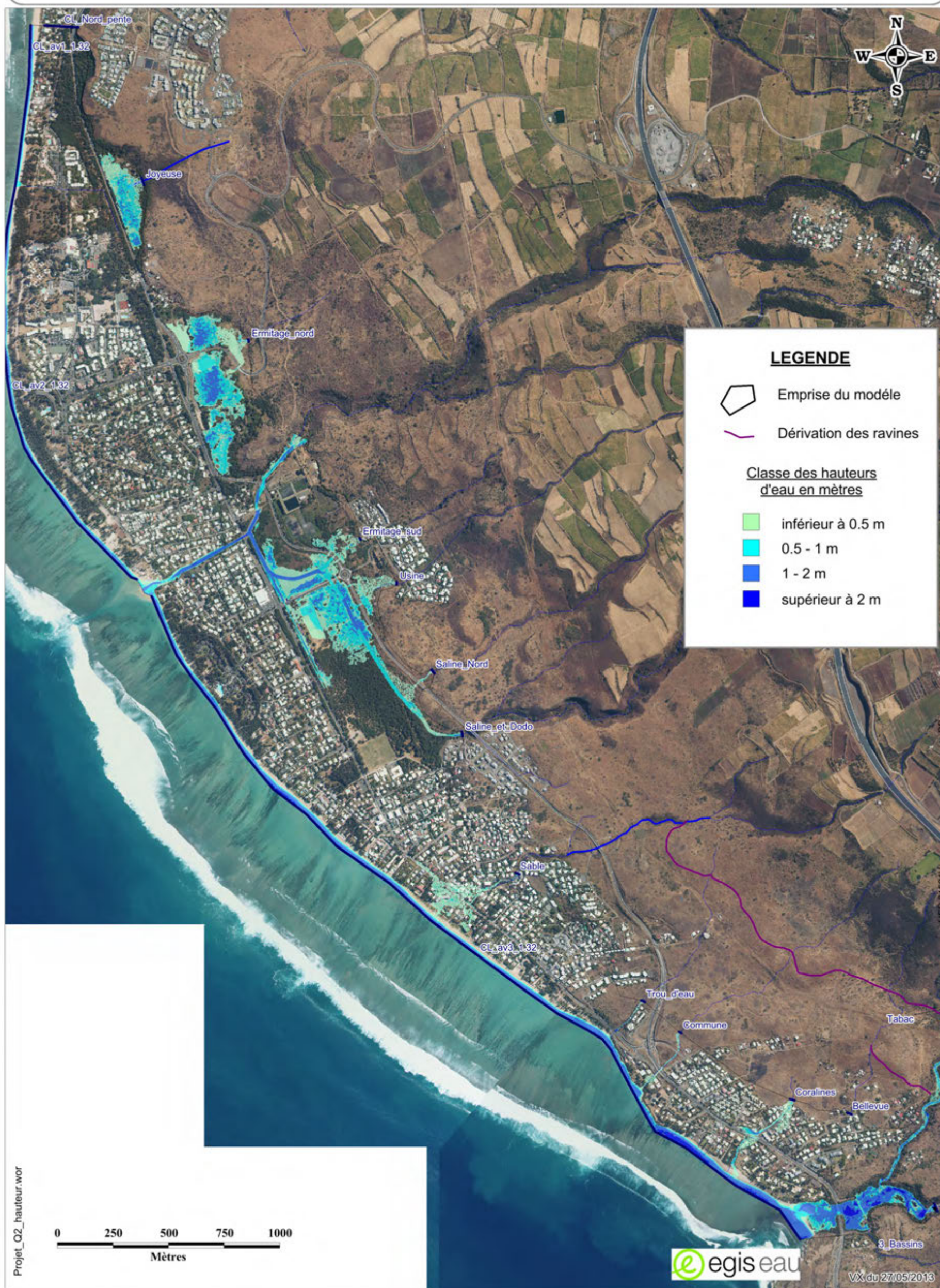
Vitesses maximales - Crue millénale - Etat actuel

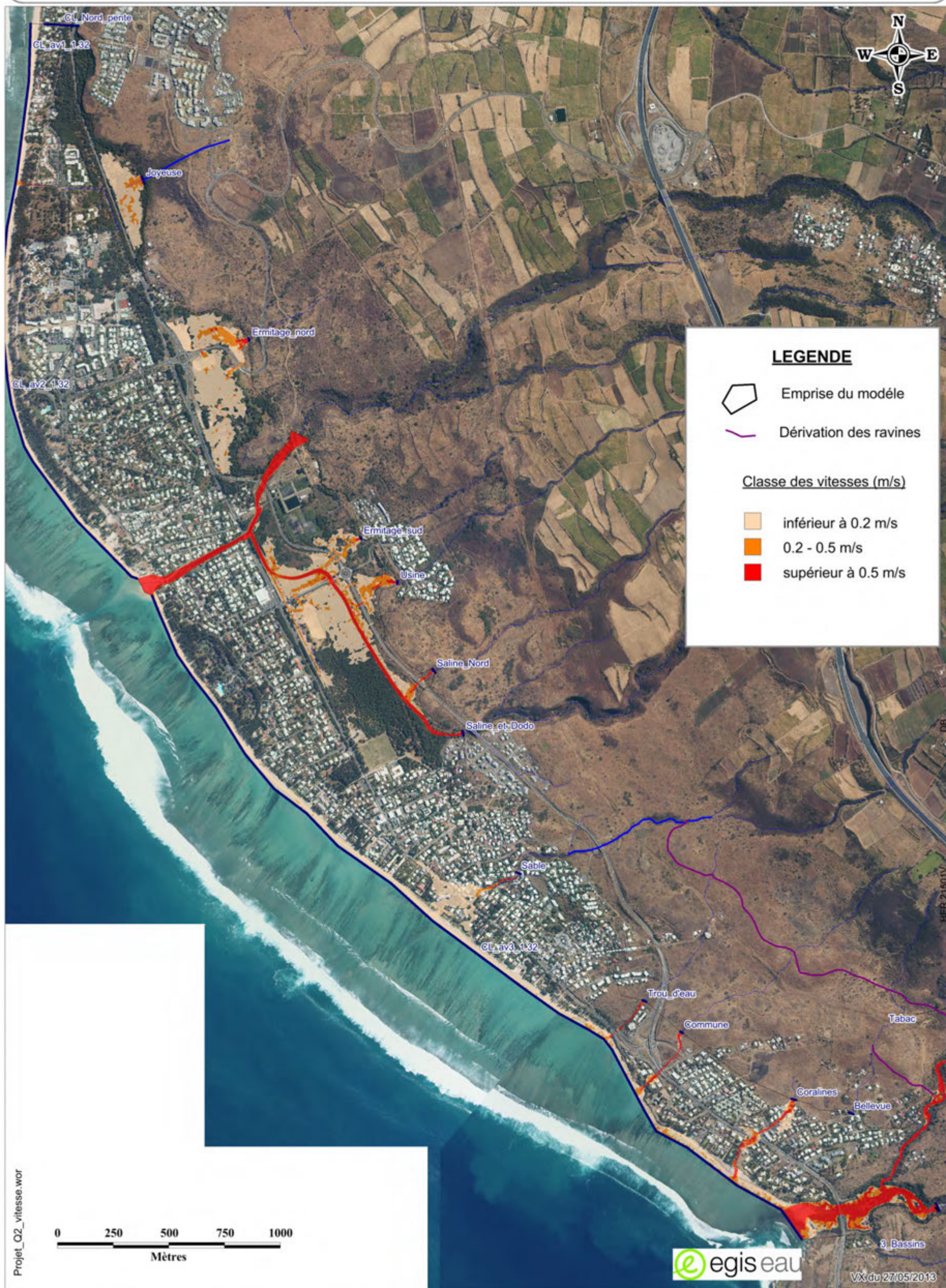


Annexe 2 : Cartes des hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement en état aménagé Q2, Q5, Q10, Q100 et Q1000.

Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

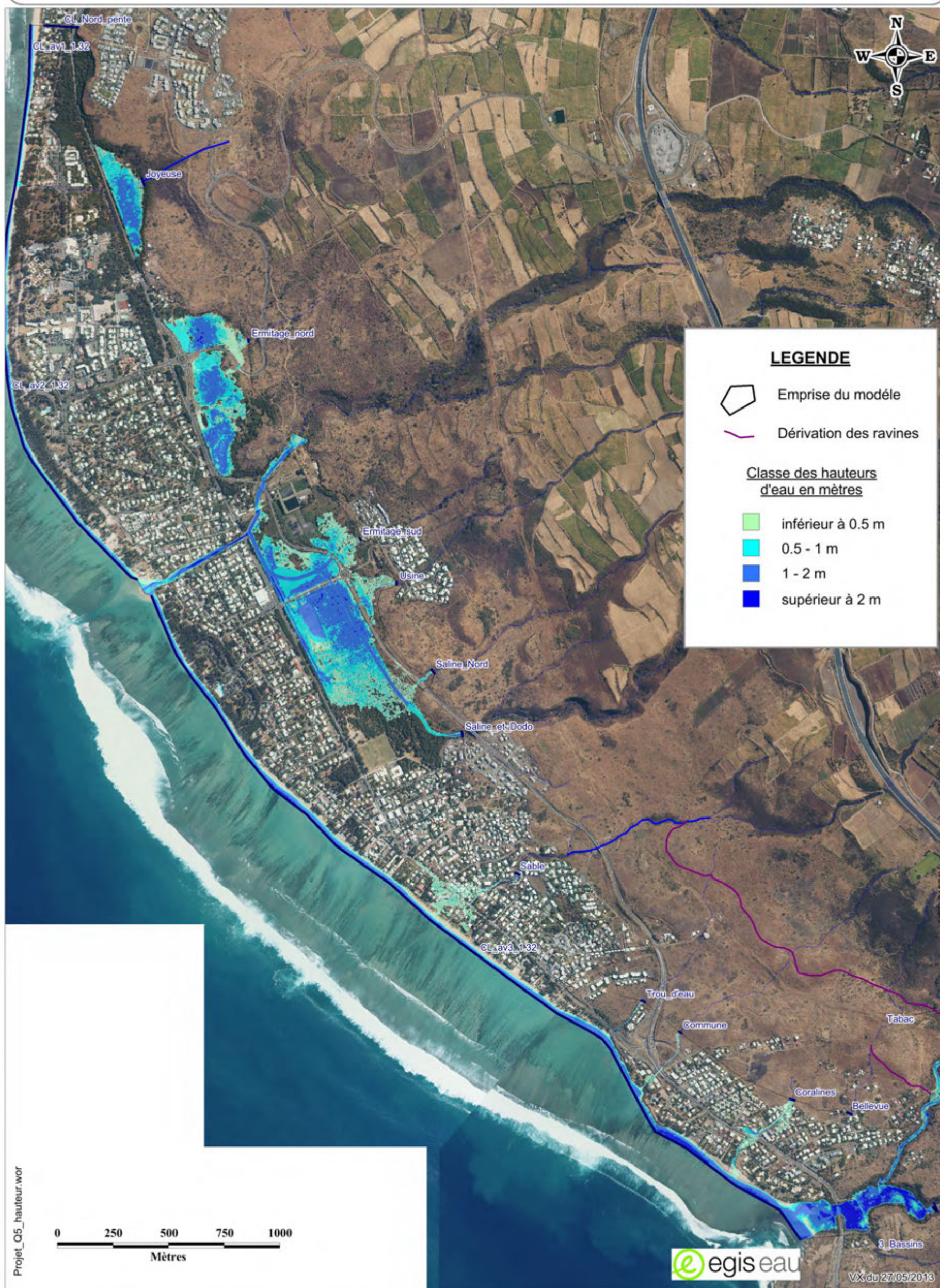
Hauteurs d'eau maximales - Crue biennale - Etat projet

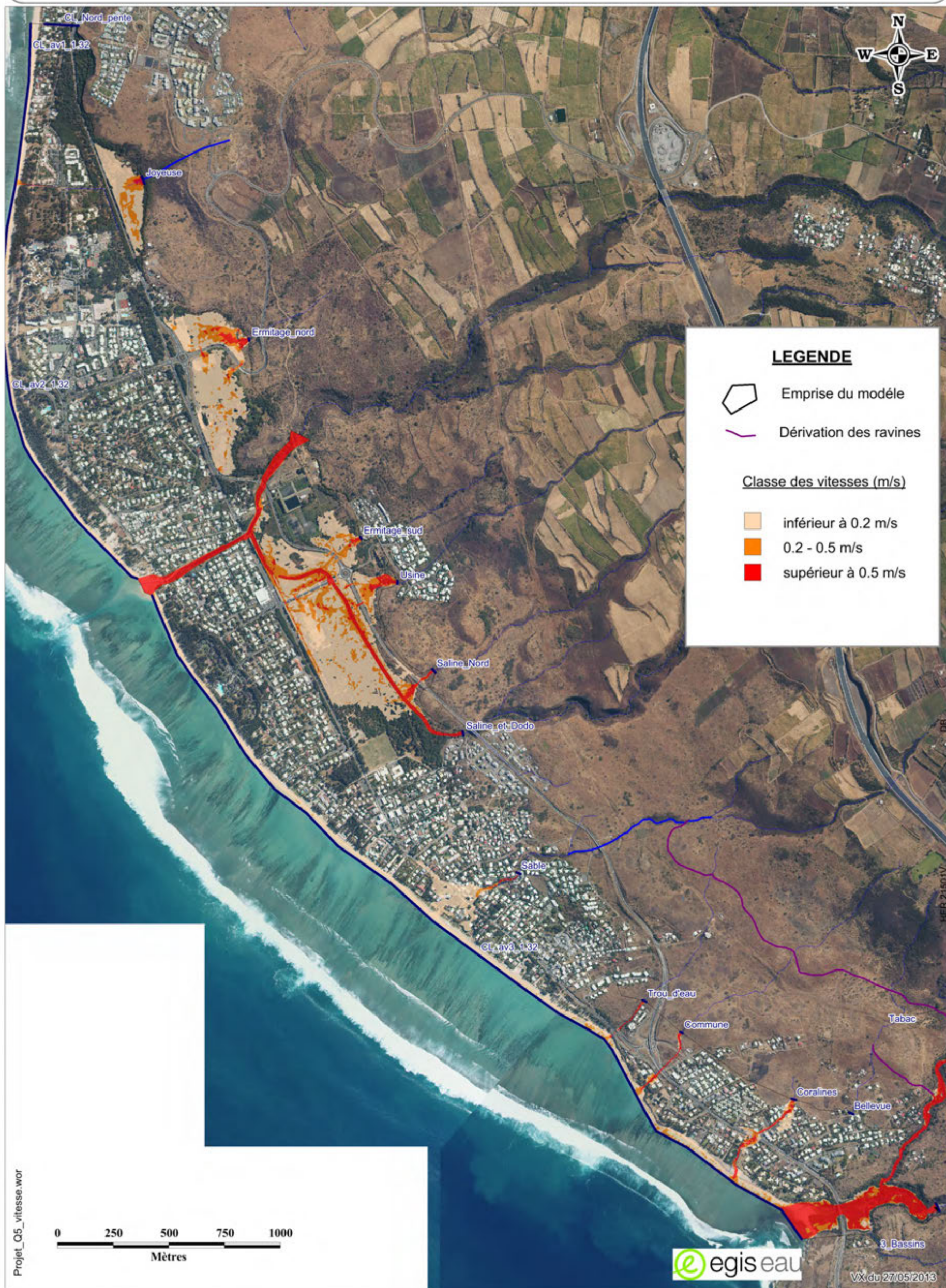


Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage**Vitesses maximales - Crue biennale - Etat Projet**

Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

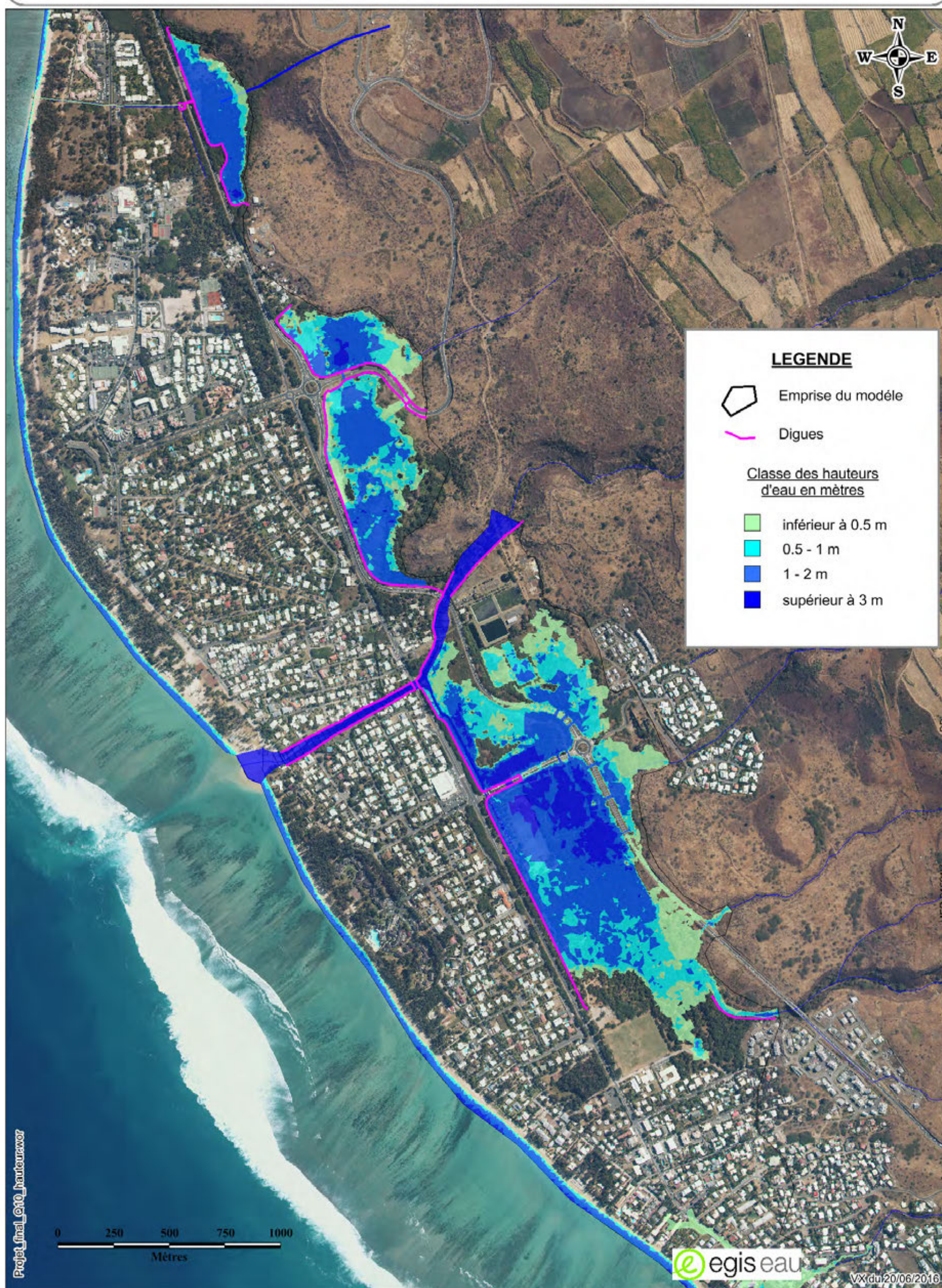
Hauteurs d'eau maximales - Crue quinquennale - Etat projet



Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage**Vitesses maximales - Crue quinquennale - Etat Projet**

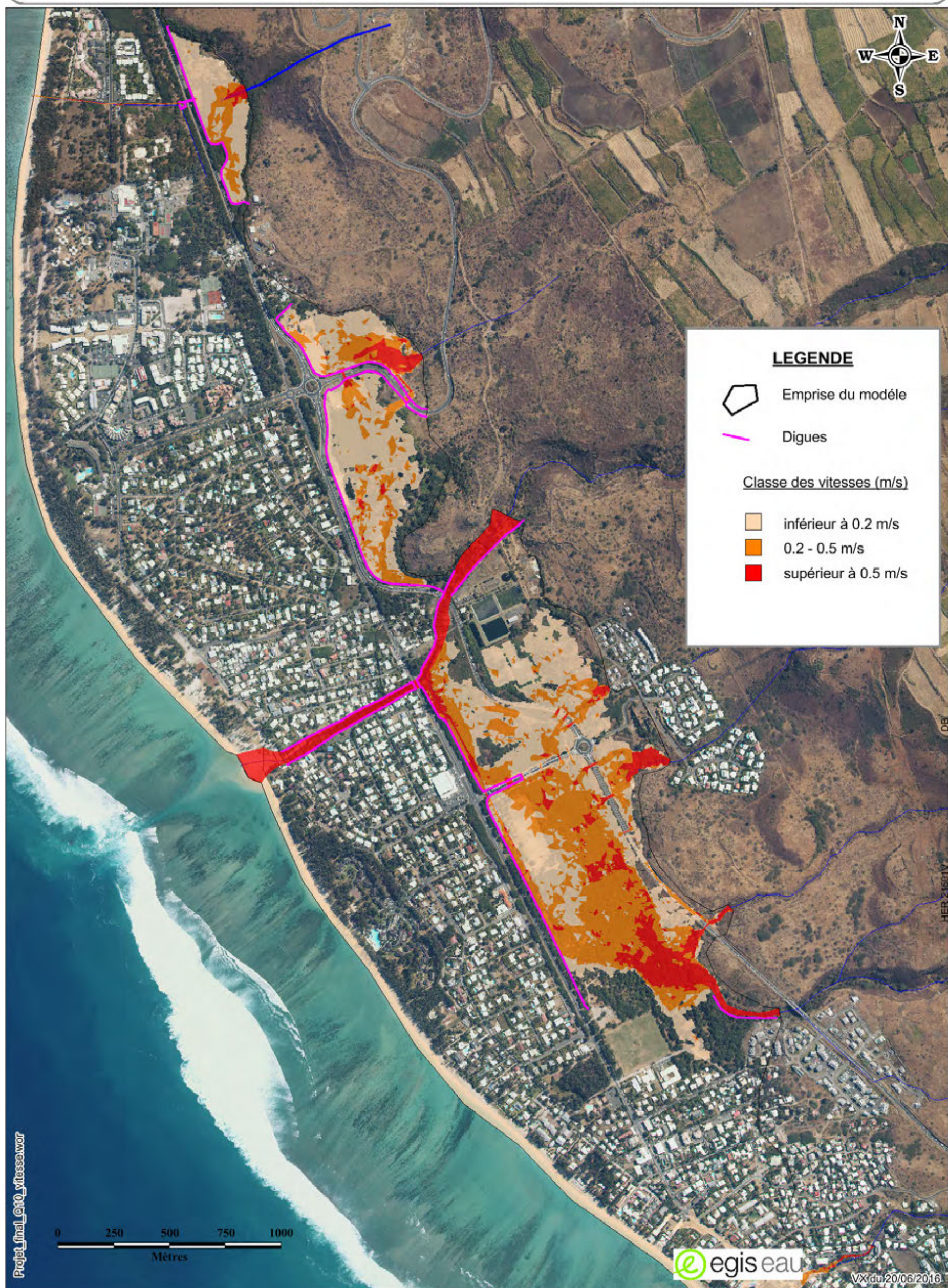
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Hauteurs d'eau maximales - Crue décennale - Etat projet final



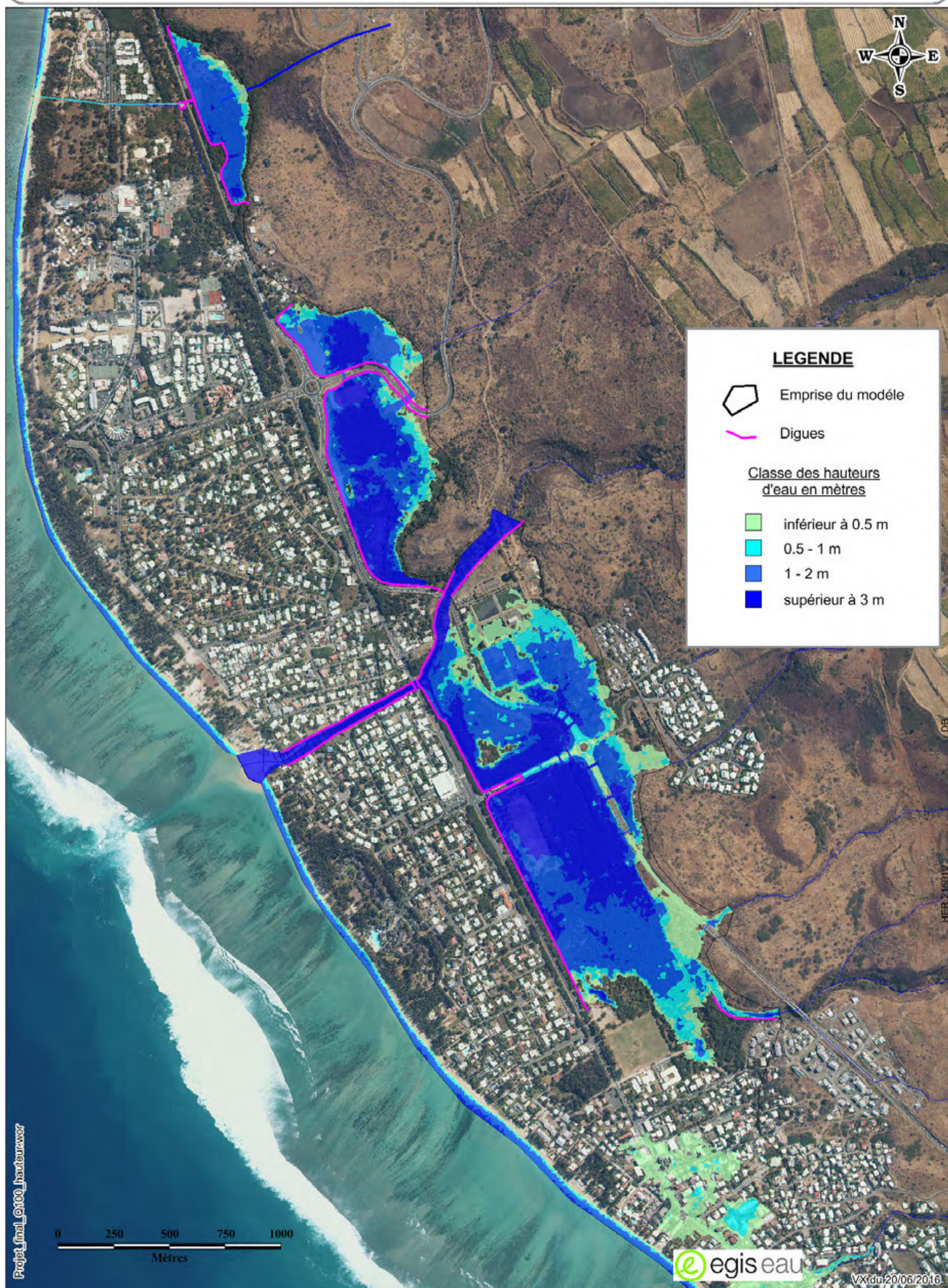
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Vitesses maximales - Crue décennale - Etat projet final



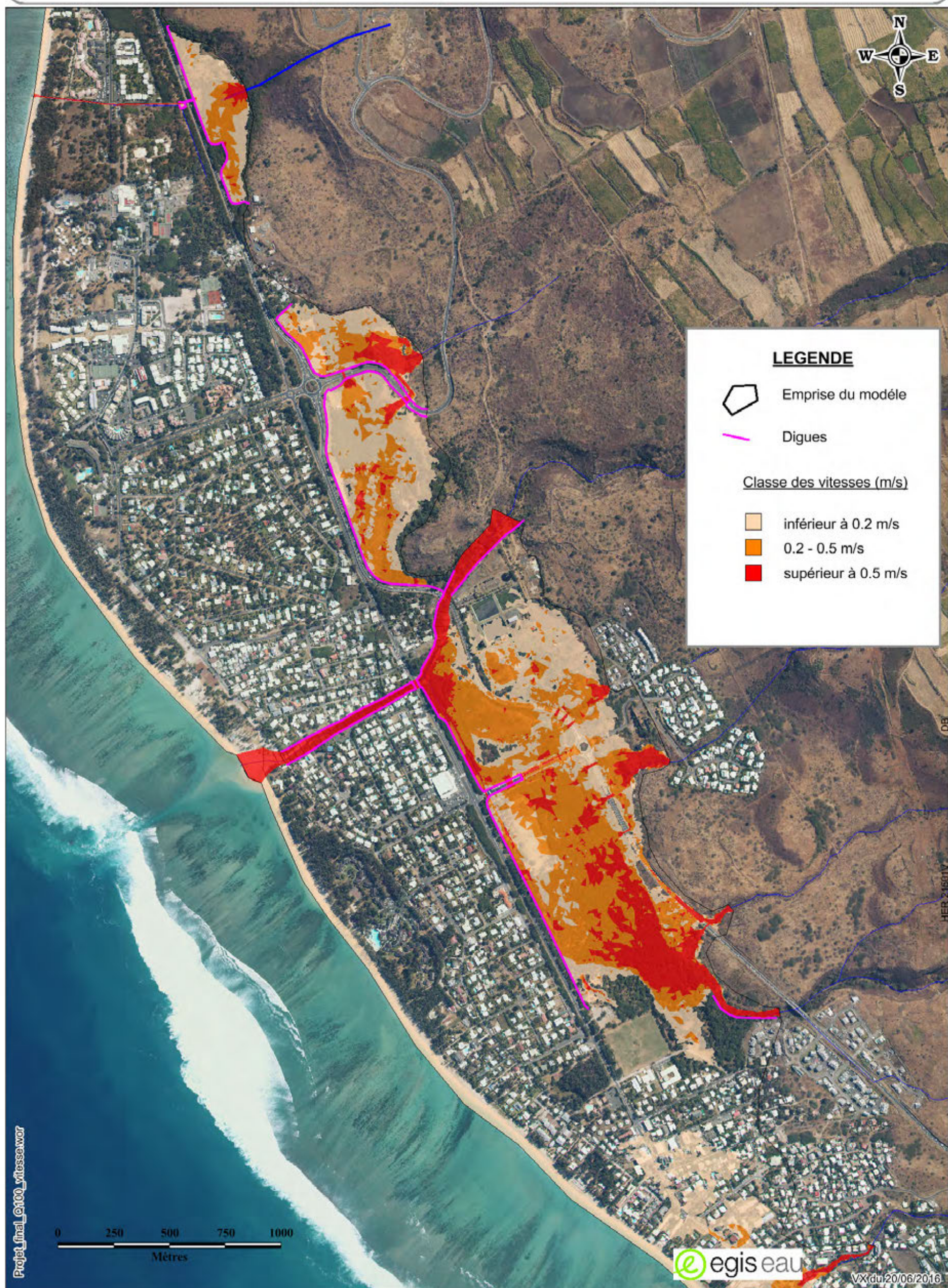
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Hauteurs d'eau maximales - Crue centennale - Etat projet final



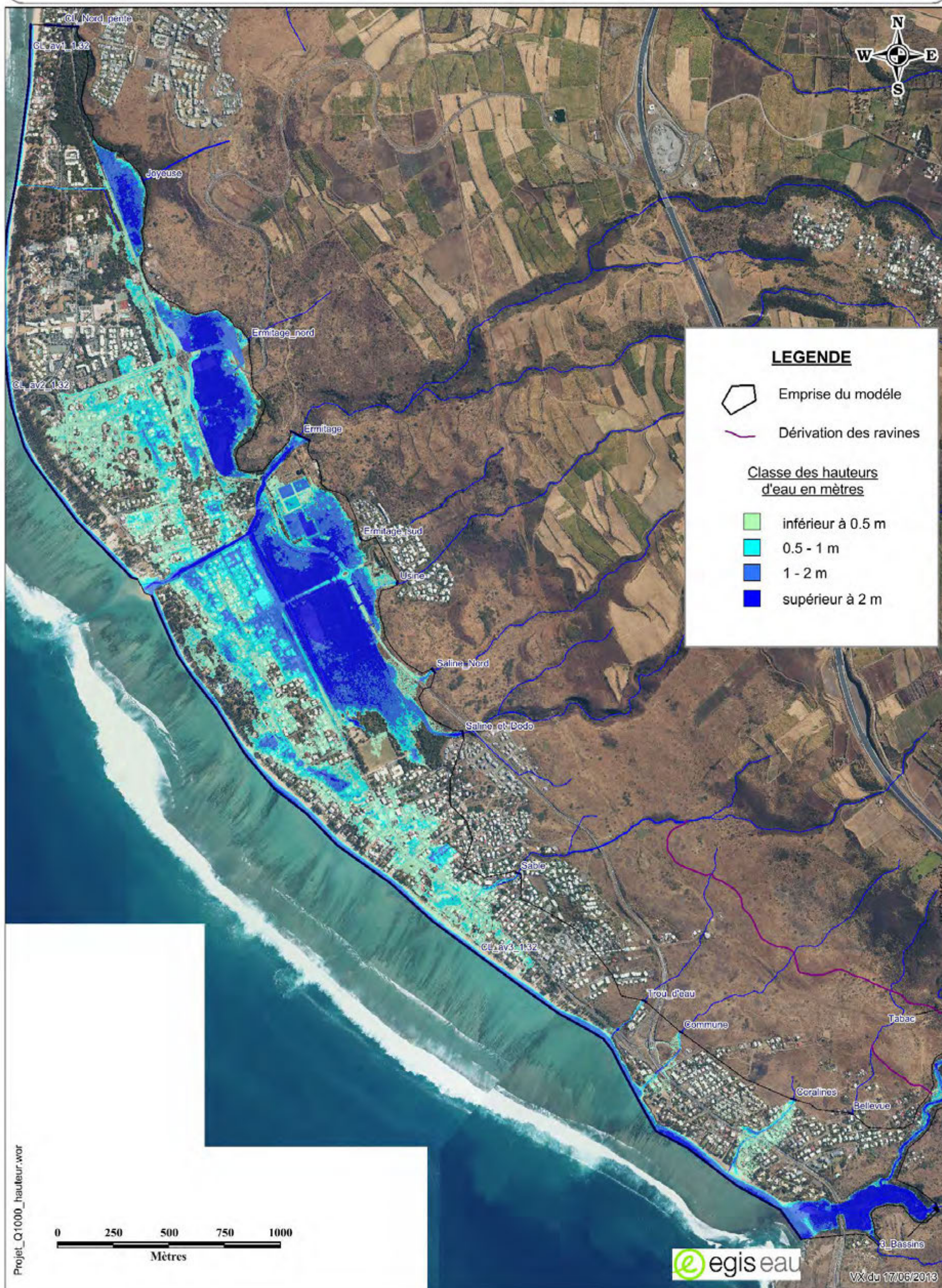
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Vitesses maximales - Crue centennale - Etat projet final



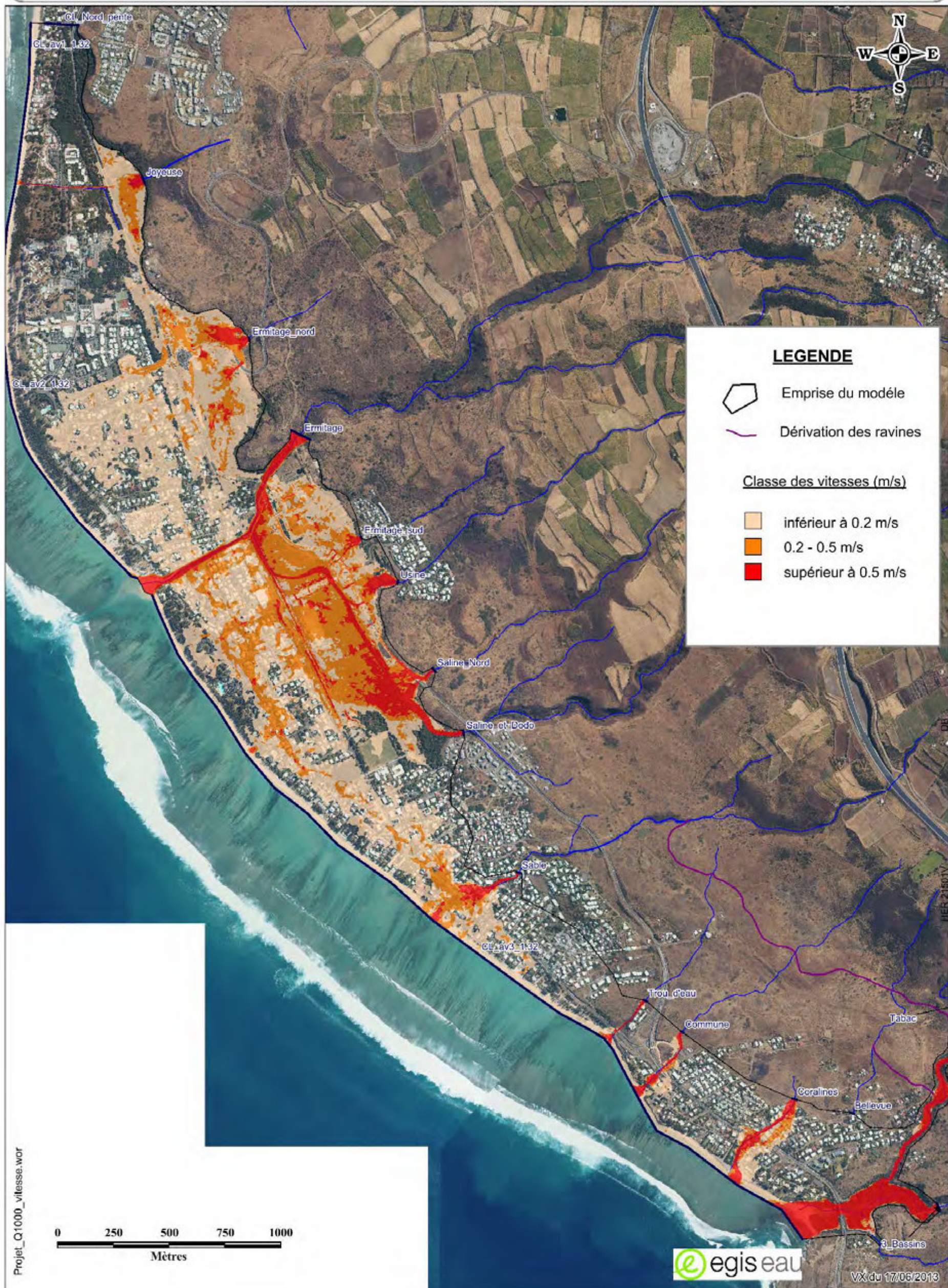
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Hauteurs d'eau maximales - Crue millénale - Etat projet



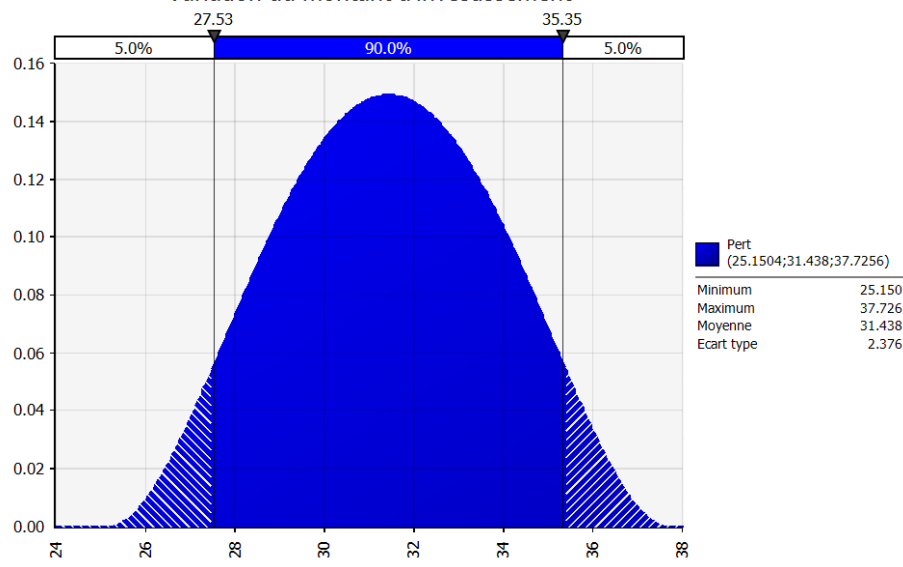
Modélisation 2D des inondations dans le cadre du PAPI de l'Ermitage

Vitesses maximales - Crue millénale - Etat Projet

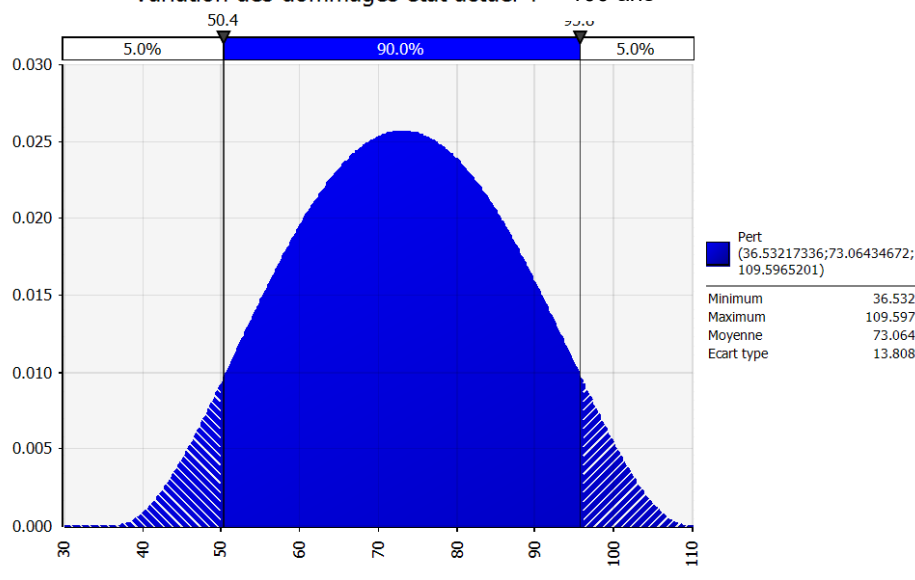


Annexe 3 : Les lois de probabilité appliquées aux variables retenues dans l'analyse de sensibilité.

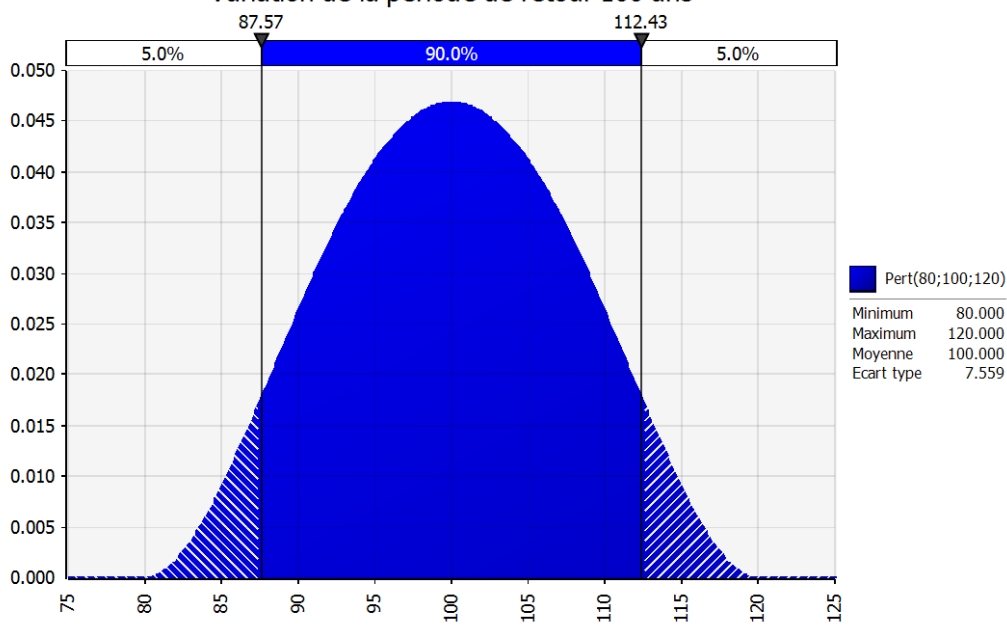
Variation du montant d'investissement



Variation des dommages état actuel T= 100 ans



Variation de la période de retour 100 ans



Etudes générales

- Assistance au Maître d'Ouvrage
- Maîtrise d'œuvre conception
- Maîtrise d'œuvre travaux
- Formation

Egis Eau Siège social
78, allée John Napier
CS 89017
34965 - Montpellier Cedex 2
Tél. : 04 67 99 22 00
Fax : 04 67 65 03 18
montpellier.egis-eau@egis.fr
<http://www.egis-eau.fr>