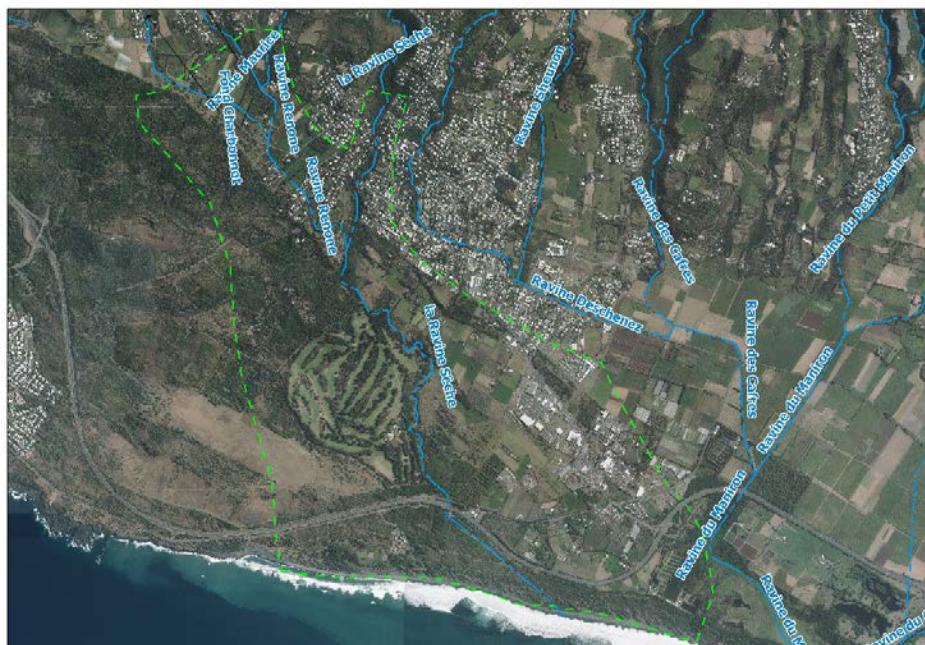


# PPRI Etang Salé - Etude Hydraulique complémentaire pour la précision de l'aléa inondation de la Ravine Sèche à Etang Salé



## Rapport d'étude

Réf. R04-033/Version 2.0

Novembre 2012

## SUIVI ET VISA DU DOCUMENT

Réf. R04-033

Etude : PPRI Etang Salé - Etude Hydraulique complémentaire pour la précision de l'aléa inondation de la Ravine Sèche à Etang Salé

Phase : 1

Date de remise : Novembre 2012

Version : 2.0

Statut du document : Définitive

Propriétaire du document : DEAL Réunion - SPRINR

Diffusion : T. BONNAVEIRA

Chef de projet : Clément THOMAS

Rédacteur : Clément THOMAS

Vérificateur : Mathieu COLLART



## SOMMAIRE

PREAMBULE.....	7
1. INTRODUCTION .....	7
2. DONNEES ET MOYENS UTILISES .....	9
2.1. Données.....	9
2.2. Moyens utilisés.....	9
DESCRIPTION DU SECTEUR D'ETUDE .....	10
3. CONTEXTE GENERAL DU SECTEUR D'ETUDE .....	10
4. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE DU SECTEUR D'ETUDE.....	11
4.1. Généralités .....	11
4.2. Particularités hydromorphologiques .....	12
4.2.1. Ravine Sèche .....	12
4.2.2. Ravine Renone .....	13
4.2.3. Ravine Maurice.....	14
4.2.4. Ravine Fond Charbonnot .....	15
4.2.5. Fossé pluvial – Route des Sables.....	16
4.3. Nomenclature des ouvrages .....	17
5. ANALYSE IN SITU .....	19
HYDROLOGIE.....	22
6. PRESENTATION DES BASSINS VERSANTS.....	22
6.1. Cartographie des bassins versants .....	22
6.2. Caractéristiques des bassins versants et Temps de concentration .....	23
7. MODELISATION HYDROLOGIQUE .....	23
7.1. Présentation du logiciel .....	23
7.2. Définition du modèle .....	24
7.3. Paramètres du modèle.....	25
7.3.1. Hyéogrammes de projet.....	25
7.3.1.1. Crue centennale.....	25
7.3.1.2. Reconstitution du cyclone Gamède .....	27
7.3.2. Fonction de production.....	28
7.3.3. Fonction de transfert.....	29
7.4. Résultats pour la crue centennale .....	30
7.5. Résultats pour la reconstitution de Gamède.....	31
HYDRAULIQUE.....	32

8.	MODELISATION MATHEMATIQUE DES ECOULEMENTS .....	32
8.1.	Mise en œuvre du modèle et présentation du logiciel .....	32
8.1.1.	Module 2D .....	32
8.1.2.	Intérêt .....	32
8.1.3.	Moteur hydraulique 2D .....	33
8.1.4.	Mailleur 2D .....	33
8.2.	Analyse topographique .....	34
8.2.1.	Introduction .....	34
8.2.2.	Sources et données utilisées .....	34
8.2.3.	Construction du Modèle Numérique de Terrain .....	34
8.2.3.1.	Construction des lignes caractéristiques .....	34
8.2.3.2.	Intégration des ouvrages .....	34
8.2.4.	Résultats .....	36
8.3.	Conditions aux limites .....	37
8.4.	Paramètres de modélisation .....	38
8.4.1.	Coefficients de rugosités .....	38
8.4.2.	Intégration des bâtiments .....	38
8.4.3.	Intégration des ouvrages hydrauliques .....	39
8.4.4.	Maillage de calcul .....	39
8.5.	Calage du modèle .....	39
8.6.	Architecture du modèle .....	40
9.	ANALYSE DES ECOULEMENTS .....	41
9.1.	Résultats du modèle – Scénario 1 : Crue Centennale .....	41
9.1.1.	Introduction .....	41
9.1.2.	Analyse des écoulements .....	43
9.1.3.	Description des écoulements d'une crue centennale sur la zone d'étude .....	44
9.1.4.	Zoom sur la ZI des Sables .....	45
9.1.5.	Zoom sur le projet de CED et la RN1 .....	46
9.2.	Analyse de la diffluence en rive gauche de la Ravine Sèche .....	47
9.3.	Résultats du modèle – Scénario 2 : Gamède .....	50
9.3.1.	Introduction .....	50
9.3.2.	Analyse des écoulements .....	50
9.3.3.	Phénomènes naturels connus dans la zone d'étude (Issu du projet de PPRI Communal) .....	52
10.	NOUVELLE CARTOGRAPHIE DES ALEAS PROPOSES .....	53
	CONCLUSION .....	54

GLOSSAIRE.....	55
ANNEXES.....	57
11. ANNEXE 1 : FICHES OUVRAGES.....	58
12. ANNEXE 2 : CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION – Q100 .....	59
13. ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU – RECONSTITUTION DU CYCLONE GAMEDE.....	60

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude .....	7
Figure 2 : Enjeux et points particuliers de la zone d'étude.....	8
Figure 3: Contexte du secteur d'étude.....	10
Figure 4 : Ravine Sèche - Exutoire en mer.....	12
Figure 5 : Description de la Ravine Renone sur la zone d'étude .....	13
Figure 6 : Description de la Ravine Maurice sur la zone d'étude .....	14
Figure 7 : Description de la Ravine Fond Charbonnot sur la zone d'étude .....	15
Figure 8 : Description du fossé pluvial dit des Sables sur la zone d'étude .....	16
Figure 9: Contexte hydromorphologique du secteur d'étude.....	18
Figure 10: Photos des différents ouvrages présents sur le secteur d'étude.....	21
Figure 11: Bassins versants des axes d'écoulements impactant le secteur d'étude.....	22
Figure 12: Modèle de représentation du fonctionnement hydrologique des cours d'eau du secteur d'étude.....	24
Figure 13 : Localisation du poste pluviométrique utilisé et des bassins versants étudiés.....	25
Figure 14: Hyéogramme centennal pour la Ravine Sèche .....	26
Figure 15: Précipitations enregistrées au Pont Mathurin pendant le pic de pluie de Gamède extrapolées à l'altitude médiane du bassin versant de la Ravine Sèche.....	27
Figure 16: Hydrogrammes de projet.....	30
Figure 17: Hydrogrammes reconstitués de Gamède.....	31
Figure 18 : Intégration des ouvrages .....	34
Figure 19: Vue aérienne 3D du Modèle Numérique de Terrain de la zone d'étude (HYDRETUDES 2012) .....	36
Figure 20: Couplage MNT et orthophotographie de la zone d'étude (HYDRETUDES 2012).....	36
Figure 21 : Cartographie des types d'occupation du sol et des zones de rugosités correspondantes .....	38
Figure 22: Architecture du modèle .....	40
Figure 23: Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale de la Ravine Sèche et de ses	

affluents sur la Commune d'Etang Salé .....	41
Figure 24: Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale de la Ravine Sèche et de ses affluents sur la Commune d'Etang Salé – zoom ZI des Sables – RN1 – ARDA.....	42
Figure 25 : Visualisation des écoulements d'une crue centennale de la Ravine Sèche et de ses affluents à Etang Salé.....	44
Figure 26 : Description des écoulements sur la ZI des Sables.....	45
Figure 27 : Description des écoulements – Franchissement de la RN1 et Site ARDA, Projet de CED .....	46
Figure 28 : Diffuence de la Ravine Sèche en rive gauche, inondant une partie de la Zi des Sables .....	47
Figure 29 : Diffuence en rive gauche de la Ravine Sèche .....	48
Figure 30 : Illustration de la diffuence en rive gauche de la Ravine Sèche (profils en travers)....	49
Figure 31: Illustration 3D des écoulements reconstitués du Cyclone Gamède de Février 2007 de la Ravine Sèche et de ses affluents sur la Commune d'Etang Salé .....	50
Figure 32: Cartographie des aléas inondation (croisement hauteurs - vitesses).....	53

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 - Caractéristiques hydromorphologiques des bassins versants .....	23
Tableau 2: Temps de concentration des bassins versants .....	23
Tableau 3 : Formule et Coefficients de Montana – Station Le Gol les Hauts .....	25
Tableau 4: Zonage du territoire (analyse SIG via le PLU Communal).....	29
Tableau 5: Paramètres nécessaires à la modélisation hydrologique .....	29
Tableau 6: Récapitulatif des caractéristiques des hydrogrammes de projet.....	30
Tableau 7: Récapitulatif des caractéristiques des hydrogrammes de projet.....	31
Tableau 8 : Critères de caractérisation de l'aléa inondation .....	53

## PREAMBULE

### 1. INTRODUCTION

Dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Inondation de la Commune d'Etang Salé, mission pilotée par la DEAL Réunion (SPRINR – Unité Prévention des Risques Naturels) et réalisée par HYDRETUDES Océan Indien, une étude complémentaire, de précision de l'aléa inondation généré par la Ravine Sèche est nécessaire.

En effet, le secteur de la Ravine Sèche de l'amont de l'ouvrage de la RD 11 jusqu'à son exutoire en mer, a été diagnostiquée comme présentant un potentiel risque d'inondation important.

Plusieurs études hydrauliques ont déjà été menées sur la problématique hydraulique sur ce secteur :

- Schéma Technique de Protection contre les Crues, BCEOM, 1990 ;
- Etude hydraulique, Sogreah 2007-2009 (non validée par la Commune d'Etang Salé) ;
- **Plan de Prévention des Risques Inondation de la Commune de l'Etang Salé, HYDRETUDES** (en cours depuis 2005 et bloquée depuis 2006 dans l'attente d'une meilleure connaissance des aléas).

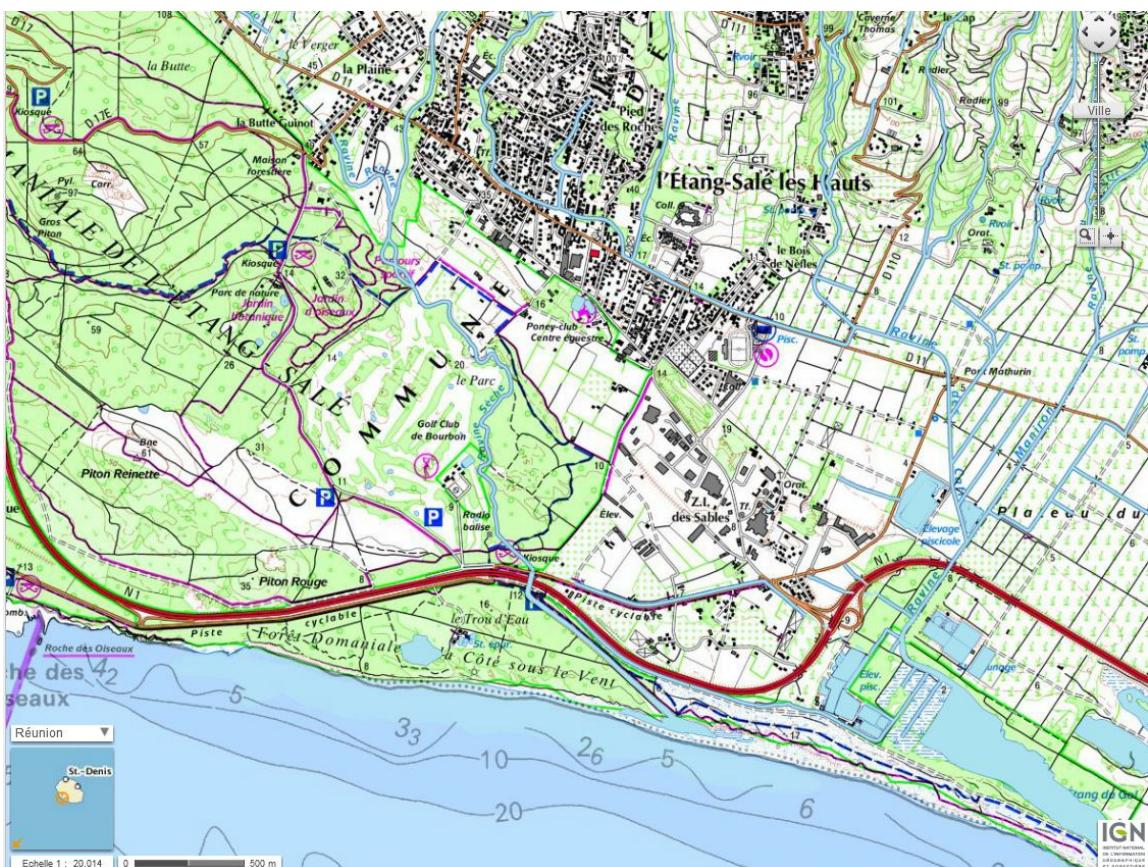


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

L'inondabilité de cette zone est donc connue et avérée depuis plusieurs années, cependant une étude précise des paramètres (hauteur, vitesses, direction préférentielles) des écoulements prévisibles d'une crue centennale sur le lit majeur est nécessaire eu égard:

- 1. aux enjeux humains et matériels forts présents dans le secteur:**
  - a. projet d'Hôtel en marge du Golf,
  - b. projet d'agrandissement du Golf,
  - c. développement de la ZI des Sables,
- 2. à la sensibilité du site aux inondations,**
- 3. à la difficulté d'aboutir à une cartographie de l'aléa précise** (berges peu marquées, influence des conditions aval (Mer, nappe de l'étang du Gol, réseau hydrographique complexe: ravine des Cafres, Etang du Gol, ...)

**Points particuliers à prendre en compte :**

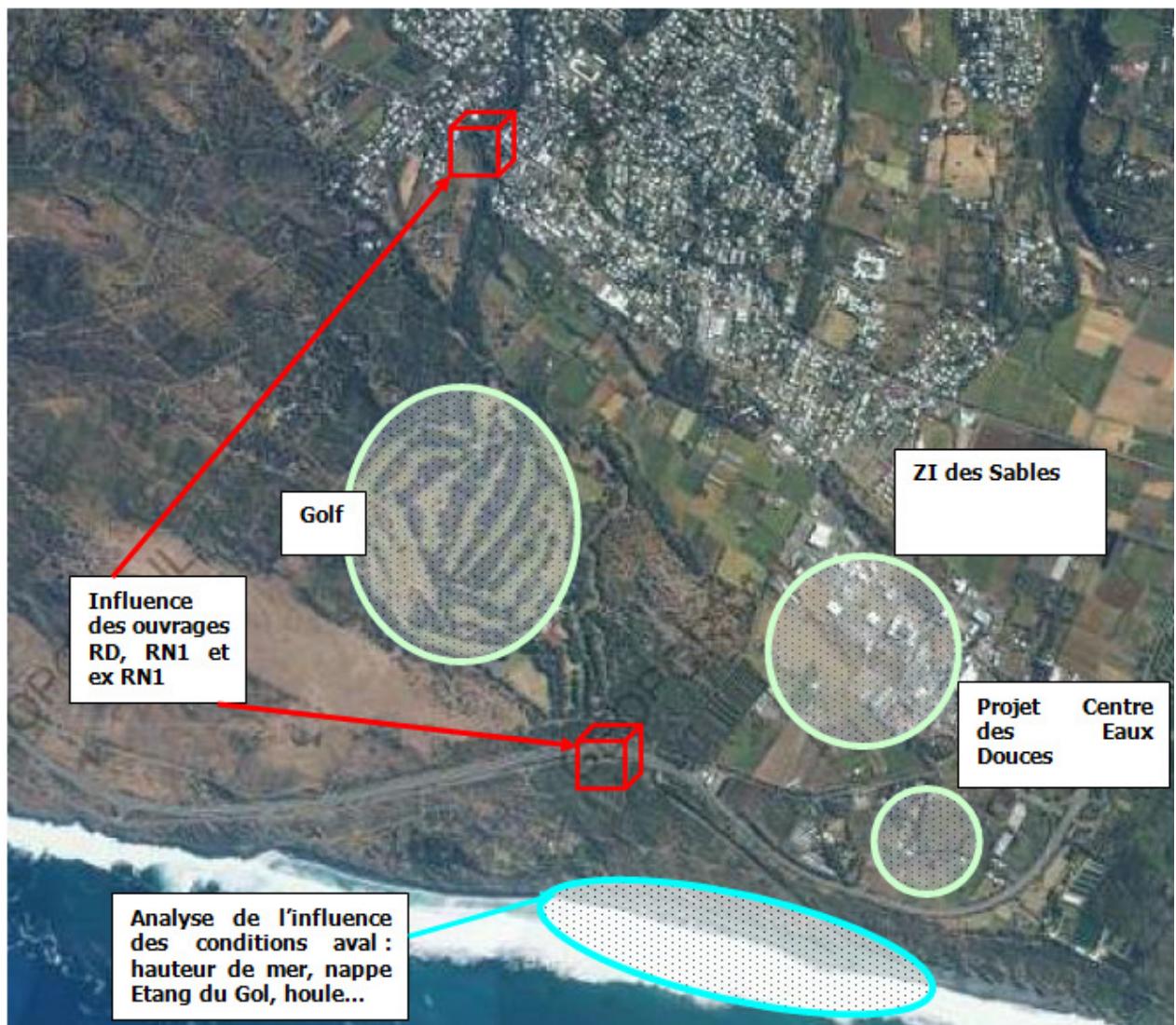


Figure 2 : Enjeux et points particuliers de la zone d'étude

## 2. DONNEES ET MOYENS UTILISES

### 2.1. DONNEES

Pour la réalisation de la présente étude, nous avons analysé et utilisé les données existantes suivantes:

- Plan topographique de la Ravine Sèche, Cabinet Talibart, Avril 2006, Dossier n°05285 - Plan n°8111,
- Données topographiques de la Litto 3D sur le secteur d'étude,
- Plan de Prévision du Risque Inondation de la Commune d'Etang Salé, Cartographie des aléas, HYDRETUDES, PAC de Septembre 2005,
- Réalisation du Centre des Eaux Douces, Etude hydraulique, SOGREAH, Décembre 2006.

### 2.2. MOYENS UTILISES

Afin de mener à bien cette étude, les outils et données suivants ont été utilisés :

- LITTO 3D de la commune de l'Etang Salé;
- Données pluviométriques issues de Météo France ;
- Données SIG (BD Topo, POS de la commune) via le logiciel Mapinfo ;
- Modélisation hydrologique avec le logiciel HEC HMS ;
- Modélisation mathématique des écoulements avec le logiciel Infoworks RS 2D<sup>©</sup>.

## DESCRIPTION DU SECTEUR D'ETUDE

### 3. CONTEXTE GENERAL DU SECTEUR D'ETUDE

Le périmètre d'étude correspond au lit majeur de la Ravine Sèche dans la partie basse d'Etang Salé les Hauts, soit en aval de la RD 11 et jusqu'à l'Océan. Ce secteur comprend comme enjeux principaux et points particuliers :

- La ZI des Sables,
- Le Golf d'Etang Salé,
- Le site du futur Centre des Eaux Douces (ARDA),
- La Station d'Epuration d'Etang Salé.

Afin de caractériser ou préciser le risque inondation sur la ZI des Sables, il convient d'étudier tous les bassins versants et axes d'écoulements (hors système hydrographique de l'Etang du Gol qui sera étudié par détermination d'une condition limite fixe en aval du modèle (Cf. chapitre 8.3 Conditions aux limites) susceptibles de générer les crues inondant le secteur d'étude, pour une période de retour centennale.

Ces unités hydrographiques sont décrites dans le paragraphe suivant.

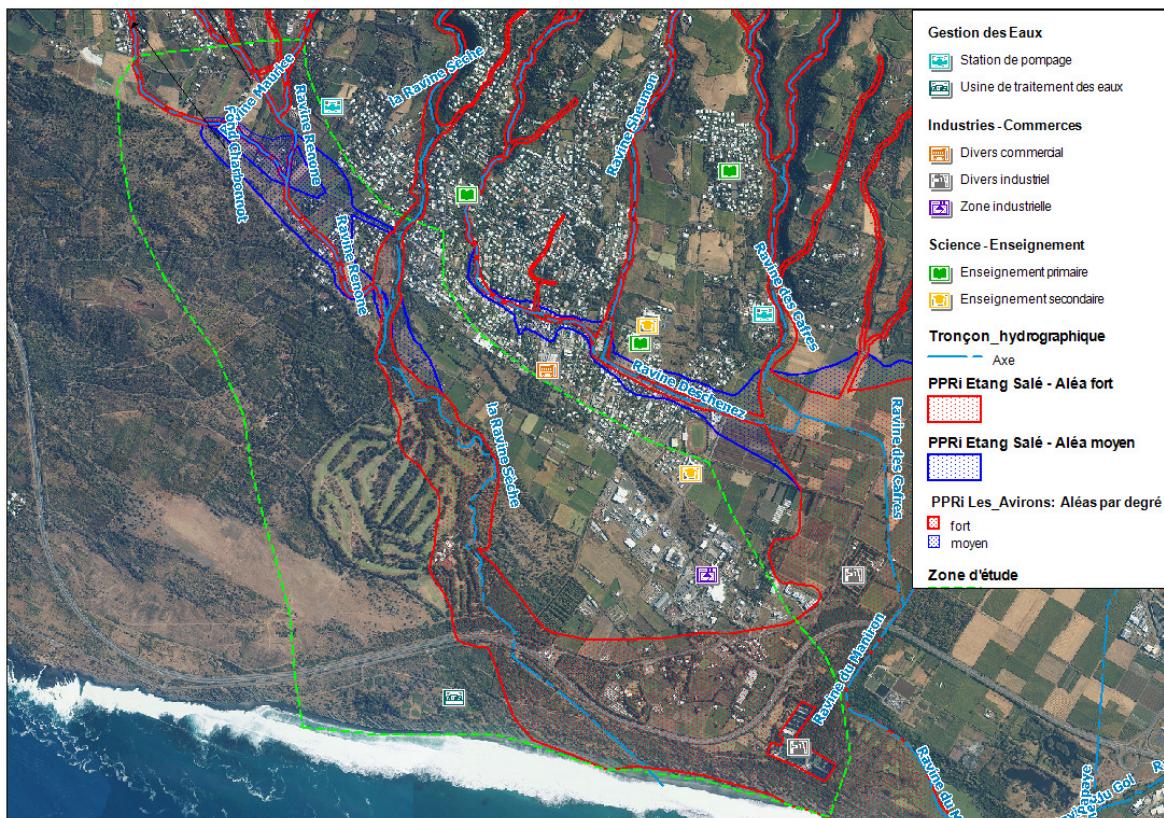


Figure 3: Contexte du secteur d'étude

## 4. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE DU SECTEUR D'ETUDE

### 4.1. GENERALITES

Le secteur d'étude est exposé aux crues générées par la Ravine Sèche et ses affluents, ainsi que par les unités hydrographiques suivantes :

- Le bassin versant de la **Ravine Sèche** à son exutoire en mer, incluant les écoulements de ses affluents :
  - o La **Ravine Renone** (la confluence des 2 rivières ayant lieu à une cote de 25m NGR environ) ;
  - o La **Ravine Maurice**, dont les écoulements proviennent de la Commune des Avirons en aval du Chemin n°1
  - o La **ravine Fond Charbonnot**, dont les écoulements rejoignent ceux de la Ravine Renone via un fossé pluvial le long de la RD11.
- Le bassin versant du **fossé pluvial** longeant la **Route des Sables**.

Pour les besoins de l'étude, nous avons choisi de découper les bassins versants concernés en 5 sous bassins (cf. figure 8):

- Le bassin versant de la **Ravine Sèche, en amont de la RD11**, qui trouve son origine au pied du Piton Bémassoune et se jette dans l'Océan Indien et ses affluents suivants :
- Le bassin versant de la **Ravine Renone**, en amont de la zone d'étude, à la cote 130m NGR;
- Le bassin versant de la **Ravine Maurice**, dont les écoulements proviennent de la Commune des Avirons en aval du Chemin n°1 et en amont de la zone d'étude, à la cote 100m NGR;
- Le bassin versant de la **Ravine Fond Charbonnot**, au droit de son franchissement de la RD11, en amont de la zone d'étude, à la cote 130m NGR;
- Le bassin versant du **fossé pluvial** de la Route des Sables, en aval de la ZI des Sables, à la cote 6m NGR

Il est important de noter que les bassins versants étudiés ont été cartographiés depuis les points d'injection de débits de chaque unité hydrographique étudiée, soit en amont direct de la zone d'étude.

## 4.2. PARTICULARITES HYDROMORPHOLOGIQUES

### 4.2.1. Ravine Sèche

Le linéaire de la Ravine Sèche dans la zone d'étude offre plusieurs particularités :

- Présence de 3 ouvrages hydrauliques (Cf. Annexe 1 : Fiches ouvrages) :
  - Le radier de la Rue Bellecombe (OH-RS-1-Bellecombe) ;
  - L'ouvrage hydraulique de franchissement de la RD11 (OH-RS-2-RD11);
  - L'ouvrage hydraulique de franchissement de la Route des Sables (OH-RS-3-Sables);
  - L'ouvrage hydraulique de franchissement de la RN1 (OH-RS-4-RN1).
- Tronçon intermédiaire traversant la forêt d'Etang Salé, offrant méandres et lit mineur peu marqué par endroits ;



- Exutoire en mer qui nécessite une analyse de l'influence des conditions aval (hauteur de mer, configuration du cordon dunaire : ouvert/fermé) sur les écoulements de la Ravine Sèche.



Figure 4 : Ravine Sèche - Exutoire en mer

#### 4.2.2. Ravine Renone

La Ravine Renone a été étudiée depuis la cote 110m NGR et son entrée sur le territoire communal de l'Etang Salé.

La Ravine Renone, franchit successivement :

1. Un espace boisé jusqu'à sa confluence avec la Ravine Maurice,
2. Une zone de cultures à la topographie plane, et sur laquelle le lit mineur n'est plus marqué,
3. La Route Départementale n°11, via l'ouvrage OH-RR-1-RD11,
4. Une zone cultivée sur laquelle le lit mineur est très peu marqué,
5. puis une zone résidentielle où le lit disparaît laissant place à des ouvrages pluviaux de très faible capacité,
6. La Route Départementale n°17<sup>E</sup> via l'ouvrage OH-RR-2-R17E,
7. Une zone habitée (via un fossé bétonné trapézoïdal) avant confluence avec la Ravine Sèche.



Figure 5 : Description de la Ravine Renone sur la zone d'étude

#### 4.2.3. Ravine Maurice

La Ravine Maurice, dont les écoulements proviennent de la Commune des Avirons en aval du Chemin n°1 a été étudiée depuis la cote 100m NGR et son entrée sur le territoire communal de l'Etang Salé.

Cette ravine franchit un espace de végétation, une habitation en rive droite puis une zone cultivée avant de se rejoindre la Ravine Renone à la cote 60m NGR.

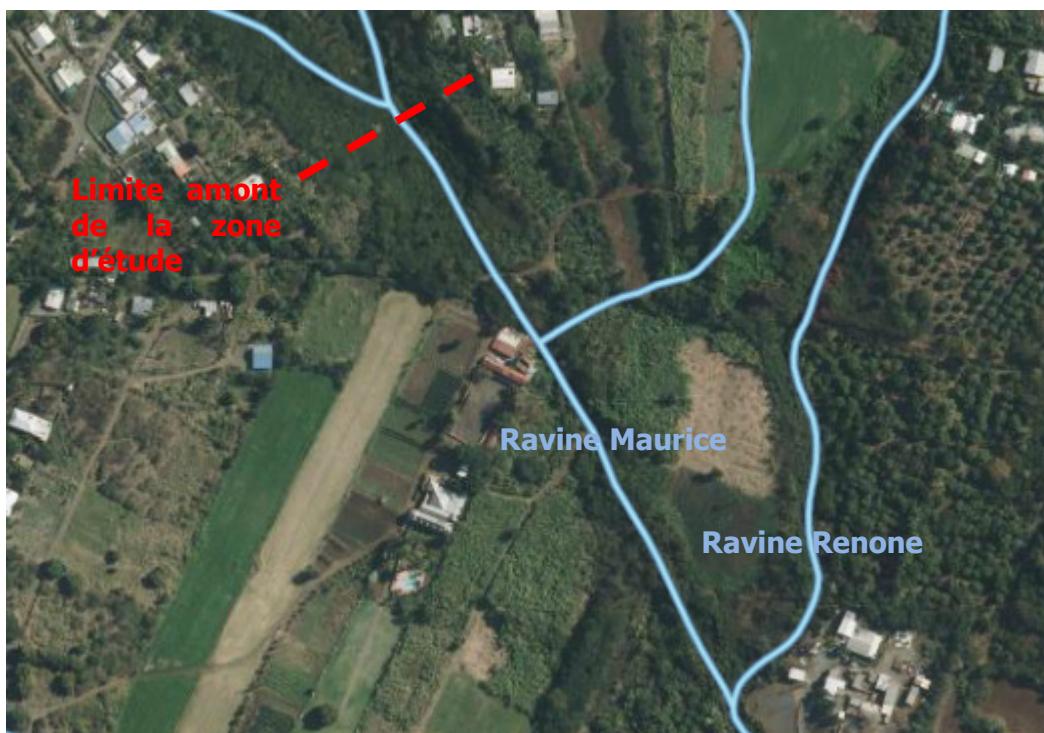


Figure 6 : Description de la Ravine Maurice sur la zone d'étude

#### 4.2.4. Ravine Fond Charbonnot

La Ravine Fond Charbonnot, dont les écoulements proviennent de la Commune des Avirons a été étudiée depuis la cote 110m NGR en aval de son premier franchissement de la RD11 et son entrée sur le territoire communal de l'Etang Salé.

La Ravine Fond Charbonnot franchit successivement :

1. Un espace de végétation clairsemée et de champs cultivés,
2. La RD11 via l'ouvrage OH-FC-1-RD11 ;
3. Une zone cultivée dont la topographie s'estompe peu à peu avant de rejoindre la Ravine Renone en amont de la RD11.



Figure 7 : Description de la Ravine Fond Charbonnot sur la zone d'étude

#### 4.2.5. Fossé pluvial – Route des Sables

Ce fossé, de section trapézoïdale, débute en amont de la Route des Sables, en rive gauche de la Ravine Sèche.



Il draine une partie du ruissellement provenant de la ZI des Sables mais également les débordements en rive gauche de la Ravine Sèche.

Ce fossé franchit la Route des Sables et la piste cyclable via, respectivement, les ouvrages : OH-EP-1\_Sables (1) et OH-EP-2\_Piste\_Cyclable (2).



Figure 8 : Description du fossé pluvial dit des Sables sur la zone d'étude

### 4.3. NOMENCLATURE DES OUVRAGES

#### **La nomenclature des ouvrages est ainsi définie:**

- 1<sup>er</sup> identifiant : OH pour les ouvrages hydrauliques et OA pour les ouvrages d'art ;
- 2<sup>ème</sup> identifiant : Les initiales du nom du cours d'eau pour chaque ouvrage (ex : RS pour la Ravine Sèche ; RR pour la Ravine Renone...) ;
- 3<sup>ème</sup> identifiant : Le numéro de l'ouvrage en fonction de sa position sur le cours d'eau (de l'amont vers l'aval) ;
- 4<sup>ème</sup> identifiant : Le type d'ouvrage ;
- 5<sup>ème</sup> identifiant : Nom de la voie traversée.

Dans l'optique de la modélisation mathématique des écoulements sur le linéaire d'étude, chaque ouvrage hydraulique a fait l'objet d'une analyse in situ, synthétisée sous la forme de fiches signalétiques détaillant les caractéristiques générales, géométriques et structurelles des ouvrages concernés.

Ces fiches sont présentées en « **Annexe 1 : Fiches Ouvrages** ».



Figure 9: Contexte hydromorphologique du secteur d'étude

## 5. ANALYSE IN SITU

Plusieurs visites de terrain ont été menées afin d'analyser :

- les caractéristiques des ouvrages hydrauliques présents ;
- la morphologie de l'axe d'écoulement (lit mineur et lit majeur) de chacun des cours d'eau étudiés ;
- les matériaux constitutifs du lit des cours d'eau (nécessaire au calage des coefficients de Strickler) ;
- les particularités topographiques du lit majeur (bas et hauts de talus, bas et hauts de berges permettant de définir les lignes caractéristiques définissant le MNT).

Les caractéristiques de ces ouvrages sont détaillées en « **Annexe 1 : Fiches Ouvrages** » mais sont illustrés par les photographies ci-dessous :



OH-RS-1-Bellecombe  
Vue d'ensemble



OH-RS-2-RD11  
Vue d'ensemble



OH-RS-3-Sables  
Vue d'ensemble



OH-RS-4-RN1  
Vue d'ensemble



OH-RR-1-RD11

Vue d'ensemble



OH-RR-2-RD17E

Vue d'ensemble



OH-EP-1-Sables

Vue d'ensemble



OH-EP-2-Piste cyclable

Vue d'ensemble



OH-EP-3-RN1

Vue d'ensemble



OH-EP-4-RN1

Vue d'ensemble



OA-1-RN1  
Vue d'ensemble



OA-2-RN1  
Vue d'ensemble



OA-3-RN1  
Vue d'ensemble



OH-1-RN1  
Vue d'ensemble



OH-2-RN1  
Vue d'ensemble



OH-FC-1-RD11  
Vue d'ensemble

Figure 10: Photos des différents ouvrages présents sur le secteur d'étude

## HYDROLOGIE

### 6. PRESENTATION DES BASSINS VERSANTS

#### 6.1. CARTOGRAPHIE DES BASSINS VERSANTS

Afin de modéliser la crue centennale sur le secteur d'étude, les bassins versants des axes d'écoulement présents ont été cartographiés et sont représentés sur la figure ci-dessous:

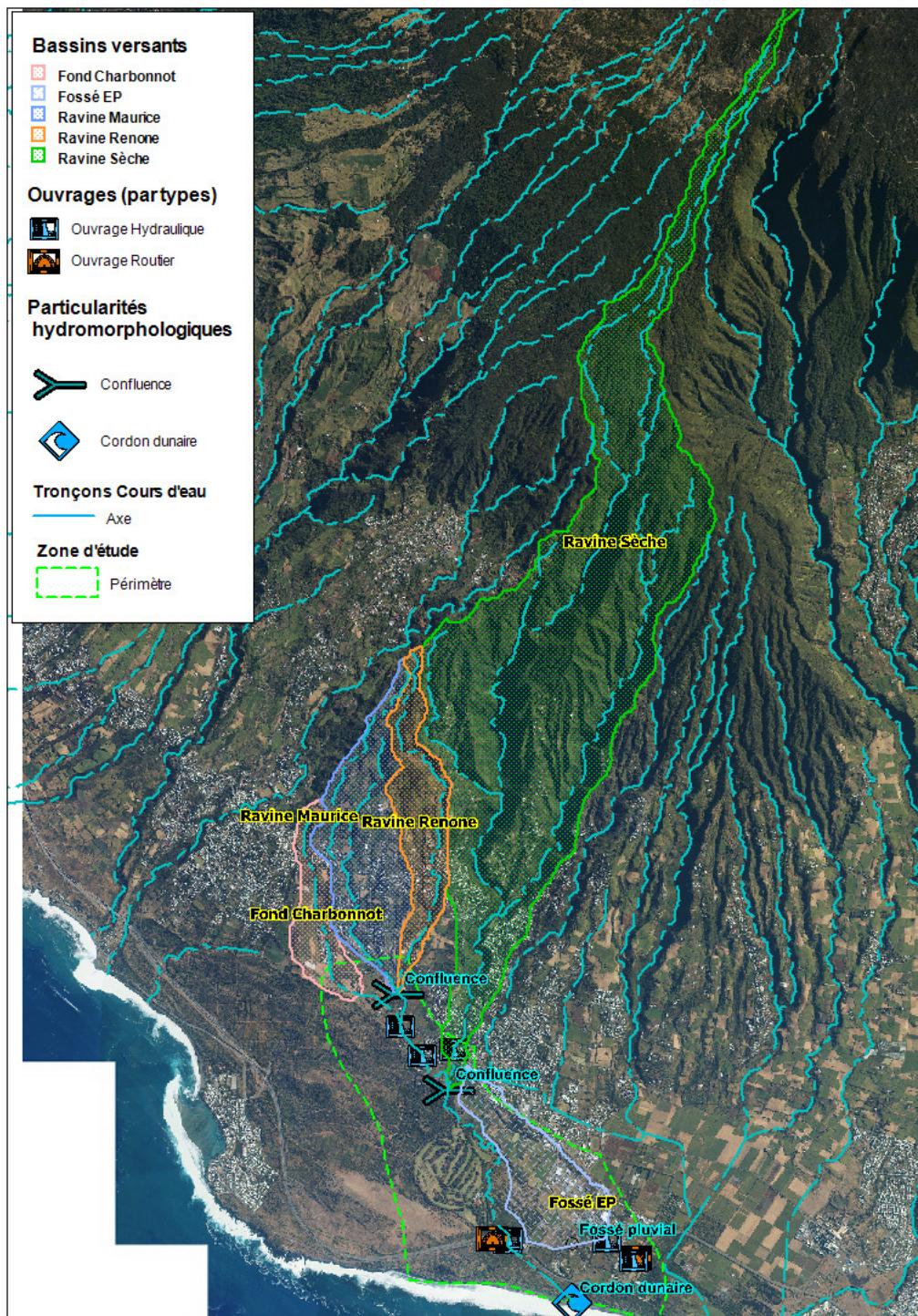


Figure 11: Bassins versants des axes d'écoulements impactant le secteur d'étude

## 6.2. CARACTERISTIQUES DES BASSINS VERSANTS ET TEMPS DE CONCENTRATION

Une analyse SIG a été réalisée afin de déterminer les caractéristiques hydromorphologiques de chacun de ces bassins versants, le tableau ci-dessous les détaillant :

Nom Bassin Versant	Surface (km2)	Longueur du BV (m)	Alt max (m)	Alt min (m)	Pente moyenne (%)	Altitude médiane (m NGR)	Allongement
Ravine Sèche	11,7	13320	2280	25	16,9	785	3,89
Ravine Renone	1,32	4363	780	60	16,5	425	3,80
Ravine Maurice	2,023	4320	760	60	16,2	390	3,04
Ravine Fond Charbonnot	0,8033	2850	470	80	13,7	265	3,18
Fossé EP - Les Sables	1,354	850	45	8	4,4	26,5	0,73

Tableau 1 - Caractéristiques hydromorphologiques des bassins versants

Dans un second temps, le temps de concentration de chaque bassin versant ont été déterminés, à partir des caractéristiques hydrogéomorphologiques de ces unités, en application des méthodes en vigueur à la Réunion.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Bassin versant	Tc (min)	Tc (h)
Ravine Sèche	64,5	1,07
Ravine Renone	25,0	0,42
Ravine Maurice	29,7	0,49
Ravine Fond Charbonnot	21,7	0,36
Fossé EP - Les Sables	51,2	0,85

Tableau 2: Temps de concentration des bassins versants

## 7. MODELISATION HYDROLOGIQUE

### 7.1. PRESENTATION DU LOGICIEL

HEC-HMS, développé par le corps des ingénieurs de l'armée américaine, est un outil de modélisation hydrologique.

Sa fonction principale est d'étudier le comportement hydrologique des bassins versants.

Ce logiciel permet notamment d'obtenir un hydrogramme (débits en fonction du temps) à partir d'un hyéogramme (intensité des pluies en fonction du temps).

L'hydrogramme ainsi simulé sera ensuite utilisé pour la modélisation hydraulique des crues étudiées.

## 7.2. DEFINITION DU MODELE

Afin de déterminer les hydrogrammes unitaires de chaque bassin versant nécessaires à la modélisation hydraulique de la crue centennale, 1 modèle de transformation pluie-débit a été construit:

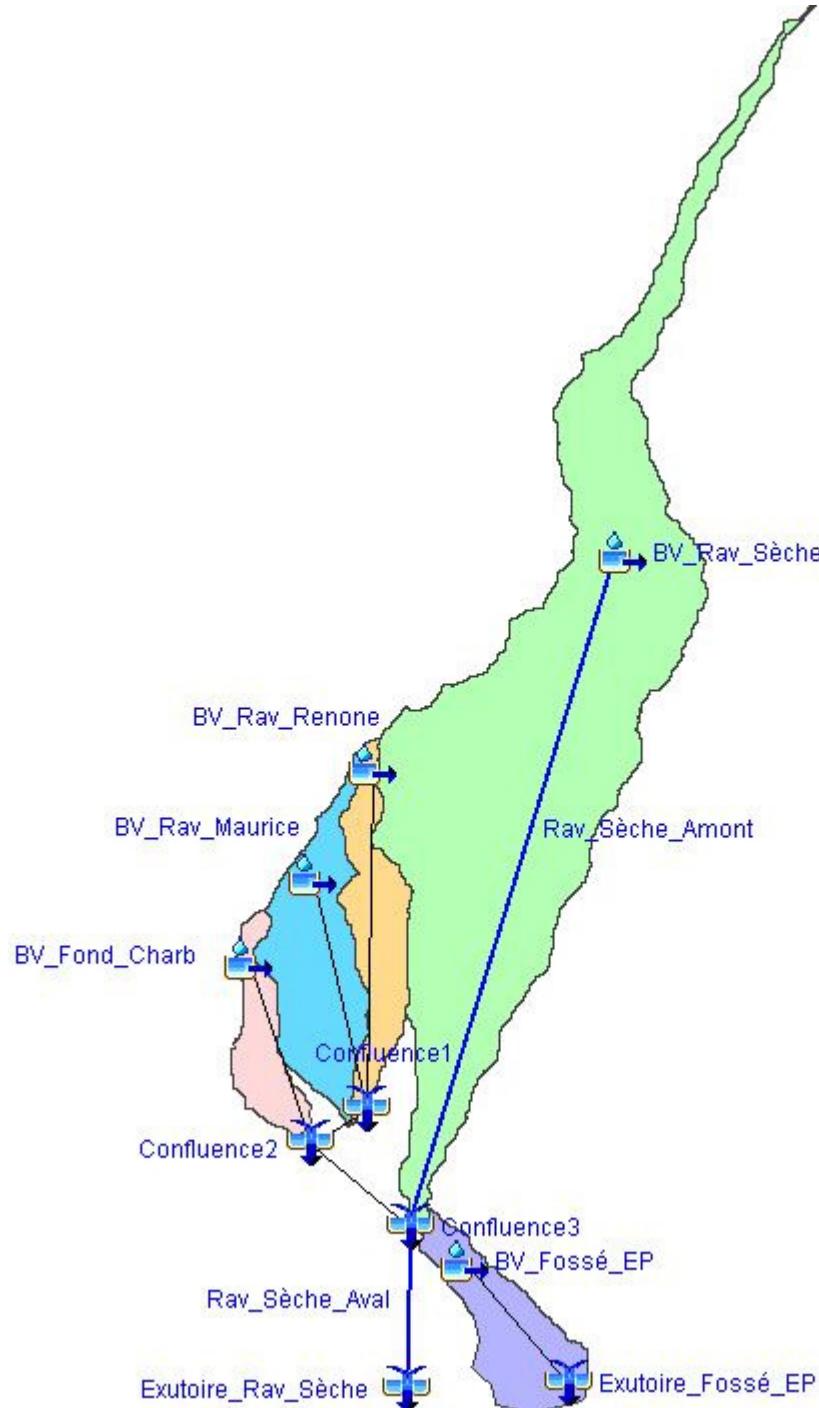


Figure 12: Modèle de représentation du fonctionnement hydrologique des cours d'eau du secteur d'étude

## 7.3. PARAMETRES DU MODELE

### 7.3.1. Hyéogrammes de projet

#### 7.3.1.1. Crue centennale

Les hyéogrammes d'entrée choisis, correspondent à un événement pluvieux d'intensité centennale (selon formule de Montana) pour la Ravine Sèche, sur une durée égale au temps de concentration (soit 64 minutes).

L'intensité pluviométrique de l'épisode pluvieux centennal de la Ravine Sèche a été déterminée par application de la Formule de Montana, et par utilisation des coefficients de la station du Gol les Hauts, représentative des bassins versants étudiés (position géographique et altitude) :

$$h(t) = a \times t^{(1-b)}$$

Durée de retour	a	b
5 ans	4.103	0.358
10 ans	3.682	0.296
20 ans	3.198	0.227
30 ans	2.913	0.186
50 ans	2.574	0.133
100 ans	2.135	0.057

Tableau 3 : Formule et Coefficients de Montana – Station Le Gol les Hauts

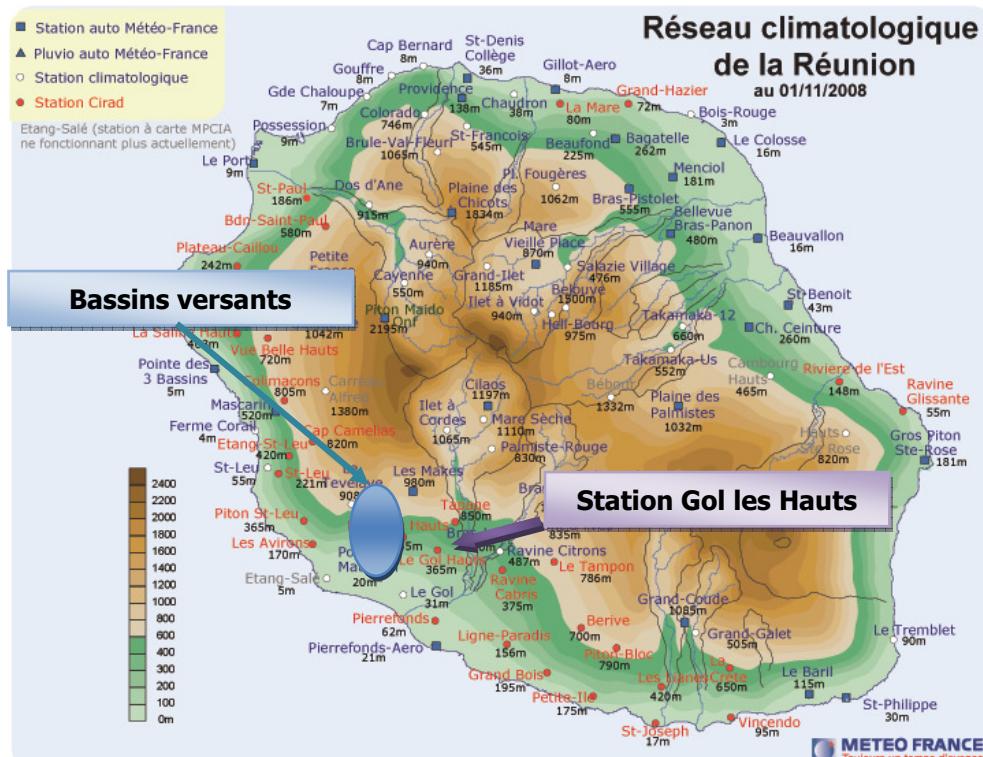


Figure 13 : Localisation du poste pluviométrique utilisé et des bassins versants étudiés

Ainsi, la hauteur précipitée, d'occurrence centennale est de 108,6 mm sur une durée de 64 minutes, soit une intensité pluviométrique centennale 101 mm/h, soit 1,58 mm/min.

Une pluviométrie initiale de 0,5mm/minute a été intégrée en début de hyéogramme, et ce pendant 5 minutes, afin de simuler un premier apport pluvieux, préalable au pic d'intensité centennale.

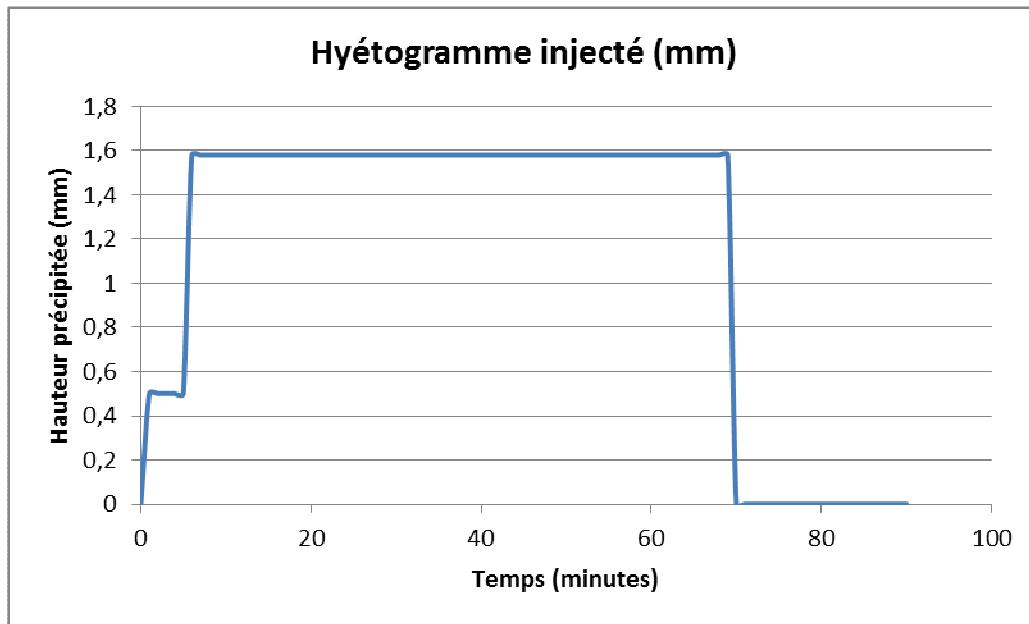


Figure 14: Hyéogramme centennal pour la Ravine Sèche

### 7.3.1.2. Reconstitution du cyclone Gamède

Une reconstitution des précipitations du cyclone Gamède a également été réalisée selon les enregistrements de pluie au Pont Mathurin (station Météo France : 20m NGR), extrapolés à l'altitude médiane du bassin versant de la Ravine Sèche (forte dépendance de la pluviométrie au gradient d'altitude).

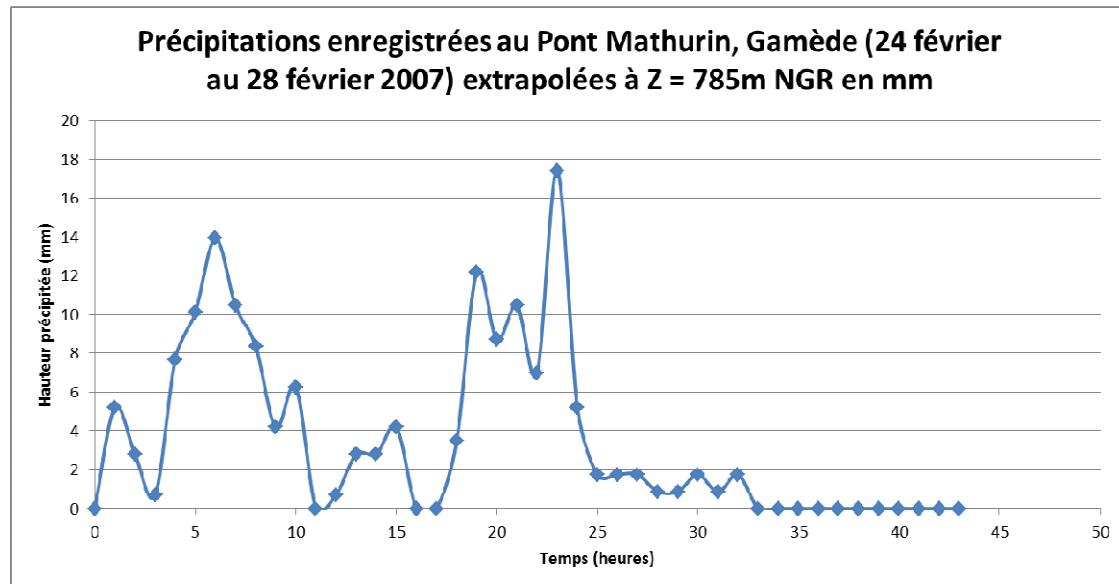


Figure 15: Précipitations enregistrées au Pont Mathurin pendant le pic de pluie de Gamède extrapolées à l'altitude médiane du bassin versant de la Ravine Sèche

### 7.3.2. Fonction de production

La fonction de production permet d'obtenir une pluie « nette », c'est-à-dire le ruissellement, à partir de la pluie totale (ou « brute »).

La méthode SCS (Soil Conservation Service of USA) a été utilisée pour la simulation des 2 modèles.

Cette méthode repose sur 3 hypothèses simplificatrices :

- La capacité d'infiltration tend vers 0 lorsque le temps de l'épisode pluvieux augmente. On admet donc qu'il existe une lame d'eau maximale infiltrable ;
- Le ruissellement apparaît seulement après qu'une certaine quantité de pluie ait été interceptée par les végétaux ou ait servi à remplir les dépressions à la surface du sol. Cette quantité d'eau interceptée est appelée perte initiale ( $So$ ). La pluie dite « utile » correspond à la pluie totale moins la perte initiale ;
- Le rapport entre le ruissellement et la pluie utile est égal au rapport de ce qui s'est infiltré à ce qui peut s'infiltrer au maximum.

Ces 3 hypothèses conduisent à la formule du ruissellement suivante :

$$R(t) = \frac{(P(t) - So)^2}{P(t) - So + S}$$

Avec :

- $P(t)$  : hauteur de pluies tombée entre les instants 0 et  $t$  (mm)
- $R(t)$  : hauteur de pluies ruisselée entre les instants 0 et  $t$  (mm)
- $So$  : Perte initiale (mm)
- $S$  : Capacité maximale d'infiltration (mm)

De plus, de nombreuses études démontrent la relation suivante :

$$So = 0,2 \times S$$

Ainsi, la formule du ruissellement s'écrit :

$$R(t) = \frac{(P(t) - 0,2S)^2}{P(t) + 0,8S}$$

Un seul paramètre sert au calage du modèle : la capacité maximale d'infiltration  $S$ . Il se calcule grâce au Curve Number (CN), qui est fonction de la nature du sol, du couvert végétal et de son état d'humectation initial.

Le CN utilisé ici, appelé CN II correspond à un état d'humectation moyen du sol.

$$S = \frac{25400 - 254 \times CN}{CN}$$

Afin de calculer les CN de chaque bassin versant, nous avons utilisé le POS de la Commune d'Etang Salé.

Pour ce faire, le territoire a été découpé selon 4 zones différentes, chaque zone ayant une valeur de CN différente (déterminée selon l'abaque de Ragan et Jackson) :

- Zone agricole avec un CN = 82
- Zone urbaine avec un CN = 85
- Zone forestière avec un CN = 55
- Zone en eau avec un CN = 0

Nom	Urbain	Agricole	Fôret et rural	Zone en eau	Total
	%	%	%	%	%
Rav Seche	6,789	14,068	78,051	1,091	100
Rav Renone	11,962	69,621	19,189	0,000	100
Fond Charbonnot	10,921	71,975	17,100	0,004	100
Rav Maurice	15,902	65,793	16,125	2,180	100
Fossé EP	34,032	53,781	12,186	0,000	100

Tableau 4: Zonage du territoire (analyse SIG via le PLU Communal)

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-après :

BV	CN II
Rav Seche	60
Rav Renone	78
Fond Charbonnot	78
Rav Maurice	76
Fossé EP	80

Tableau 5: Paramètres nécessaires à la modélisation hydrologique

### 7.3.3. Fonction de transfert

La fonction de transfert permet de transformer la pluie « nette » en un hydrogramme de crue.

La méthode de l'hydrogramme unitaire de Clark a été choisie pour cette modélisation.

Cette méthode consiste à propager un hydrogramme unitaire adapté à chaque bassin versant par ses caractéristiques : un temps de concentration (cf. tableau 3) et un coefficient de stockage.

Le coefficient de stockage est globalement égal à la moitié du temps de concentration.

## 7.4. RESULTATS POUR LA CRUE CENTENNALE

Les hydrogrammes obtenus par simulation sont les suivants :

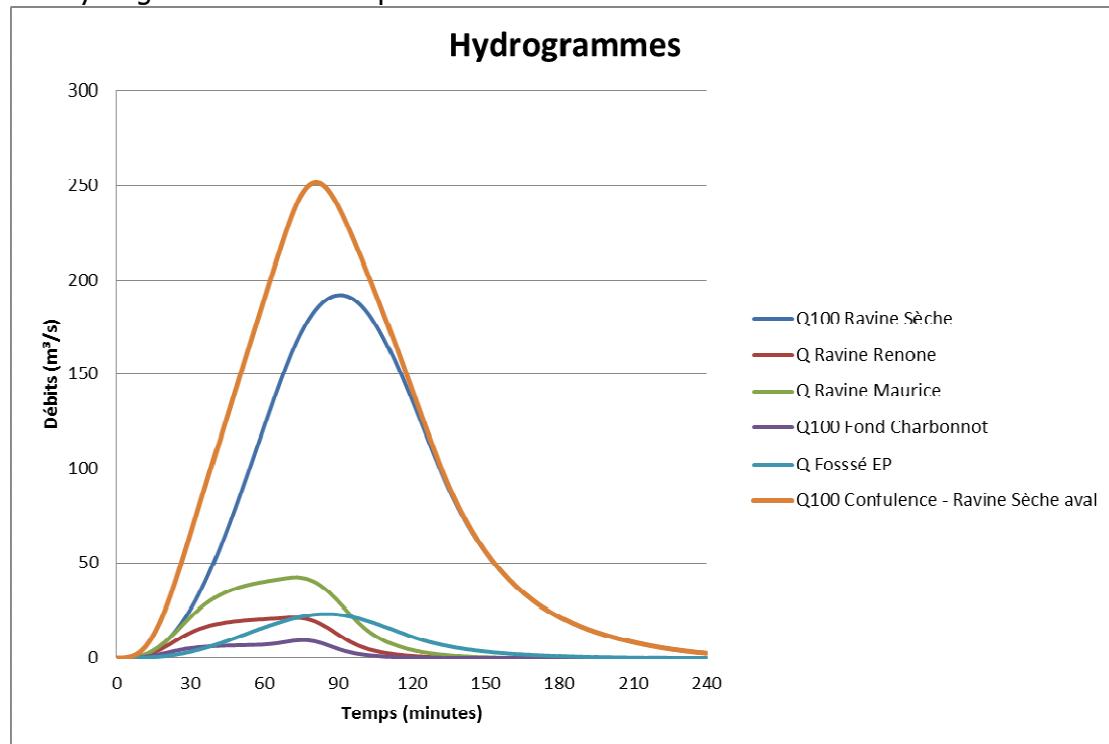


Figure 16: Hydrogrammes de projet

L'analyse des hydrogrammes modélisés obtenus, nous donne les débits de pointe suivants:

Nom Bassin versant	Altitude point de calcul (m NGR)	Q100 (m³/s)	qs100 (m³/s/km²)
Ravine Sèche	70	192,2	16,4
Ravine Renone	60	21,4	16,2
Ravine Maurice	60	42,2	20,9
Ravine Fond Charbonnot	80	9,4	11,7
Fossé EP - Les Sables	8	23,2	17,1
Confluence Ravine Sèche, Renone, Maurice, Fond Charbonnot	25	251,6	15,9

Tableau 6: Récapitulatif des caractéristiques des hydrogrammes de projet

Les débits spécifiques centennaux (de  $11,7\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  pour la Ravine Fond Charbonnot à  $20,9\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$  pour la Ravine Maurice) sont faibles au regard des valeurs usuellement admises à la Réunion (entre 20 et 30  $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ) mais cohérents vis-à-vis du contexte pluviométrique très sec de la zone.

De plus, les valeurs calculées sont cohérentes avec les résultats hydrologiques de l'étude de l'Etang du Gol, réalisée par Sogreah dans le cadre de l'aménagement du futur CED (Q100 Ravine Sèche Globale (Confluence) = 250 à 350 $\text{m}^3/\text{s}$ , pour un bassin versant de  $20,6\text{km}^2$  contre  $17,2\text{ km}^2$  ici, et  $qs100 = 12,1$  à  $17\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ).

Nous retenons donc les valeurs décrites dans le tableau ci-dessus.

## 7.5. RESULTATS POUR LA RECONSTITUTION DE GAMEDE

Les hydrogrammes obtenus par simulation sont les suivants :

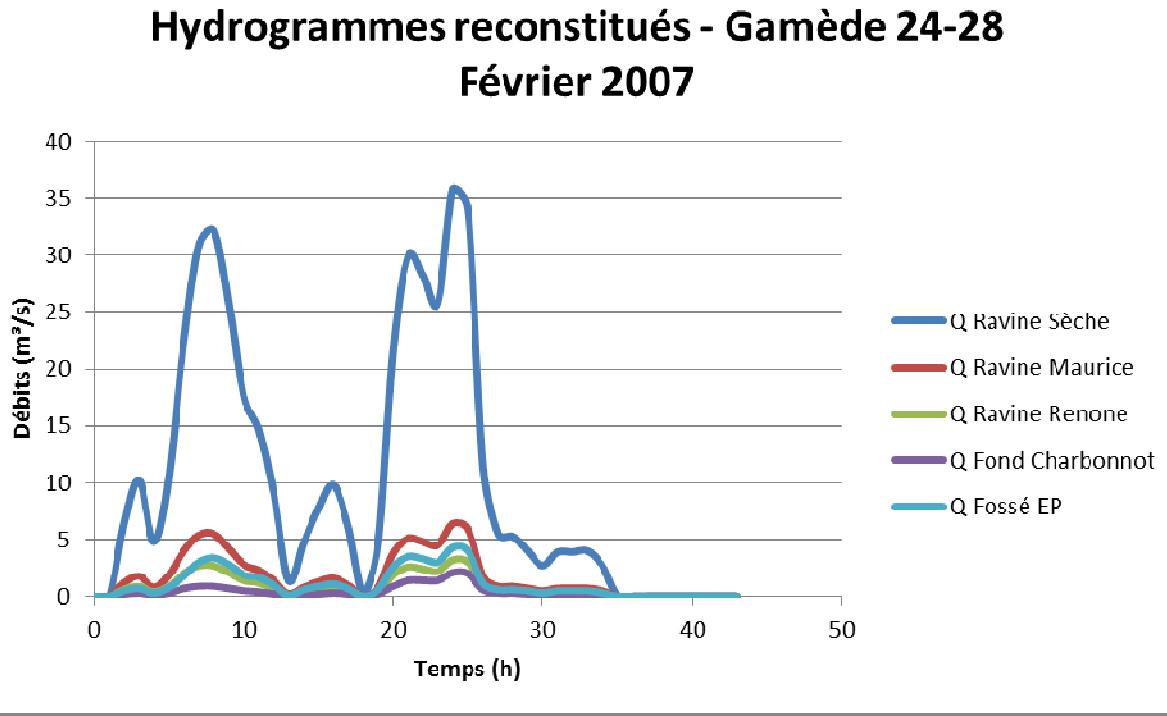


Figure 17: Hydrogrammes reconstitués de Gamède

L'analyse des hydrogrammes modélisés obtenus, nous donne les débits de pointe suivants:

Nom Bassin versant	Altitude point de calcul (m NGR)	Q modélisé Gamède ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
Ravine Sèche	70	35,8
Ravine Renone	60	3,2
Ravine Maurice	60	6,4
Ravine Fond Charbonnot	80	2,1
Fossé EP - Les Sables	8	4,3

Tableau 7: Récapitulatif des caractéristiques des hydrogrammes de projet

## HYDRAULIQUE

### 8. MODELISATION MATHEMATIQUE DES ECOULEMENTS

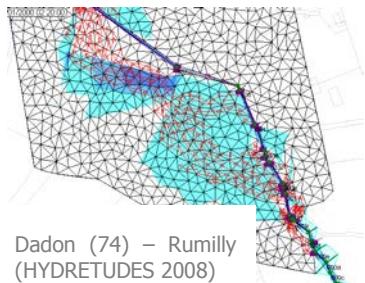
#### 8.1. MISE EN ŒUVRE DU MODELE ET PRESENTATION DU LOGICIEL

##### 8.1.1. Module 2D

InfoWorks 2D est un module intégré au sein du logiciel InfoWorks RS pour la modélisation des cours d'eau.

##### 8.1.2. Intérêt

L'Analyse de l'extension des zones inondables potentielles et la définition des caractéristiques hydrauliques comme la profondeur et la vitesse des écoulements est un problème complexe, en particulier dans les zones urbaines et /ou endiguées où les infrastructures peuvent réduire les inondations dans certaines zones, tout en les augmentant dans d'autres.



Les simulations en 1D peuvent très bien fournir des informations concernant les débits et les profondeurs d'écoulement sur les plaines d'inondation. C'est une méthode rapide et efficace pour déterminer l'extension maximale du champ d'expansion des crues, mais elle se fonde sur des hypothèses relatives sur le sens des écoulements. Les simulations 1D sont également limitées lorsque des informations détaillées sur les vitesses de ces écoulements sont nécessaires dans des configurations particulières, fortement influencés par les obstructions causées par les infrastructures telles que les routes et les bâtiments.

Dans ce cadre, les simulations en 2D sont mieux adaptées à la modélisation des écoulements pour des géométries complexes telles que les zones urbaines, des digues, des intersections de routes et autres infrastructures de transport et les terrains où les directions des écoulements sont difficiles à prévoir. Les modélisations en 2D nécessitent des données topographiques nombreuses et sont couteuses en temps de calcul.

La modélisation des événements complexes avec précision et efficacité exige un modèle à la fois 1D et 2D. Le logiciel Infoworks RS-2D combine à la fois un moteur 1D et 2D. Le modèle combine des éléments unidimensionnels et bidimensionnels.

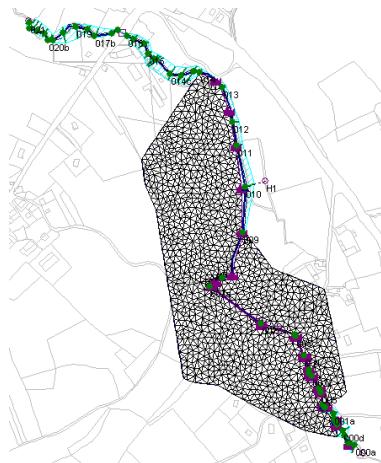
L'utilisation de la simulation 1D permet d'identifier les zones où les inondations se produisent. Une fois que les zones d'intérêt, touchées par les débordements sont identifiées, il est possible de construire le modèle 2D et en utilisant le calcul combinant le 1D et 2D, de déterminer la direction et les hauteurs des écoulements sur le lit majeur.

### 8.1.3. Moteur hydraulique 2D

InfoWorks 2D utilise des algorithmes performants basés sur une méthode type volumes finis pour résoudre l'équation complète de St-Venant utilisant le solveur de Riemann particulièrement adapté aux régimes hydrauliques rapidement variés tels que ceux à travers les rues escarpées, les carrefours et ceux qui sont associés aux submersions de digues.

Les moteurs 1D et 2D tournent en même temps permettant l'échange d'eau entre les modèles à chaque pas de temps. Les échanges se font au niveau des déversements (spills).

### 8.1.4. Mailleur 2D



L'espace est discrétré sous forme d'un maillage non structuré. Le module 2D d'InfoWorks est basé sur un maillage de surface, donnant un maximum de flexibilité pour le modéleur et en veillant à ce que le système soit inspiré de la topographie du site d'étude de façon aussi précise que possible.

Cette souplesse dans le maillage augmente le nombre de types d'écoulement que l'on peut modéliser.

Un certain nombre de types de maillage peuvent être utilisés et combinés dans un modèle :



Maillage triangulaire non structuré qui est la meilleure solution pour l'analyse des écoulements complexes ;



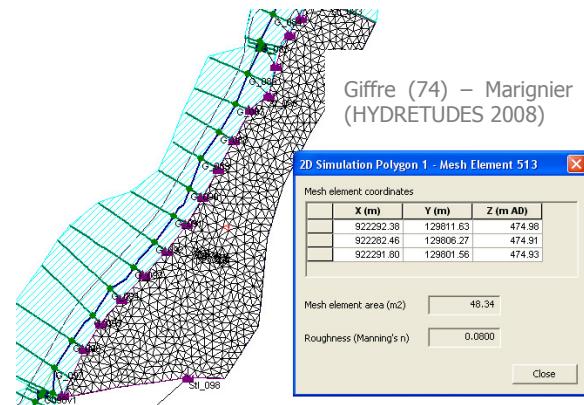
Maillage dans les zones présentant un intérêt particulier; maillage quadrangulaire non structuré qui est apte à modéliser les écoulements canalisés;



Maillage rectangulaire en vue de simplifier les modes d'écoulement.

Les spécifications de la maille peuvent varier selon les secteurs du modèle, permettant une excellente résolution autour des zones d'intérêt tout en utilisant une résolution plus faible pour les régions moins importantes. Le générateur de maillage peut également inclure des vides (bâtiments), des murs, de préciser la rugosité des zones individuelles. Ce point est crucial pour simuler avec précision les circulations d'eau autour des bâtiments, sur les routes et dans les zones de terrain ouvert, comme les champs.

Les données nécessaires pour générer le modèle de maillage peuvent être importées à partir des couches de fond, de modèle numérique ou des caractéristiques d'un réseau 1D.



## 8.2. ANALYSE TOPOGRAPHIQUE

### 8.2.1. Introduction

La modélisation 2D des écoulements d'une crue de projet sur un secteur urbanisé nécessite la construction d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) précis, reflétant la réalité du site le plus fidèlement possible (remblais, ouvrages, points bas, ...).

C'est pourquoi, la construction de ce modèle a été le fruit d'une analyse topographique complexe que nous allons détailler ci-après.

### 8.2.2. Sources et données utilisées

L'analyse topographique a été réalisée sur la base de la LITTO 3D (couches 1m et 5m) de la Commune de l'Etang Salé, réalisé par l'IGN.

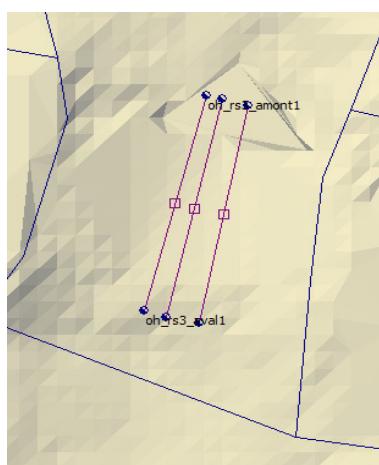
### 8.2.3. Construction du Modèle Numérique de Terrain

#### 8.2.3.1. Construction des lignes caractéristiques

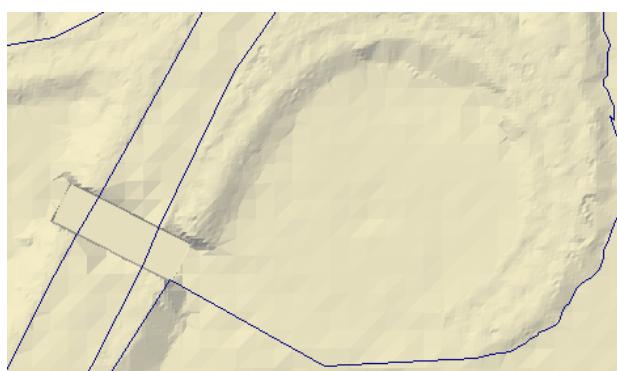
Plusieurs visites de terrain ont été effectuées afin d'augmenter l'adéquation de ce MNT à la réalité. Lors de ces visites, outre les dimensions des ouvrages hydrauliques et routiers à intégrer au MNT, les lignes caractéristiques (haut de berges, bas de berges, ruptures de pentes marquées) préalablement tracées à partir des courbes de niveaux 1m et des ortophotographies 2008 ont pu être vérifiées et ajustées (levé GPS).

#### 8.2.3.2. Intégration des ouvrages

Tous les ouvrages hydrauliques et routiers, présents dans le secteur d'étude et ayant une influence sur son inondabilité ont été intégrés au MNT ou au modèle mathématique 2D.



*Ouvrage hydraulique intégré au modèle 2D  
(Exemple : OH-RS-3-Sables - 3 dalots)*



*Ouvrage routier intégré au MNT  
(Exemple OA-1-RN1 : Echangeur Zi Sables)*

*Figure 18 : Intégration des ouvrages*

### Ouvrages intégrés au MNT :

Les ouvrages suivants ont été directement intégrés au MNT car disposant d'une capacité nettement suffisante pour ne pas se mettre en charge pendant la crue centennale :

- le radier de franchissement de la Ravine Sèche par la rue Bellecombe en amont de la RD11,
- l'ouvrage de franchissement de la Ravine Sèche par la RD11 OH-RS-2-RD11),
- ouvrages routiers de la RN1 (OA-1-RN1 ; OA-2-RN1 ; OA-3-RN1),
- ouvrages hydrauliques de la RN1 (Aval de la ZI des Sables : OH-EP-3-RN1 ; Ouvrage sur la Ravine Sèche : OH-RS-4-RN1).

### Ouvrages intégrés au Modèle 2D (Cf. 8.2.3.2 - Intégration des ouvrages) :

Les ouvrages suivants ont été intégrés au modèle 2D car ayant un impact sur les écoulements et des dimensions laissant envisager une mise en charge pour les crues de projet :

- ouvrage hydraulique de la RN1 franchissant la Ravine Sèche (OH-RS-3-Sables),
- ouvrages hydrauliques de la RN1 (OH-1-RN1, OH-2-RN2 (double cadre) et OH-EP-4-RN1 (buse Ø1000)),
- ouvrage hydraulique pour les eaux pluviales en aval du fossé de la route des Sables (OH-EP-1-Sables et OH-EP-2-Piste-cyclable),

Certains ouvrages recensés sur site et présentés en Annexe 1 – Fiches ouvrages n'ont pas été intégrés au modèle car leur influence sur les écoulements a été jugée négligeable, pour une période de retour centennale, et de plus dans une zone à faible enjeux (Exemples : OH-RR-1-RD11).

#### 8.2.4. Résultats

Le MNT ainsi créé est illustré ci-dessous et recouvre une surface de 5,4 km<sup>2</sup> :



Figure 19: Vue aérienne 3D du Modèle Numérique de Terrain de la zone d'étude (HYDRETUDES 2012)

Ce MNT, couplé à l'orthophotographie de la zone d'étude est illustré ci-dessous. Une analyse de la concordance entre éléments de terrain localisés sur orthophotographies, le relief du MNT et les valeurs d'altitudes de ses facettes a été réalisée afin de vérifier sa précision. Le MNT final a ensuite été intégré au modèle mathématique 2D de simulation des écoulements.



Figure 20: Couplage MNT et orthophotographie de la zone d'étude (HYDRETUDES 2012)

### 8.3. CONDITIONS AUX LIMITES

- Débit :

Les hydrogrammes de projet présentés dans la partie précédente ont été intégrés comme conditions limites amont du modèle.

- Conditions aux limites :

Etant donné le contexte du site d'étude : proximité de l'exutoire en mer et influence des surélévations du niveau marin lors d'épisodes cycloniques, nous avons imposé une hauteur de mer constante à l'aval du modèle sur toute la durée des crues de projet.

Sur la base des hypothèses prises sur différentes études similaires réalisées à la Réunion, la hauteur de 2,00 m NGR a été imposée comme condition limite aval au modèle.

Afin de prendre en compte l'influence de l'Etang du Gol sur notre secteur d'étude lors d'une crue centennale (de la Ravine Sèche), nous avons imposé une hauteur de 4,50 m NGR comme condition en limite aval Est du modèle. Cette hauteur correspond à une configuration de l'étang du Gol saturé avec une configuration haute de son cordon dunaire (Etude hydraulique de l'Etang du Gol pour la construction du Centre des Eaux Douces, Sogreah 2007).

Cette hauteur correspond à la valeur obtenue dans l'étude hydraulique sur le réseau hydrographique de l'Etang du Gol en vue de la réalisation du Centre des Eaux Douces, réalisée par SOGREAH en Décembre 2006.

Cette hypothèse a été jugée réaliste car les débits cumulés de la Ravine Sèche et de ses affluents (90 des 346 m<sup>3</sup>/s totaux) qui alimentent effectivement l'Etang du Gol représentent uniquement 6 à 7% des débits totaux incidents de l'Etang (environ 1 400 m<sup>3</sup>/s).

## 8.4. PARAMETRES DE MODELISATION

### 8.4.1. Coefficients de rugosités

Les différences de rugosité représentatives du sol en place ont été prises en compte.

Pour ce faire, la zone d'étude a été divisée en 4 types de zones de rugosité (Cf. figure ci-dessous), dont les valeurs citées ont été attribuées aux surfaces respectives :

- Zone Urbaine :  $n=0.025$
- Surface routes :  $0.015$
- Lit mineur :  $n=0.030$
- Lit majeur :  $n=0.050$

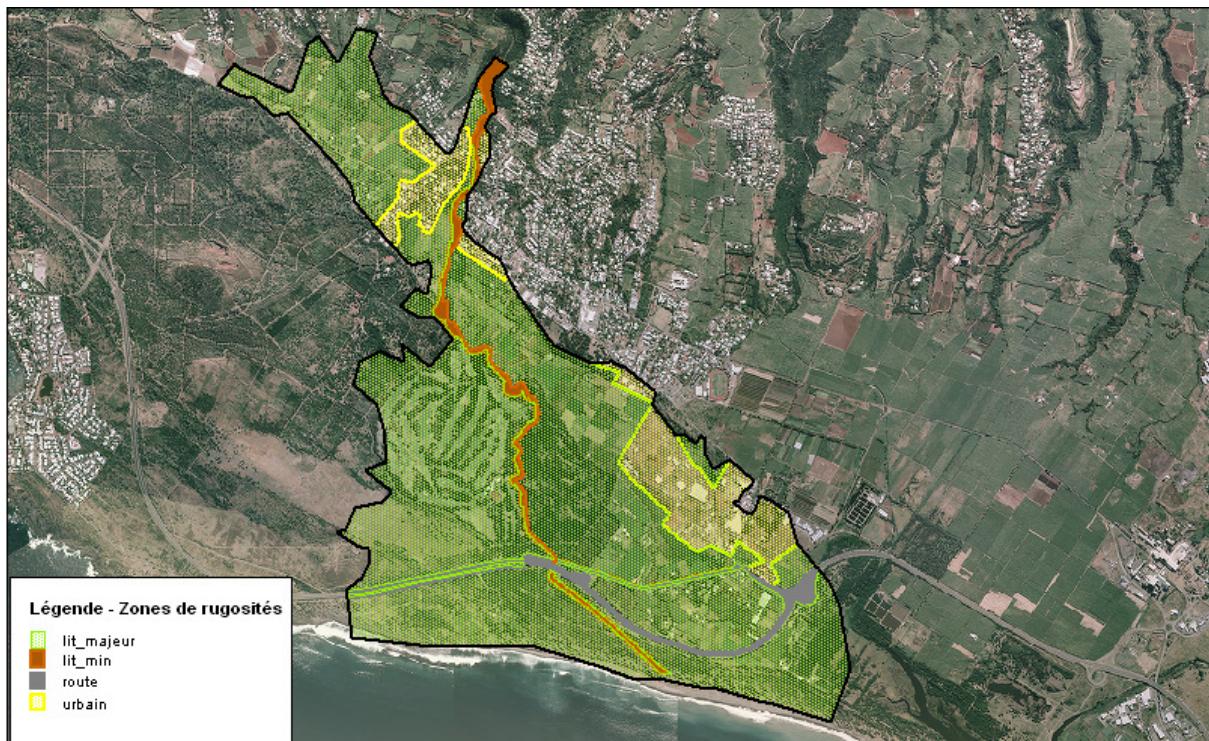


Figure 21 : Cartographie des types d'occupation du sol et des zones de rugosités correspondantes

### 8.4.2. Intégration des bâtiments

Les bâtiments (éléments de la BD Topo 2008) ont été intégrés puis modélisés comme éléments poreux («Porous polygon») afin de représenter leur capacité limitée à absorber une partie des volumes liquides incidents (coefficients de porosité de 5%). Les lignes caractéristiques de contours des bâtiments ont également été intégrées au maillage hydraulique 2D.

### **8.4.3. Intégration des ouvrages hydrauliques**

Les ouvrages suivants ont été intégrés au modèle 2D car ayant un impact sur les écoulements et des dimensions laissant envisager une mise en charge pour les crues de projet :

- ouvrage hydraulique de la RN1 franchissant la Ravine Sèche (OH-RS-3-Sables),
- ouvrages hydrauliques de la RN1 (OH-1-RN1, OH-2-RN2 (double cadre) et OH-EP-4-RN1 (buse Ø1000)),
- ouvrage hydraulique pour les eaux pluviales en aval du fossé de la route des Sables (OH-EP-1-Sables et OH-EP-2-Piste-cyclable),

### **8.4.4. Maillage de calcul**

Lit mineur et majeur sont modélisés en 2D, sur la base du MNT construit à partir de la LITTO 3D fournie.

Le maillage effectué sur le secteur d'étude génère 196338 facettes de calcul avec des triangles de calcul d'une superficie comprise entre 5 et 50 m<sup>2</sup>.

## **8.5. CALAGE DU MODELE**

Les coefficients de Manning injectés dans le modèle ont été déterminés à la suite d'observations de terrain et avec l'expérience de notre bureau d'étude dans la modélisation mathématique d'écoulements.

Les résultats du modèle (H, V) ont été analysés en recoupant les valeurs avec la topographie existante (MNT issu de la LITTO 3D, visite in situ...) afin de vérifier leur validité avant éventuelle nouvelle itération de calcul.

La visualisation dynamique des crues (outil vidéo permettant de voir évoluer les inondations générées avec le temps) ainsi que l'analyse des écoulements par les lignes de résultats sous Infoworks RS 2D permet de vérifier la cohérence des résultats et de modifier certains paramètres du modèle dans les secteurs particuliers offrant éventuellement des incohérences constatées.

## 8.6. ARCHITECTURE DU MODELE

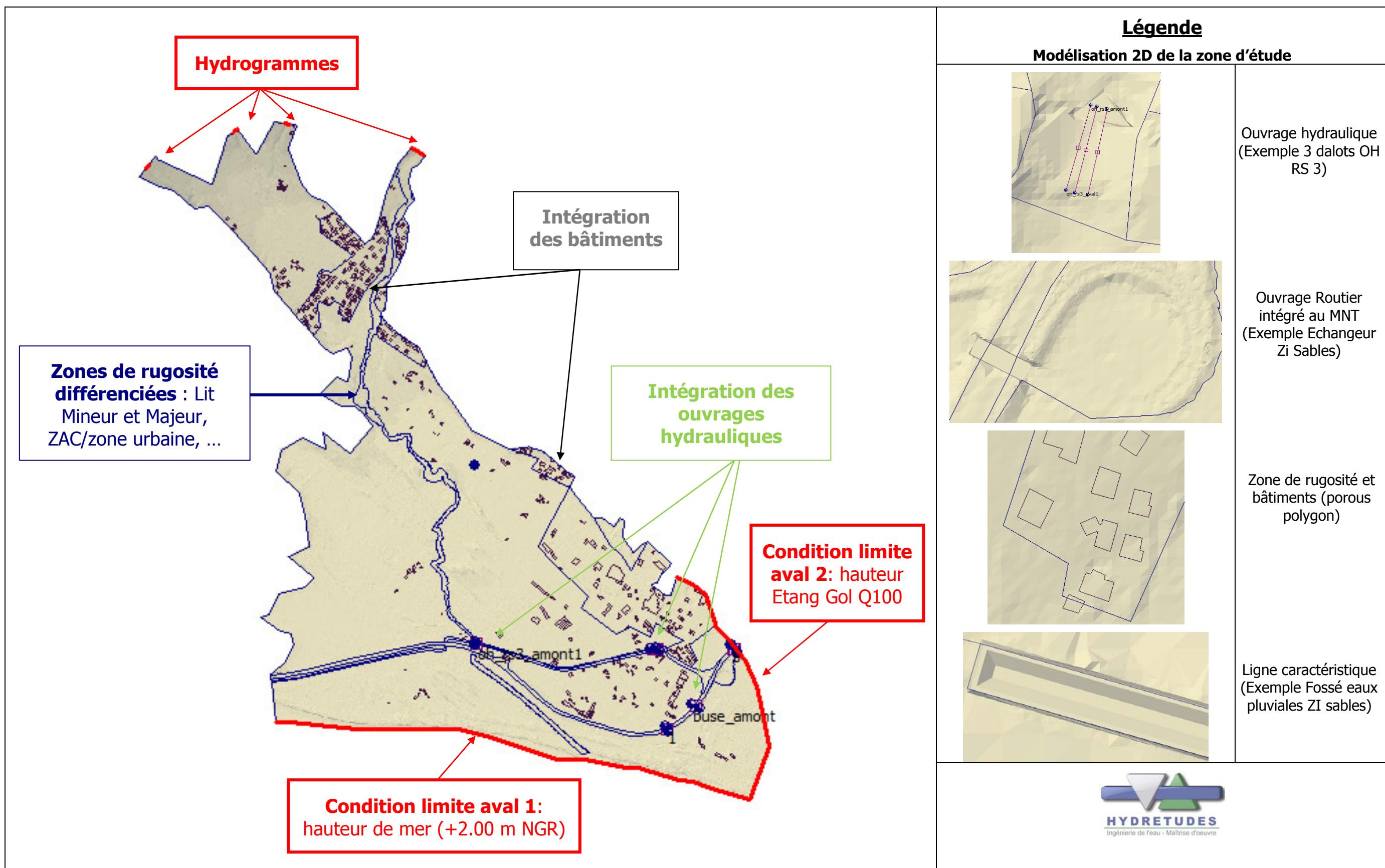


Figure 22: Architecture du modèle

## 9. ANALYSE DES ECOULEMENTS

### 9.1. RESULTATS DU MODELE – SCENARIO 1 : CRUE CENTENNALE

#### 9.1.1. Introduction

Les simulations de la crue centennale de la Ravine Sèche et de ses affluents (Ravine Fond Charbonnot, Ravine Maurice, Ravine Renone), dans sa traversée de la Commune de l'Etang Salé, ont permis de mettre en évidence les paramètres caractéristiques des écoulements induits.

La figure ci-dessous illustre l'étendue de la zone d'expansion de la crue centennale de ce système hydrographique, résultant de la modélisation mathématique 2D détaillée ci-dessus:

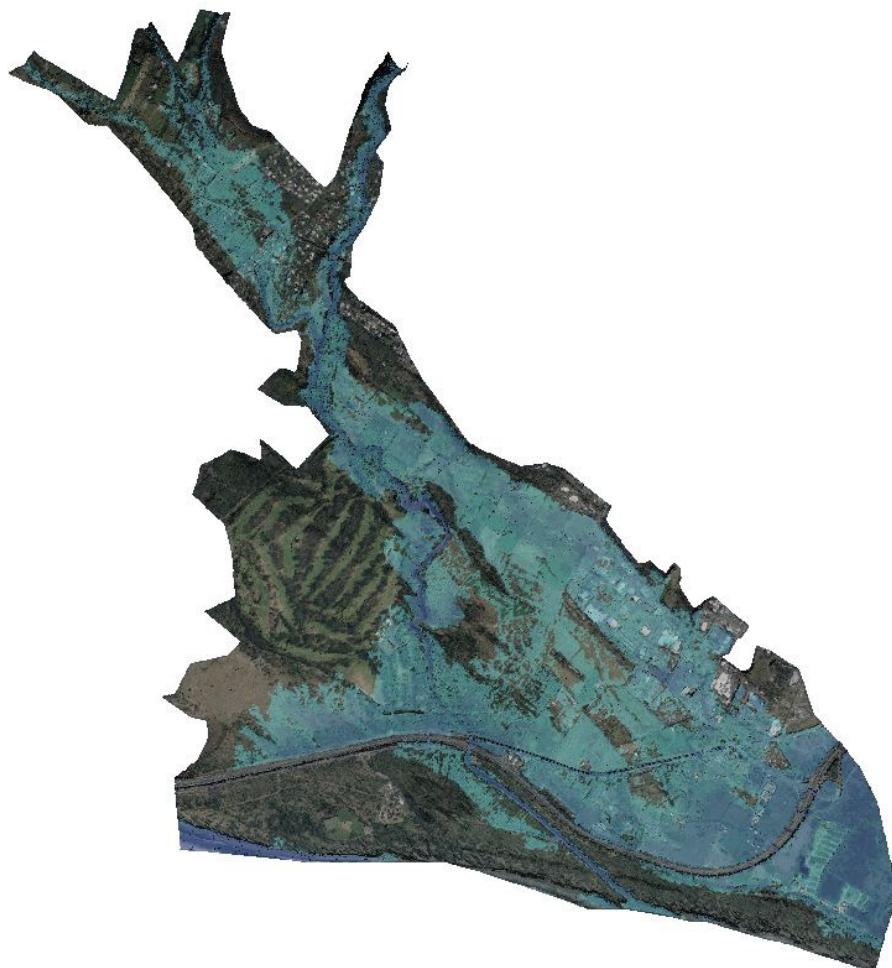


Figure 23: Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale de la Ravine Sèche et de ses affluents sur la Commune d'Etang Salé

L'extrait ci-dessous illustre les écoulements dans la partie basse de la zone d'étude comprenant la ZI des Sables, la RN1 et ses ouvrages ainsi que le site de l'ARDA et du futur Centre des Eaux Douces :



Figure 24: Illustration 3D des écoulements d'une crue centennale de la Ravine Sèche et de ses affluents sur la Commune d'Etang Salé – zoom ZI des Sables – RN1 – ARDA

### **9.1.2. Analyse des écoulements**

Les écoulements sont variés sur la zone d'étude. On note l'importance de la condition de hauteur de l'étang du Gol imposée en aval.

Des débordements importants ont lieu, surtout en rive gauche de la Ravine Sèche, en aval de la RD11, générant un important front d'écoulement vers la ZI des Sables.

Ce front de débordement est induit par une faiblesse localisée du gabarit du lit de la Ravine Sèche, en rive gauche. Ces écoulements ruissent ensuite vers la ZI des Sables, sans regagner le lit mineur de la Ravine Sèche, inondant une bonne partie de la zone.

Le Golf est touché partiellement par 2 débordements de la Ravine Sèche sur sa rive droite.

La Route Nationale a un effet de barrage malgré les nombreux ouvrages hydrauliques ou routiers fortement sollicités.

La topographie plane et offrant des altitudes peu élevées, combinée à l'influence majeure de l'Etang du Gol favorise le stockage et la stagnation d'eau en partie basse de la zone d'étude. Les volumes stockés sont très importants.

Les cartes présentées au paragraphe suivant illustrent les résultats du modèle mathématique 2D sur le périmètre de la présente étude.

### 9.1.3. Description des écoulements d'une crue centennale sur la zone d'étude

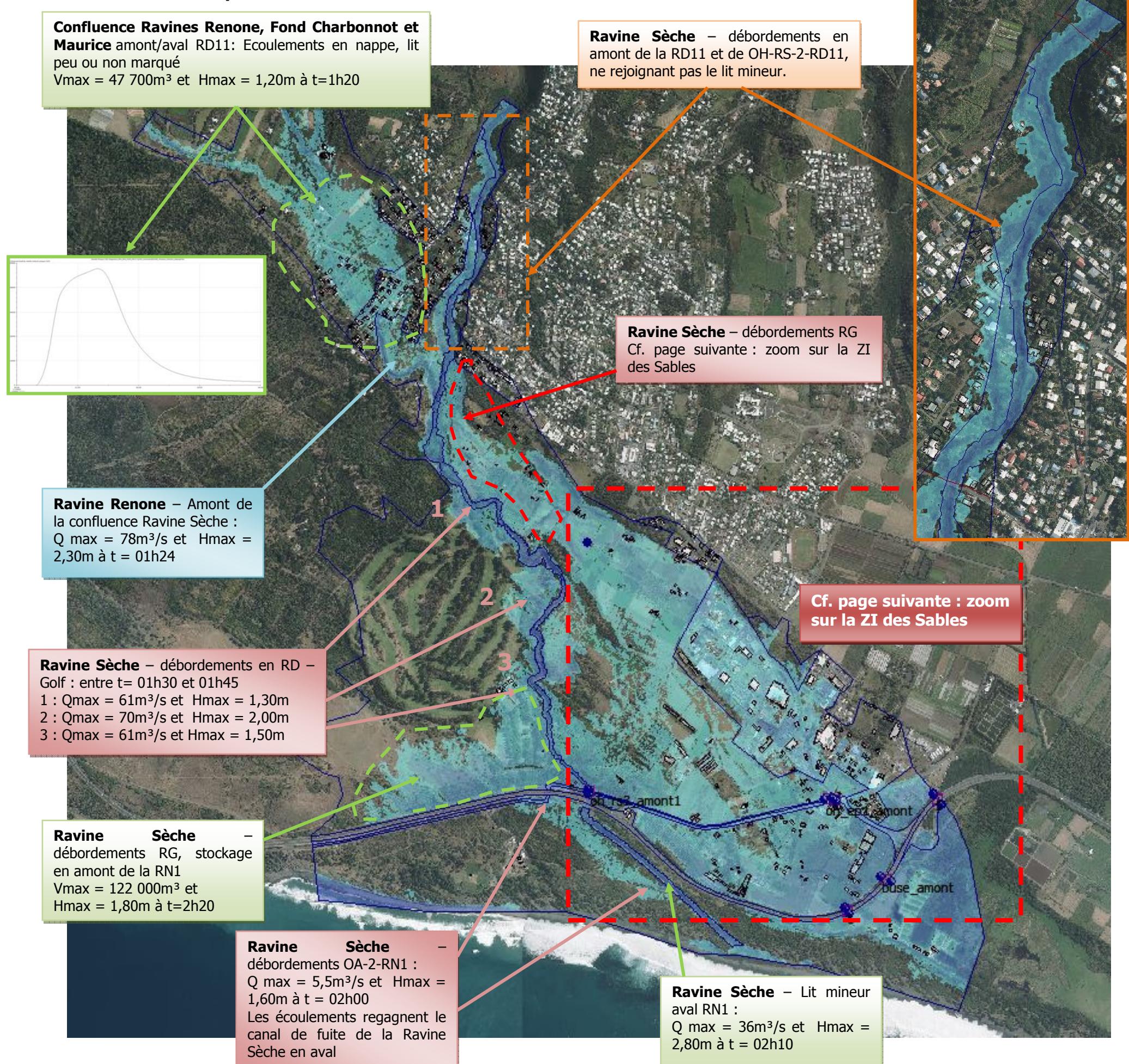


Figure 25 : Visualisation des écoulements d'une crue centennale de la Ravine Sèche et de ses affluents à Etang Salé

#### 9.1.4. Zoom sur la ZI des Sables

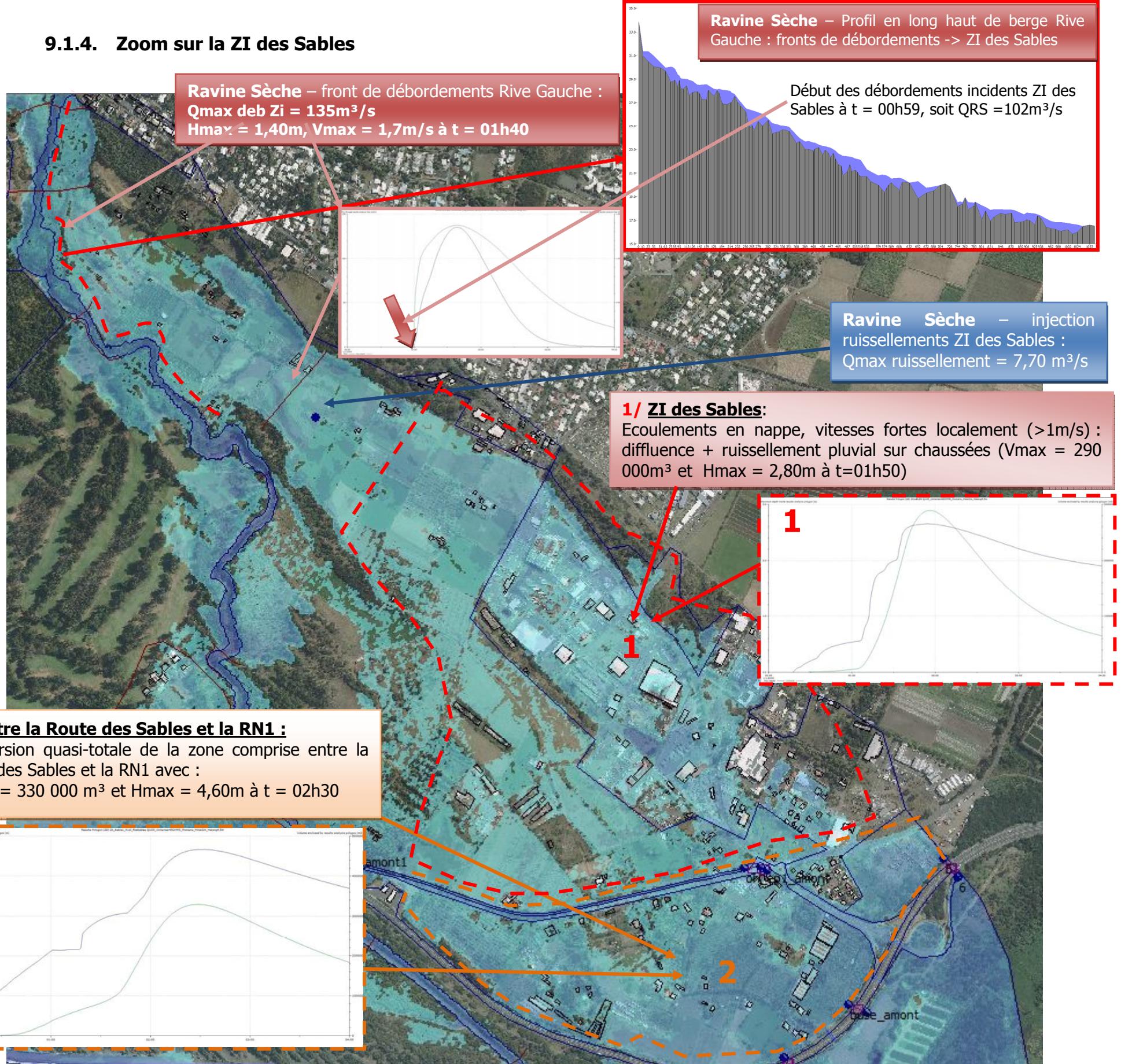


Figure 26 : Description des écoulements sur la ZI des Sables

### 9.1.5. Zoom sur le projet de CED et la RN1

La figure ci-dessous illustre et décrit les écoulements se produisant au droit du franchissement de la RN1 et sur le site de l'ARDA et du futur projet CED (Centre des Eaux Douces) :

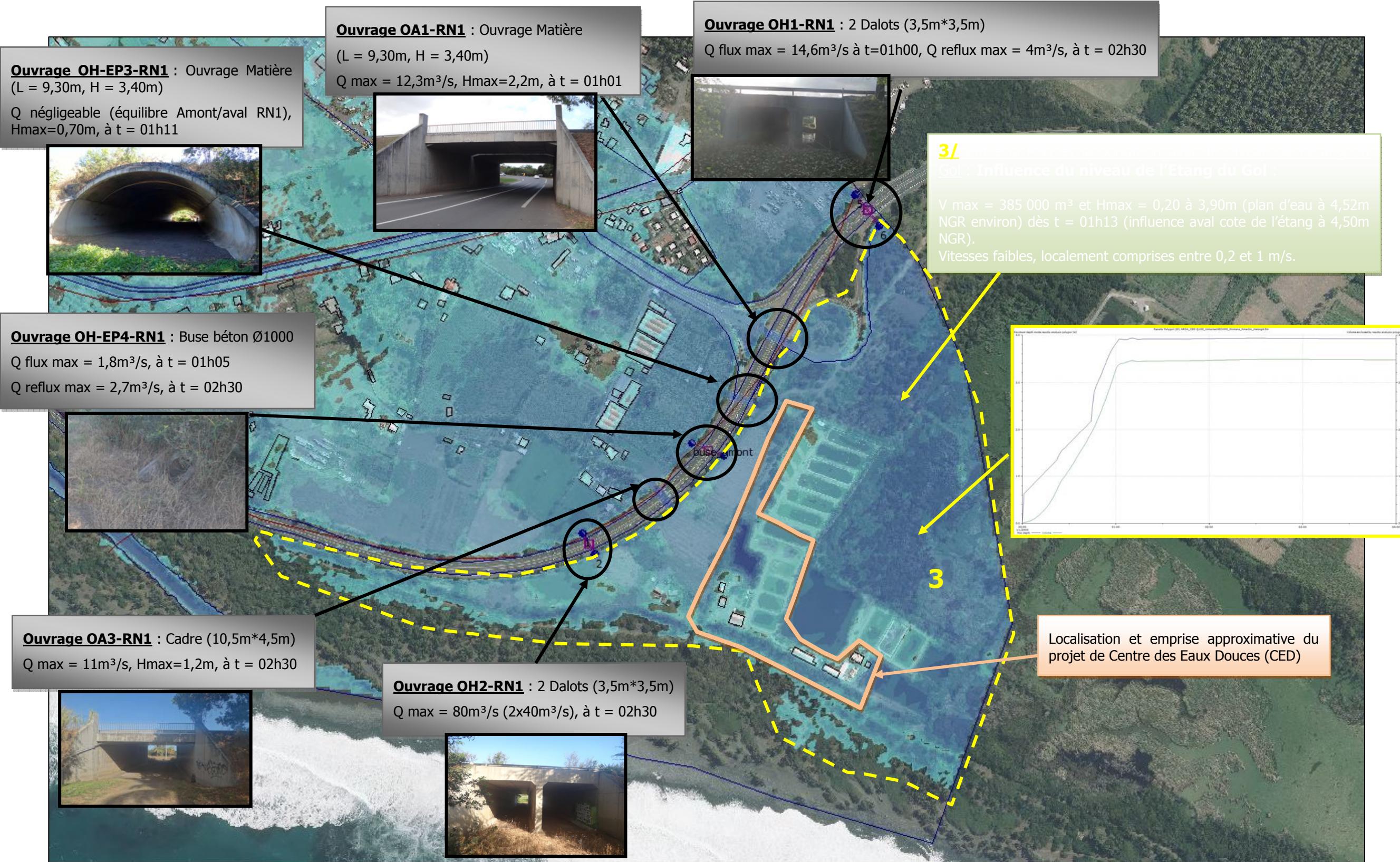


Figure 27 : Description des écoulements – Franchissement de la RN1 et Site ARDA, Projet de CED

## 9.2. ANALYSE DE LA DIFFLUENCE EN RIVE GAUCHE DE LA RAVINE SECHE

Les écoulements observés selon les résultats de l'étude, sont issus (hors ruissellement pluvial propre au bassin versant de la ZI) d'une difffluence de la Ravine Sèche au droit de sa confluence avec la Ravine Renone :

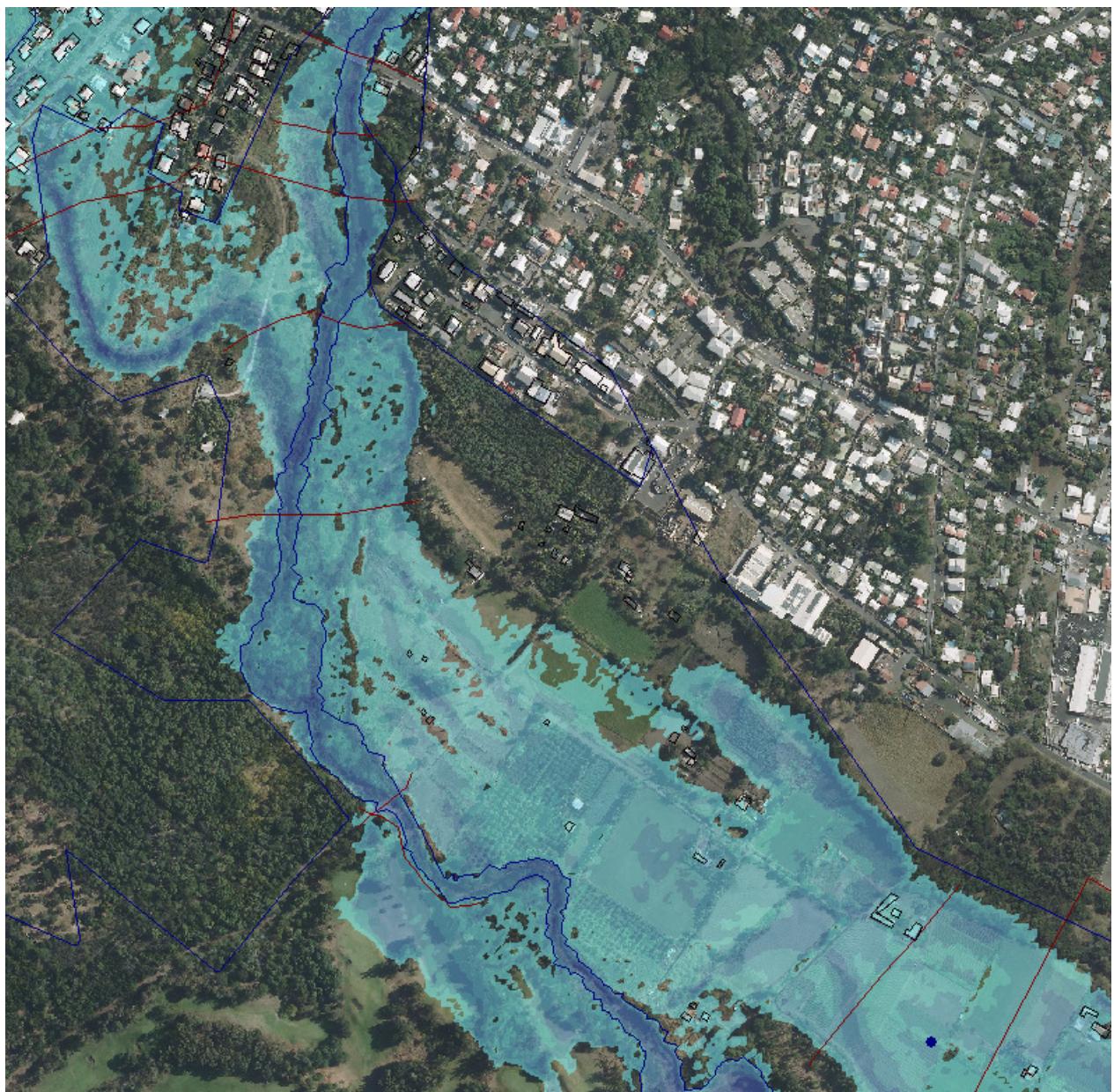


Figure 28 : Difffluence de la Ravine Sèche en rive gauche, inondant une partie de la Zi des Sables

L'analyse de la photographie aérienne (approche naturaliste type hydrogéomorphologique) dans cette zone de diffluence confirme la probabilité de divagation des écoulements et donc de débordement de la Ravine Sèche en rive gauche :

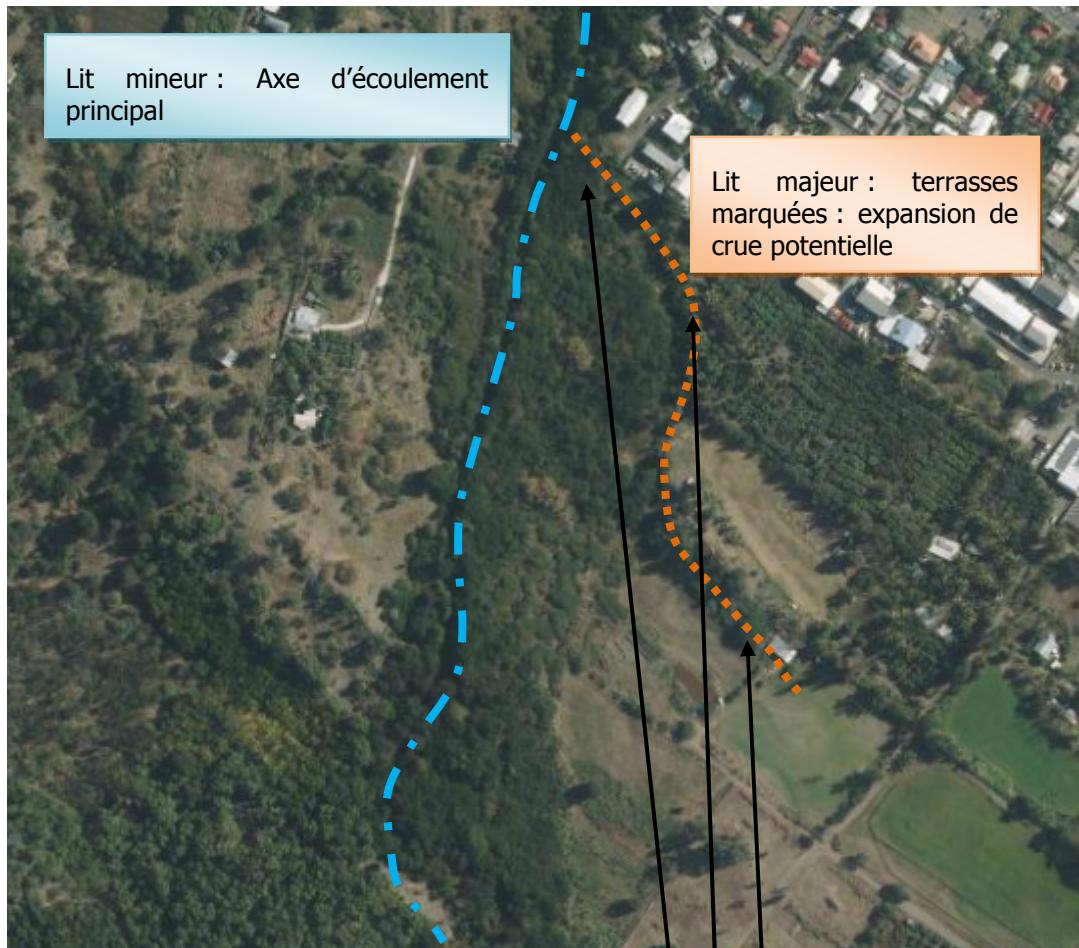
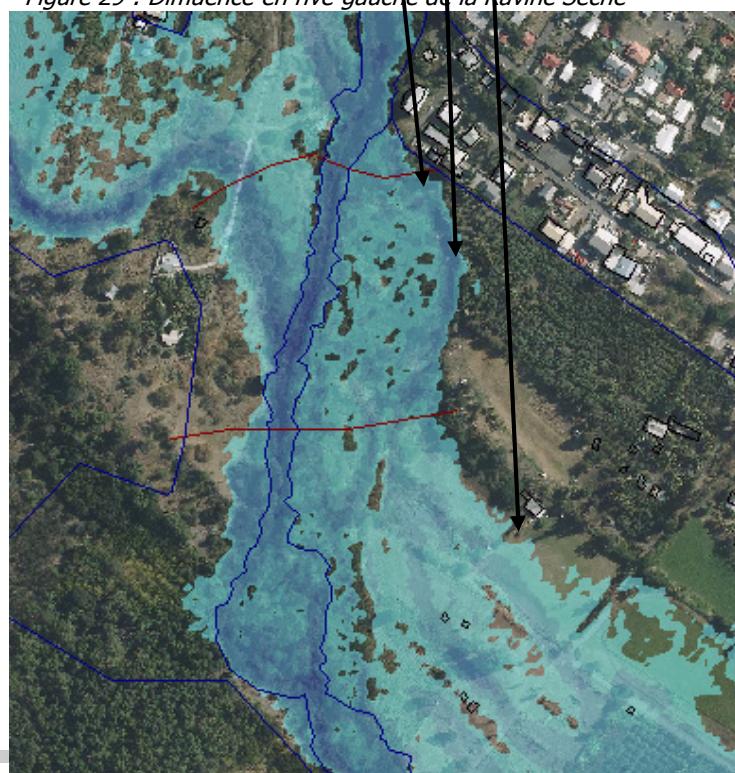


Figure 29 : Diffluence en rive gauche de la Ravine Sèche



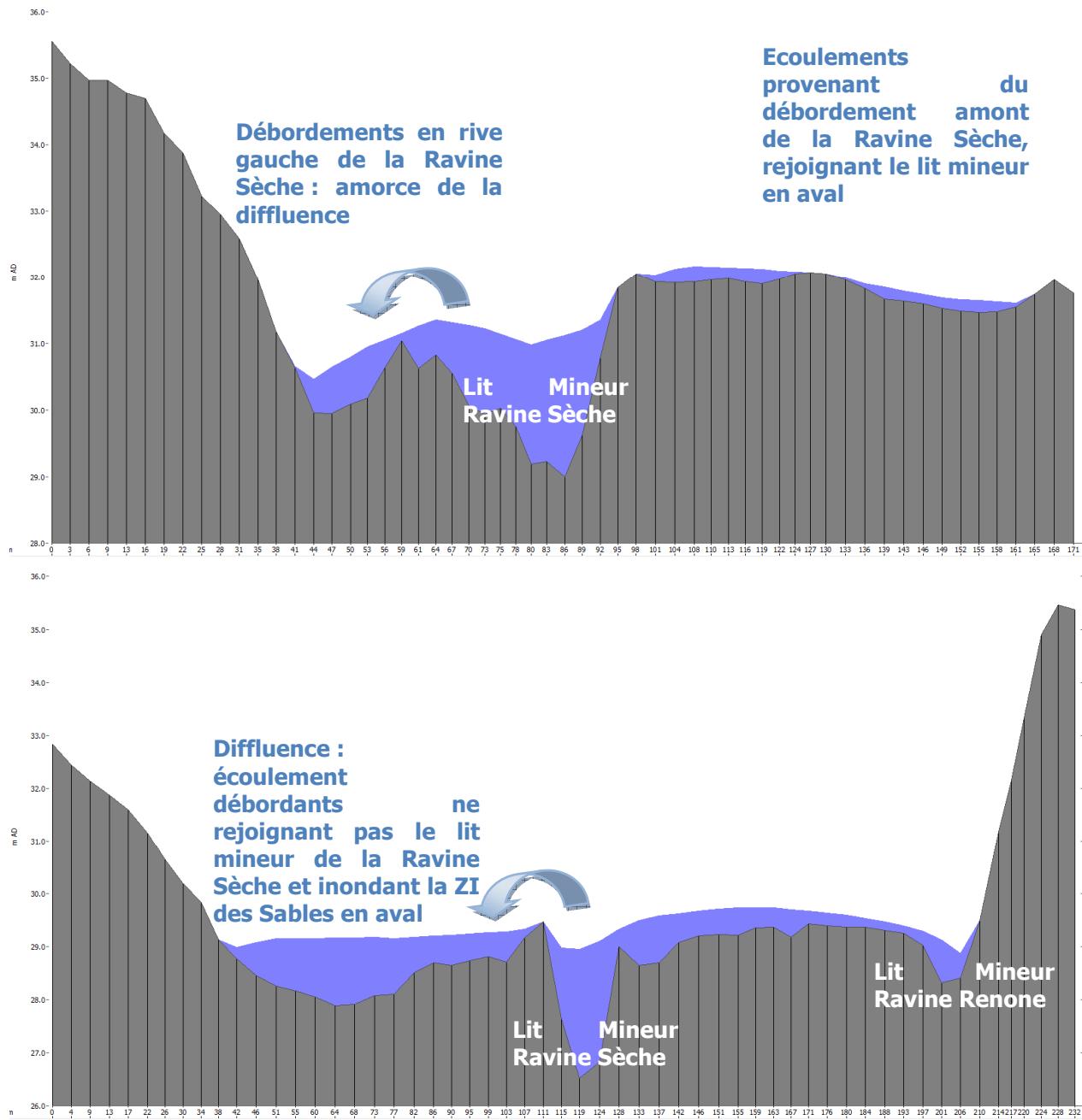


Figure 30 : Illustration de la diffluence en rive gauche de la Ravine Sèche (profils en travers)

## 9.3. RESULTATS DU MODELE – SCENARIO 2 : GAMEDE

### 9.3.1. Introduction

Les simulations des écoulements de Gamède (issu de la reconstitution du phénomène par modélisation des débits écoulés, en réponse aux enregistrements pluviométriques à la station Pont Mathurin) de la Ravine Sèche et de ses affluents (Ravine Fond Charbonnot, Ravine Maurice, Ravine Renone), dans sa traversée de la Commune de l'Etang Salé, ont permis de mettre en évidence les paramètres caractéristiques des écoulements induits.

Cette étape a consisté également au **calage du modèle global** (rugosités, topographie et ouvrages).

La figure ci-dessous illustre l'étendue de la zone d'expansion de la crue centennale de ce système hydrographique, résultant de la modélisation mathématique 2D détaillée ci-dessus:

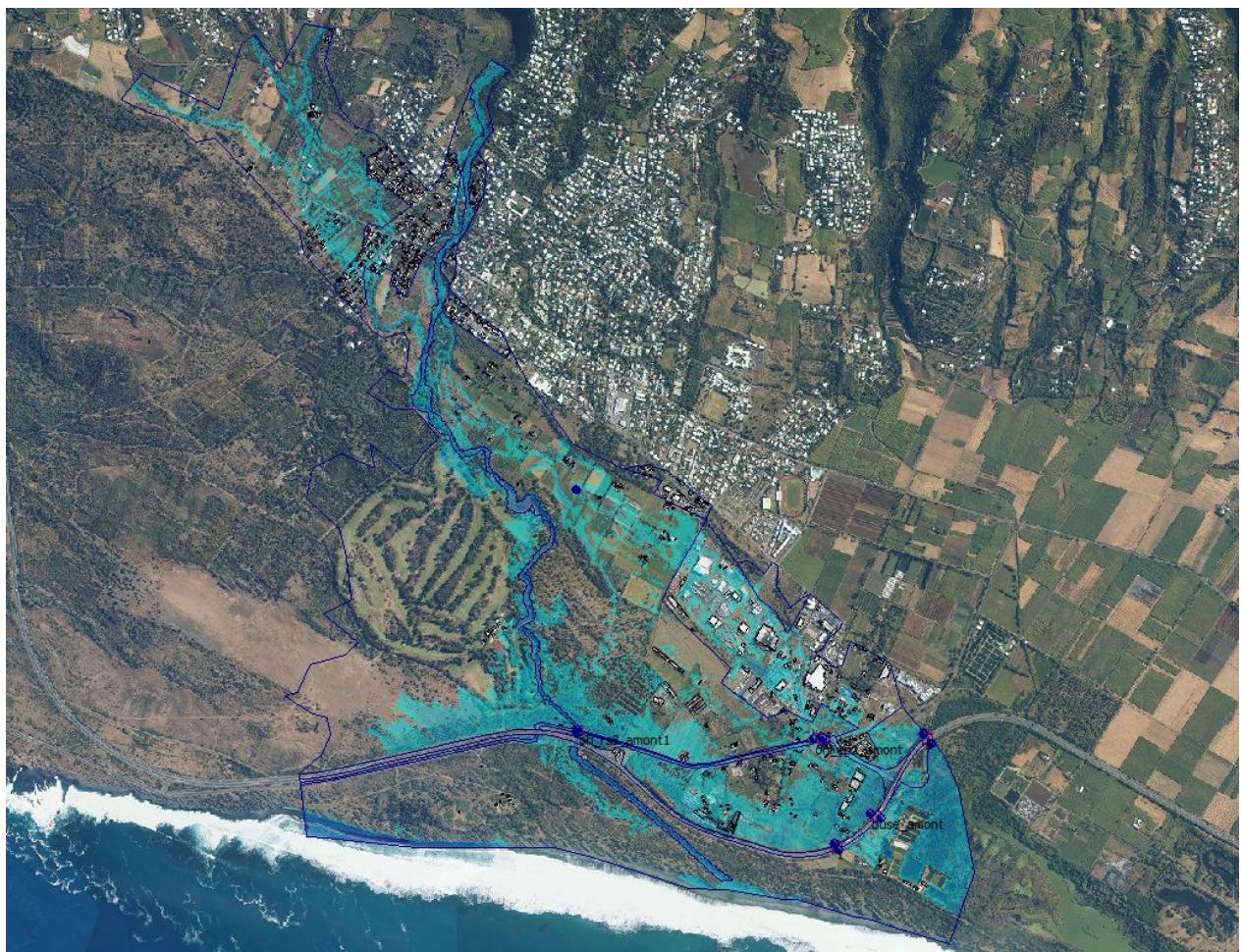
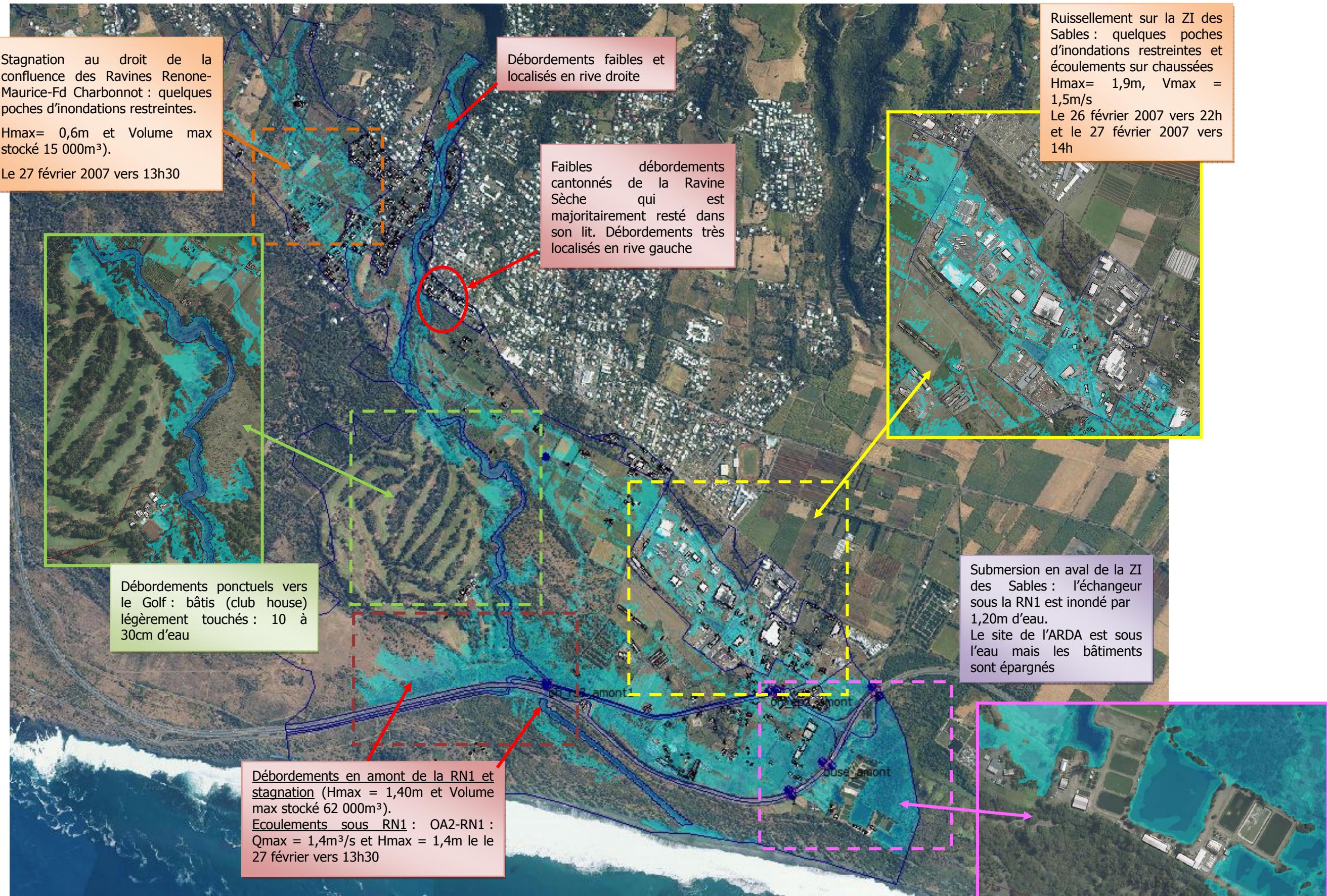


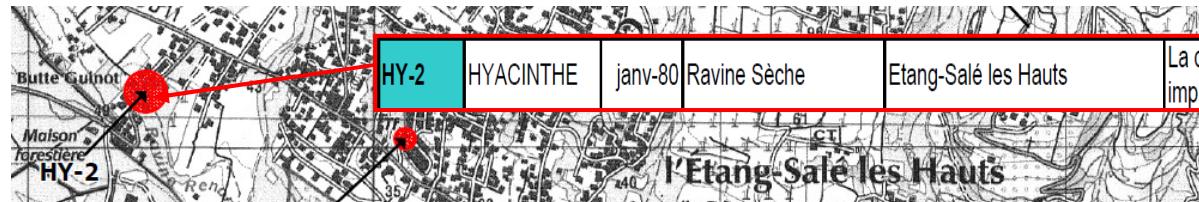
Figure 31: Illustration 3D des écoulements reconstitués du Cyclone Gamède de Février 2007 de la Ravine Sèche et de ses affluents sur la Commune d'Etang Salé

### 9.3.2. Analyse des écoulements

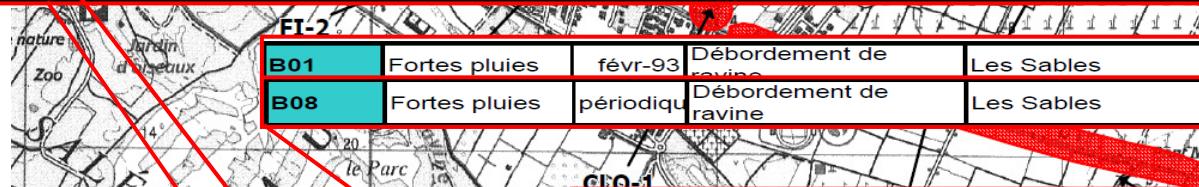
Les simulations des écoulements de l'épisode Gamède, donnent les résultats suivants (illustrés sur la figure page suivante) :



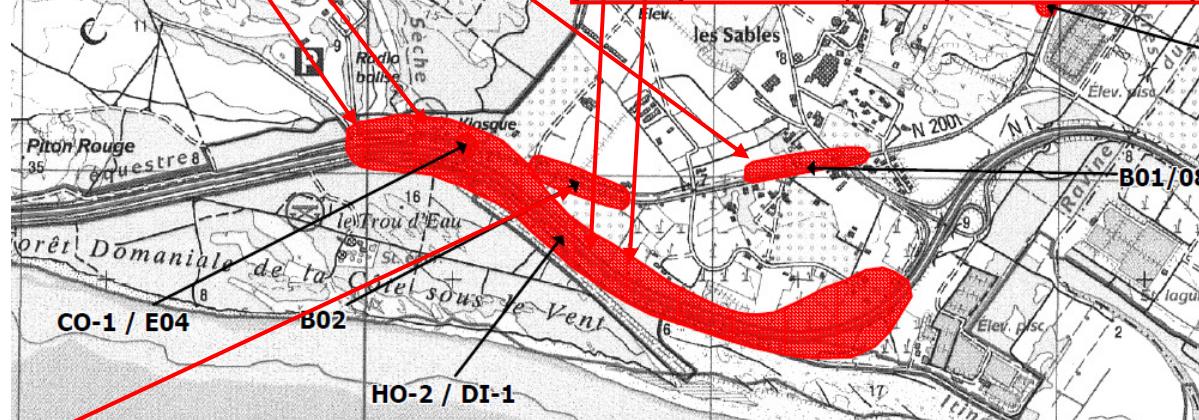
### 9.3.3. Phénomènes naturels connus dans la zone d'étude (Issu du projet de PPRI Communal)



HY-2	HYACINTHE	janv-80	Ravine Sèche	Etang-Salé les Hauts	La déviation vers l'Etang-Salé les Hauts est impraticable
E04		mars-58	Débordement de ravine	Route Nationale 1	La route est coupée.
CO-1	COLINA	janv-93	Ravine Sèche	RN1	la RN1 a été coupée au niveau du Golf.



B01	Fortes pluies	févr-93	Débordement de ravine	Les Sables	Les maisons longeant la RN1 ont été inondées.
B08	Fortes pluies	périodique	Débordement de ravine	Les Sables	Zone régulièrement inondée lors de fortes pluies.
HO-2	HOLLANDA	févr-94	Ravine Sèche	Les Sables	Grosses inondations de part et d'autre de la quai voies, y compris des quelques maisons côté montagne.
DI-1	DINA	janv-02	Ravine Sèche	Route Nationale 1	La Ravine Sèche, bloquée sous l'ancienne route nationale, a pris la direction du village des Sables zone située en amont de la RN1 est restée inondée plusieurs jours.



B02	Fortes pluies	févr-93	Débordement de ravine	Proche du Trou d'Eau	Route inondée et endommagée
-----	---------------	---------	-----------------------	----------------------	-----------------------------

## 10. NOUVELLE CARTOGRAPHIE DES ALEAS PROPOSES

La présente étude hydraulique permet d'aboutir à la nouvelle cartographie des aléas inondation sur le secteur d'étude.

En effet, sur la base des résultats des modélisations du scénario 1 (crue centennale de la Ravine Sèche et de ses affluents), la caractérisation des aléas inondations a été réalisée selon la traduction des paramètres d'écoulements (vitesses, hauteurs) et selon la grille suivante :

>1 m	Fort	Fort	Fort
0.5 < H < 1 m	Moyen	Moyen	Fort
0 < H < 0.5 m	Faible	Moyen	Fort
Hauteur	0 < V < 0.5 m/s	0.5 < V < 1 m/s	V > 1 m/s
Vitesse			

Tableau 8 : Critères de caractérisation de l'aléa inondation

La figure ci-dessous montre les résultats cartographiques bruts obtenus à partir de la modélisation hydraulique. La carte d'aléa est jointe en **Annexe 2**.

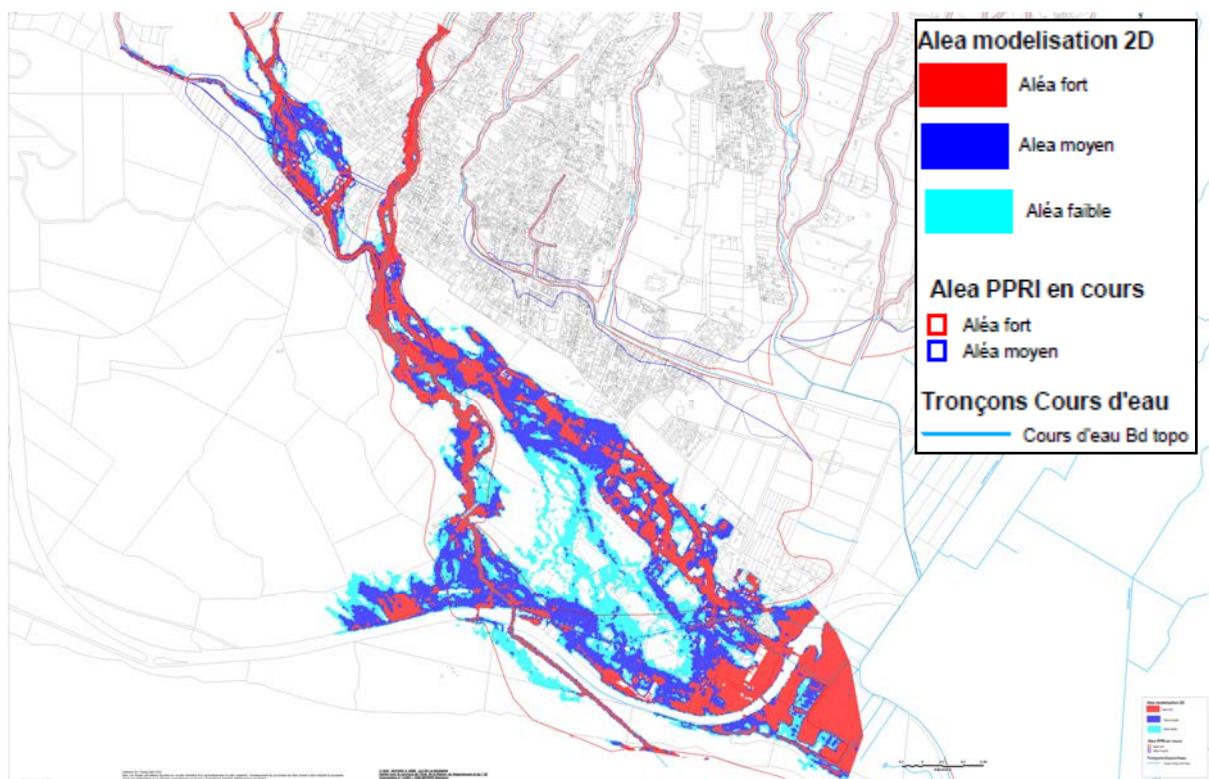


Figure 32: Cartographie des aléas inondation (croisement hauteurs - vitesses)

## CONCLUSION

La présente étude hydraulique de précision de l'aléa inondation de la Ravine Sèche et de ses affluents, sur la Commune de l'Etang Salé a été réalisée à l'aide de logiciels avancés de modélisation 2D (Infoworks RS 2D), de données topographiques récentes et recouvrant l'ensemble de la zone d'étude (Litto 3D et levés topographiques existants).

Ces outils sont essentiels à la réalisation d'une étude de qualité mais ce qui reste primordial est l'analyse de terrain qui a été effectuée sur la base de 3 journées.

Le calage du modèle sur la simulation de l'épisode cyclonique Gamède, réalisé selon les enregistrements pluviométrique de la station Pont Mathurin, donne des résultats cohérents, en rapport avec les ordres de grandeur observés durant cet évènement.

Ainsi, les résultats obtenus ont permis d'apporter une précision accrue dans la détermination des paramètres hydrauliques (hauteur et vitesse) permettant de caractériser le nouvel aléa inondation.

## GLOSSAIRE

Ces définitions sont partiellement définies dans le Code de l'Environnement dans le Livre V, Titre 1<sup>er</sup> de l'Article L.511-1 à 516-1.

**Aléa :** Il est défini comme étant l'intensité d'un phénomène naturel (ex.: inondation, crue torrentielle, lahar...) de probabilité donnée. Pour les crues, en fonction des intensités associées aux paramètres physiques de la crue de référence (généralement hauteurs d'eau, vitesses d'écoulement et éventuellement durée de submersion), des niveaux d'aléas sont distingués. En l'absence de Plan de prévention des risques inondations (PPRI) qui fixerait des éléments différents, les niveaux d'aléas seront les suivants :

Vitesse d'écoulement ( $v$ )	Hauteur d'eau ( $H$ )		
	$h < 0,5 \text{ m}$	$0,5 \text{ m} < h < 1 \text{ m}$	$1 \text{ m} < h$
$0 \text{ m/s} < V < 0,5 \text{ m/s}$	Aléa Faible	Aléa Moyen	<b>Aléa fort</b>
$0,5 \text{ m/s} < V < 1 \text{ m/s}$	Aléa moyen	Aléa Moyen	<b>Aléa fort</b>
$V > 1 \text{ m/s}$	<b>Aléa Fort</b>	<b>Aléa fort</b>	<b>Aléa fort</b>

**Amont :** En un point donné du tracé d'un cours d'eau, la partie de ce cours d'eau située du côté de la source. Contraire : aval.

**Aval :** Côté vers lequel coule un cours d'eau. Contraire : Amont.

**Bassin versant :** Espace drainé par un cours d'eau.

**Cours d'eau :** Terme très général désignant toutes les eaux courantes concentrées dans un chenal d'écoulement.

**Crue et Crue centennale :** Élévation du niveau général d'écoulement d'un cours d'eau. Ce phénomène est un fonctionnement naturel des ravines et rivières. Une crue peut être générer une inondation mais pas systématiquement.

La crue centennale est une crue ayant 1 chance sur 100 de se produire en moyenne chaque année.

**Débit :** Volume d'eau éoulé en une seconde par un cours d'eau en un point de son cours, sans cesse changeant, il s'exprime en mètre cube par seconde ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) à l'aide des hydrogrammes ou à l'aide des limnigraphes lors des crues.

**Enjeux** : Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, etc..., susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. Les enjeux s'apprécient aussi bien pour le présent que le futur.

**Hydraulique fluviale** : Science qui étudie les écoulements des eaux dans les canaux à surface libre (naturels ou artificiels).

**Hydrologie** : Science qui étudie le cycle de l'eau et l'estimation de ses différents flux.

**Inondation** : Invasion d'un territoire par les eaux, généralement due à une crue inondante. Par débordement, les eaux de la rivière envahissent le lit majeur où elles déposent, en se décantant, des alluvions généralement fines : les limons de débordements.

**Modélisation** : Construction d'un modèle dans le but de représenter un phénomène naturel au plus proche de la réalité.

**Précipitation** : Il est plus connu sous le vocable « pluie » ou « neige ». Il s'agit de l'eau tombant de l'atmosphère, sous forme liquide ou solide, à la surface de la terre ou de l'eau.

**Probabilité d'occurrence** : Au sens de [l'Article L.512-1 du Code de l'Environnement](#), la probabilité d'occurrence d'un accident est assimilée à sa fréquence d'occurrence future estimée sur l'installation considérée.

**Réseau hydrographique** : Ensemble des cours d'eau, affluents et sous- affluents qui drainent un espace plus ou moins vaste appelé bassin- versant.

**Risque** : La notion de risque correspond à la conjonction entre l'aléa et la vulnérabilité,

**Ravine** : Sont à sec la plupart du temps (régime hydrologique transitoire), arrivant parfois à faire oublier aux riverains leur simple présence. Elles peuvent cependant atteindre des débits de l'ordre de la centaine voire du millier de mètres cubes par seconde (Rivière d'Abord) en crue centennale...

**Ruissellement** : Ecoulement rapide des eaux de pluie ou de fusion nivale à la surface des versants, alimentant dans les talwegs le ruissellement concentré.

**Servitude réglementaire** : Mesures d'interdiction, de limitation ou de prescription relatives aux constructions et ouvrages, définies dans certaines zones par un arrêté réglementaire.

## ANNEXES

- Annexe 1 : Fiches signalétiques des ouvrages
- Annexe 2 : Cartographie de l'aléa inondation – Q100 / Cordon dunaire état actuel / Mer à 2m NGR / Etang du Gol à 4,5m NGR (configuration haute avant rupture)
- Annexe 3 : Carte des hauteurs d'eau – Simulation des écoulements de Gamède (du 26 au 28 février 2007)

---

## 11. ANNEXE 1 : FICHES OUVRAGES

---

## **12. ANNEXE 2 : CARTOGRAPHIE DE L'ALEA INONDATION – Q100**

### **13. ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIE DES HAUTEURS D'EAU – RECONSTITUTION DU CYCLONE GAMEDE**