

RAPPORTS

Service Risques Energie
Déchets

Pôle Risques Naturels

Unité Inondation

Avril 2015

CARTOGRAPHIE DU TERRITOIRE A RISQUE D'INONDATION (TRI)

Centre Guadeloupe

LES ABYMES - BAIE-MAHAULT - LE GOSIER - MORNE-A-L'EAU -

LE MOULE - POINTE-A-PITRE - SAINTE-ANNE

III – COMPLEMENTS METHODOLOGIQUES

Mise en œuvre de la Directive Inondation en Guadeloupe - Phase 2



Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
GUADELOUPE

Pilotage de la rédaction du document

Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement de la Guadeloupe

Services et partenaires contributeurs

Université des Antilles et de la Guyane / Laboratoire de Recherche en Géosciences

Météo France / Direction Interrégionale Antilles Guyane

CEREMA Direction Territoriale Méditerranée

CEREMA Direction Territoriale Normandie – Centre

CEREMA Direction Technique Eau, Mer et Fleuves

Direction de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement de la Guadeloupe

SOMMAIRE

ARRETE PREFECTORAL N°2008-2005 AD/1/4 RELATIF A L'IDENTIFICATION ET A LA GESTION DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL DE L'ETAT EN GUADELOUPE.....	4
NOTE SUR L'OUTIL DE MODELISATION CARTINO.....	15
NOTE SUR L'HYDROLOGIE.....	18
FICHE DE SYNTHESE DES METADONNEES : MNT LITTO3D®.....	41
NOTE DE SYNTHESE SUR LES DONNEES DE DUREE DE RETOUR DES SURCOTES CYCLONIQUES ISSUES DES ETUDES DE METEOFRANCE.....	45
NOTE TECHNIQUE SUR LE PROJET TSUNAHOULE : EVALUATION DES PERIODES DE RETOUR DES SURCOTES CYCLONIQUES DANS LES ANTILLES FRANCAISES.....	50
NOTE SUR LE CALCUL DE LA POPULATION PERMANANTE EN ZONE INONDABLE.....	77
NOTE SUR LE CALCUL DES EMPLOIS EN ZONE INONDABLE.....	80

**ARRETE PREFECTORAL N°2008-2005 AD/1/4
RELATIF A L'IDENTIFICATION ET A LA GESTION
DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL DE L'ETAT EN GUADELOUPE**



PREFECTURE DE LA REGION GUADELOUPE

SECRETARIAT GENERAL
Direction de l'Administration Générale
et de la Réglementation
Bureau de l'urbanisme,
de l'Environnement et du Cadre de Vie

N°2008-2005 AD/1/4

ARRETE PREFECTORAL RELATIF A L'IDENTIFICATION ET A LA GESTION DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL DE L'ETAT EN GUADELOUPE

**LE PREFET DE GUADELOUPE
CHEVALIER DE LA LEGION D'HONNEUR**

- VU le code général de la propriété des personnes publiques ;
- VU le code de l'environnement ;
- VU le décret n°73-428 du 27 mars 1973 relatif à la gestion des cours d'eau et à la police des eaux superficielles dans les départements d'outre-mer, modifié par le décret n° 79-460 du 11 juin 1979 portant transfert d'attributions du ministre des transports au ministre de l'environnement, puis par le décret n° 90-112 du 1^{er} février 1990 portant transfert au premier ministre des attributions exercées par le ministre de l'agriculture et de la forêt en matière de gestion des cours d'eau et de police des eaux superficielles dans les départements d'outre-mer ;
- VU la circulaire n°DE/SDAGF/BDE n°3 du 2 mars 2005 du ministère de l'écologie et du développement durable relative à la définition de la notion de cours d'eau ;
- VU le travail inter-service réalisé dans le cadre du comité permanent de la MISE par l'ensemble des services de l'Etat concernés ;
- VU le courrier de saisine des collectivités territoriales compétentes et des établissements publics concernés du 8 juin 2008 ;
- VU l'avis favorable du président du Conseil Général de Guadeloupe du 9 juillet 2008 ;
- VU l'avis réputé favorable du président du Conseil Régional de Guadeloupe ;
- VU l'avis réputé favorable du directeur du parc national de Guadeloupe du 14 novembre 2008 ;
- VU l'avis favorable du directeur régional de l'office national des forêts du 18 novembre 2008 ;
- VU l'avis favorable sous réserves de la directrice de l'Office de l'Eau de Guadeloupe du 19 novembre 2008 ;
- VU l'avis favorable du service France Domaine de la Trésorerie Générale de la Guadeloupe du 24 novembre 2008 ;

VU la note de cadrage préfectoral n°2008-2006 AD/1/4 du 18 décembre 2008 ;

VU la présentation au Conseil Départemental de l'Environnement et des Risques Sanitaires et Technologiques (CODERST) dans sa séance du 28 octobre 2008 ;

CONSIDERANT qu'il convient de dresser une liste des cours d'eau au sens de la circulaire du 2 mars 2005 susvisés pour l'application de la police de l'eau, la gestion du domaine public fluvial et le contrôle de l'éco-conditionnalité des aides agricoles ;

SUR proposition du Secrétaire Général de la Préfecture de GUADELOUPE,

ARRETE

ARTICLE 1^{er} : OBJET

Le présent arrêté a pour objet :

- de définir la consistance du domaine public fluvial de l'Etat ;
- de dresser la liste des canaux, rivières, bras et ravines faisant partie du domaine public fluvial de l'Etat ;
- de dresser la liste des étangs et lacs, alimentés par des cours d'eau ou non, et, le cas échéant, des plans d'eau classés dans le domaine public fluvial de l'Etat ;

ARTICLE 2 : LISTE DES COURS D'EAU ET CANAUX DE LA GUADELOUPE FAISANT PARTIE DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL DE L'ETAT

Les canaux classés dans le domaine public fluvial de l'Etat ainsi que rivières, bras et ravines domaniaux, présentant des caractéristiques conformes aux critères juridiques permettant de définir un cours d'eau, sont répertoriés sur la liste jointe en annexe I au présent arrêté.

Sont exclus les canaux non classés et les ravines ne recevant que des eaux pluviales de façon intermittente.

ARTICLE 3 : LISTE DES LACS ET PLANS D'EAU DE LA GUADELOUPE FAISANT PARTIE DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL DE L'ETAT

Les plans d'eau classés dans le domaine public fluvial de l'Etat et les lacs domaniaux alimentés non seulement par des eaux pluviales et de ruissellement mais aussi par des cours d'eau, des sources ou des émergences d'eau souterraine, sont répertoriés sur la liste jointe en annexe II au présent arrêté.

Sont exclus les plans d'eau non classés et les éléments uniquement formés par des eaux pluviales et de ruissellement telles que les mares.

Les lagunes, salines, marigots, marais ou mangrove en bordure du littoral font partie du domaine public maritime dans la limite des conditions définies aux articles L2111-4 et L2111-5 du code général de la propriété des personnes publiques et du décret d'application s'y rapportant.

ARTICLE 4 : CONSISTANCE DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL DE L'ETAT A LA GUADELOUPE

Conformément à l'article L2111-10 du même code, les canaux listés en annexe I sont classés dans le domaine public fluvial artificiel de l'Etat.

Conformément à l'article L5121-1 du code général des propriétés des personnes publiques susvisé les cours d'eau et les lacs naturels, mentionnés respectivement aux annexes I et II, font partie du domaine public fluvial naturel de l'Etat.

Le domaine public fluvial naturel est constitué par le lit mineur du cours d'eau, délimité par la hauteur des eaux coulant à pleins bords avant de déborder, de sa source jusqu'à son embouchure en incluant ses bras éventuels. La limite aval du domaine public fluvial naturel est fixée dans la continuité de la limite intérieure des 50 pas géométriques.

ARTICLE 5 : GESTION DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL DE L'ETAT A LA GUADELOUPE

La conservation générale du domaine public fluvial consiste à :

- surveiller ce domaine, dans le but de préserver son intégrité matérielle et l'usage hydraulique auquel celui-ci est affecté, via, notamment, une action de police ferme, référée en priorité au code de l'environnement, à la police de l'eau mais aussi à la police de conservation du domaine public ;
- entretenir, si nécessaire, conformément aux articles L215-14 et L214-15 et dans les limites définies par l'article R.215-2 du code de l'environnement, pour accompagner l'évolution naturelle du cours d'eau et maintenir sa capacité naturelle d'écoulement hors crue ;
- maintenir libre de tout obstacle érigé par les riverains l'emprise foncière frappée par la servitude de marchepied de 3,25 mètres destinée au libre passage des usagers du cours d'eau et du services gestionnaire conformément à l'article L.2131-2 du code général de la propriété des personnes publique ;
- instruire les demandes d'autorisation d'occupation temporaire du domaine et veiller à la bonne application, par les occupants, des règles et obligations auxquels ils sont assujettis.

ARTICLE 6 – TRANSFERT DE GESTION

Au cas par cas et conformément aux dispositions édictées aux articles L2123-1 et suivants du code général de la propriété des personnes publiques, la gestion de tout ou partie d'un cours d'eau, d'un canal, d'un lac ou étang domanial pourra être confiée, par convention, à toute personne physique, association ou collectivité, présentant les garanties adéquates, qui en aura fait la demande.

ARTICLE 7 – TRANSFERT DE PROPRIETE

Au cas par cas et conformément aux dispositions édictées aux articles L3113-1 et suivants du code général de la propriété des personnes publiques, la propriété d'un cours d'eau, d'un canal, d'un lac ou étang domanial pourra être transférée, par convention, aux collectivités territoriales ou à leurs groupements après demande officielle de l'assemblée délibérante.

La collectivité territoriale ou le groupement de collectivités territoriales bénéficiaire du transfert succède dans l'ensemble des droits et obligations à l'égard des tiers à la personne publique gestionnaire de ce domaine avant la date du transfert.

ARTICLE 8 – DROIT DES TIERS

Les droits des tiers sont et demeurent expressément réservés.

ARTICLE 9 – CLAUSE DE REVISION

Le présent arrêté demeure révisable. Tout projet de modification devra être présenté par la commission départemental d'environnement et des risques sanitaires et technologiques.

ARTICLE 10 – PUBLICATION

Le présent arrêté sera à disposition du public sur le site Internet de la préfecture de la GUADELOUPE pendant une durée d'au moins 1 an. En outre le présent arrêté sera publié au Recueil des Actes Administratifs des services de l'Etat dans le département de GUADELOUPE.

ARTICLE 11 - RECOURS

Le présent arrêté est susceptible de recours devant le tribunal administratif de BASSE-TERRE à compter de sa publication au recueil des actes administratifs par les tiers dans un délai de 2 mois suivant sa publication au recueil des actes administratifs.

ARTICLE 12 - EXECUTION

Le secrétaire général de la préfecture, le directeur régional de l'environnement, le directeur de l'agriculture et de la forêt, le directeur départemental de l'équipement sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté.

Ampliation du présent arrêté accompagnée de la note de cadrage n° 2008-2006 AD/1/4 du 18 décembre 2008 sera aussi envoyée à l'ensemble des maires des communes de la Guadeloupe, au Conseil Régional, au Conseil Général, à l'office de l'eau, à France Domaine, à l'office national de la forêt, à l'office national de la chasse et de faune sauvage et au parc national de Guadeloupe,.

Fait à Basse-Terre, le 18 DEC. 2008

LE PREFET

Pour le Préfet, le Secrétaire Général
de la Préfecture,

Hubert VERNET

Pour Ampliation
le chef du bureau de l'Urbanisme de
l'Environnement et du Cadre de Vie

L'Adjoint au Chef de Bureau



Daniel LAROCHE

**ANNEXE I DRESSANT LA LISTE DES COURS D'EAU ET CANAUX
FAISANT PARTIE DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL DE L'ETAT**

Sont considérés comme cours d'eau domaniaux conformément à l'article 2 du présent arrêté, les cours d'eau et les ravines suivantes :

BASSE-TERRE

Toute ou partie de ravine et rivière figurant en trait plein sur les cartes à l'échelle du 1 / 25 000^{ème} de l'Institut Géographique National (IGN) référencées 4602GT et 4605GT (IGN, © 2002).

Sont exclus tous les canaux ainsi que les ravines sèches ne recevant que des eaux pluviales de façon intermittente. Ceux-ci appartiennent invariablement au domaine privé de l'Etat ou à quiconque ayant acquis le droit foncier tel que précisé sur les relevés cadastraux.

GRANDE-TERRE

	Limites	Communes concernée(s)
Canal de Belle-Plaine	<i>de la maison de la mangrove à son embouchure</i>	<i>Les Abymes</i>
Canal de Perrin	<i>de la section Les Palétuviers à son embouchure</i>	<i>Les Abymes / Morne à l'eau</i>
Canal Decostière	<i>du pont de la RD107 à son embouchure</i>	<i>Morne à l'eau</i>
Canal des Rotours	<i>du pont amont du centre ville à son embouchure</i>	<i>Morne à l'eau / Petit-Canal</i>

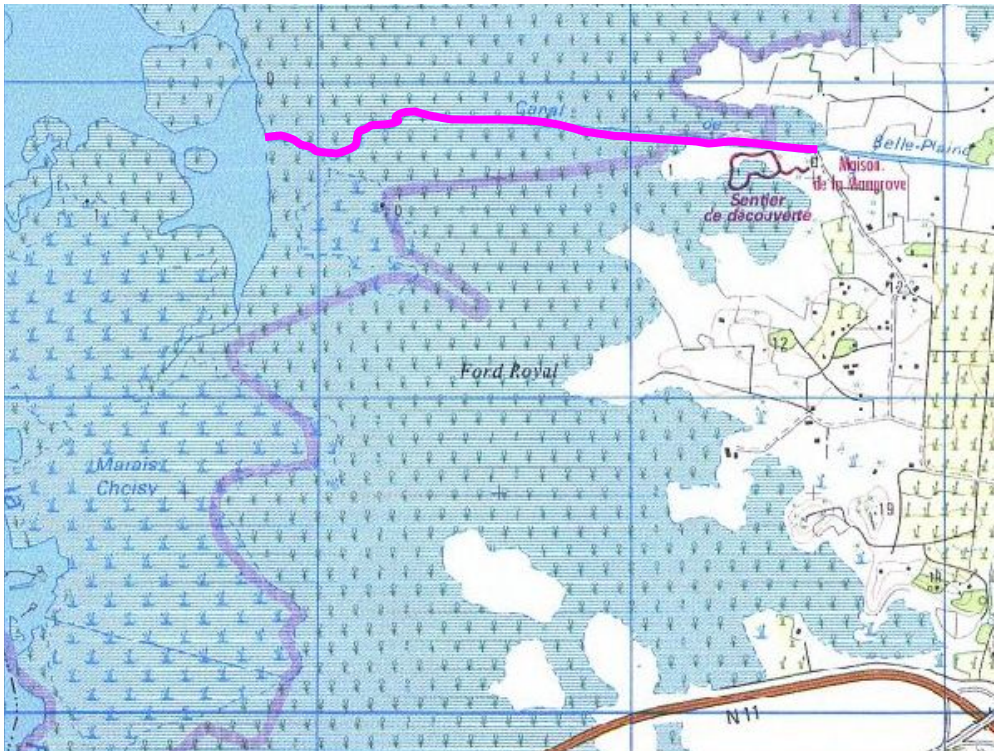
Ravine Gachet	<i>de l'aval du barrage de Gachet à son embouchure</i>	<i>Petit-Canal / Port-Louis</i>
Rivière Audoin	<i>de l'aval du barrage de Letaye à son embouchure</i>	<i>Le Moule</i>
Ravine Gardel		

Sont exclus les canaux non cités et les ravines sèches ne recevant que des eaux pluviales de façon intermittente. Ceux-ci appartiennent invariablement au domaine privé de l'Etat ou à quiconque ayant acquis le droit foncier tel que précisé sur les relevés cadastraux.

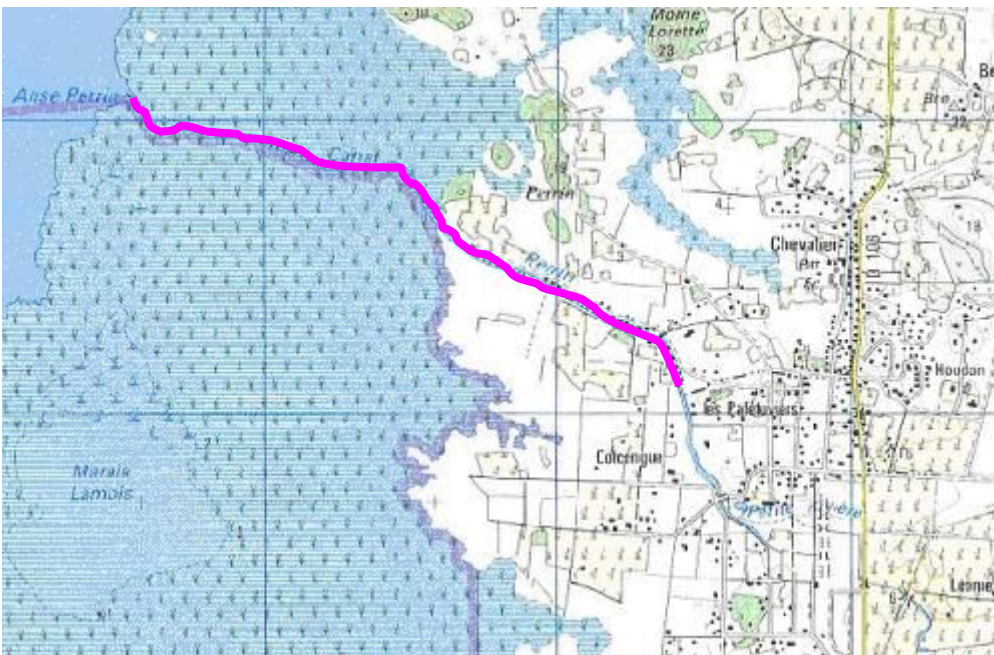
MARIE-GALANTE

Rivière Saint-Louis à Marie-Galante
Rivière du Vieux Fort à Marie-Galante

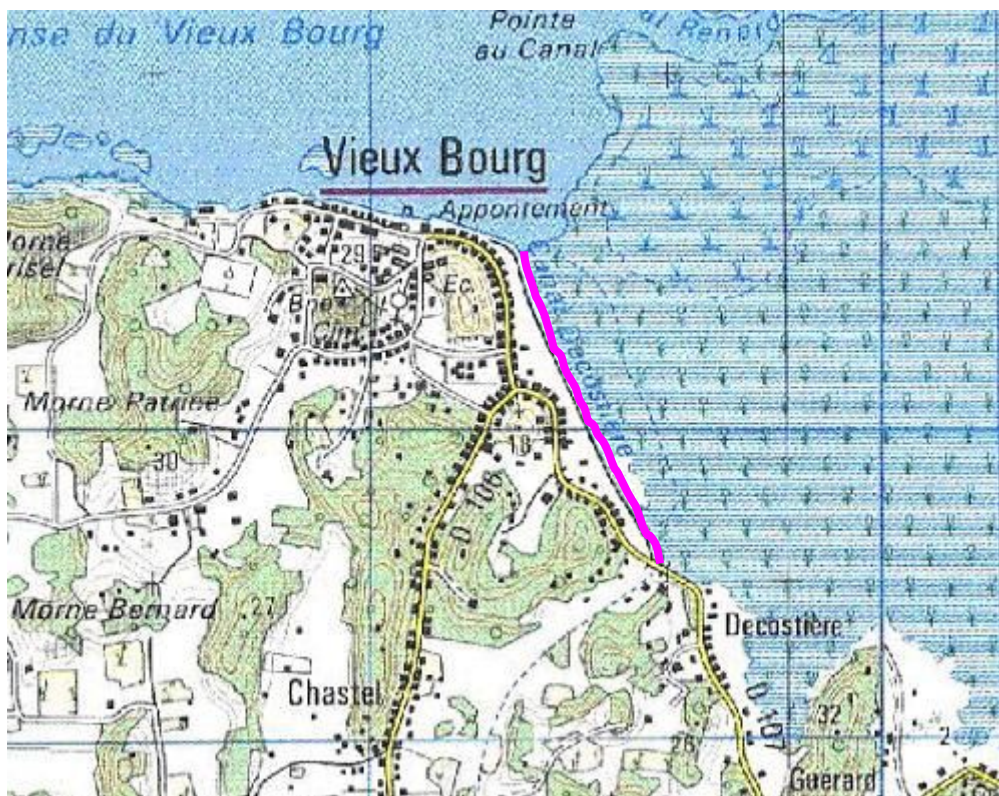
Sont exclus les canaux non cités et les ravines sèches ne recevant que des eaux pluviales de façon intermittente. Ceux-ci appartiennent invariablement au domaine privé de l'Etat ou à quiconque ayant acquis le droit foncier tel que précisé sur les relevés cadastraux.



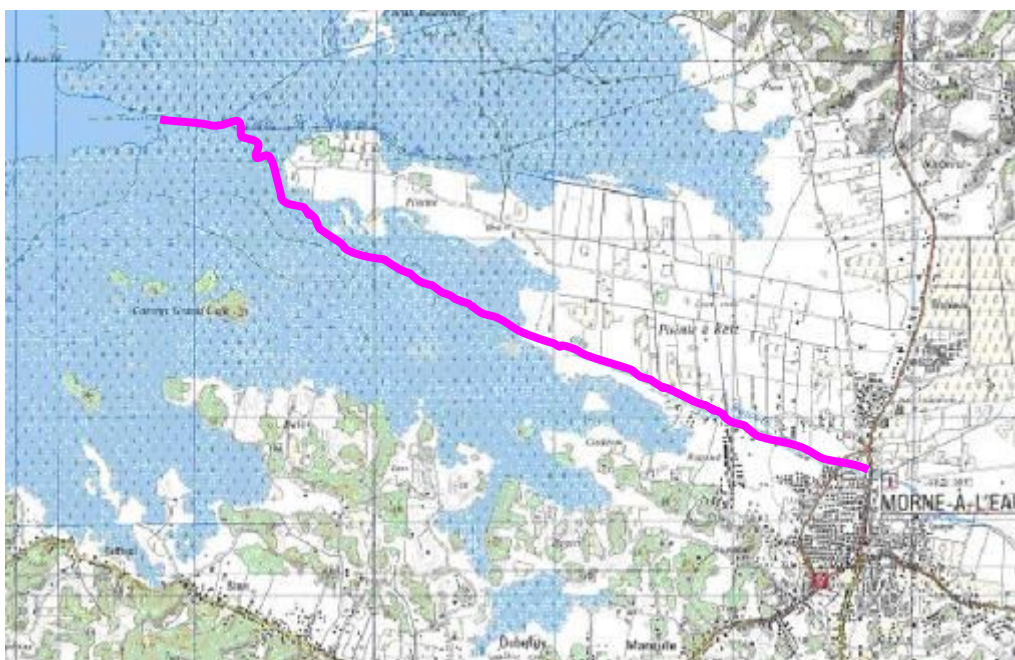
Canal de Belle-Plaine



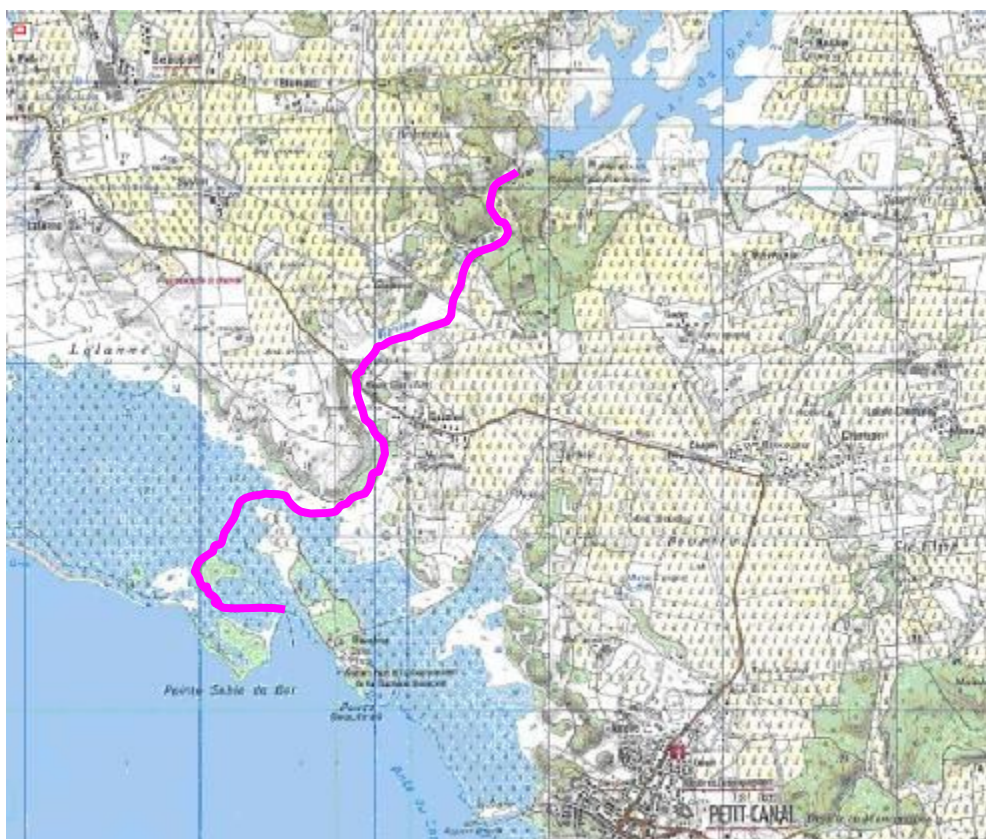
Canal de Perrin



Canal Decostière



Canal des Rotours



Ravine Gaschet ou Gachet



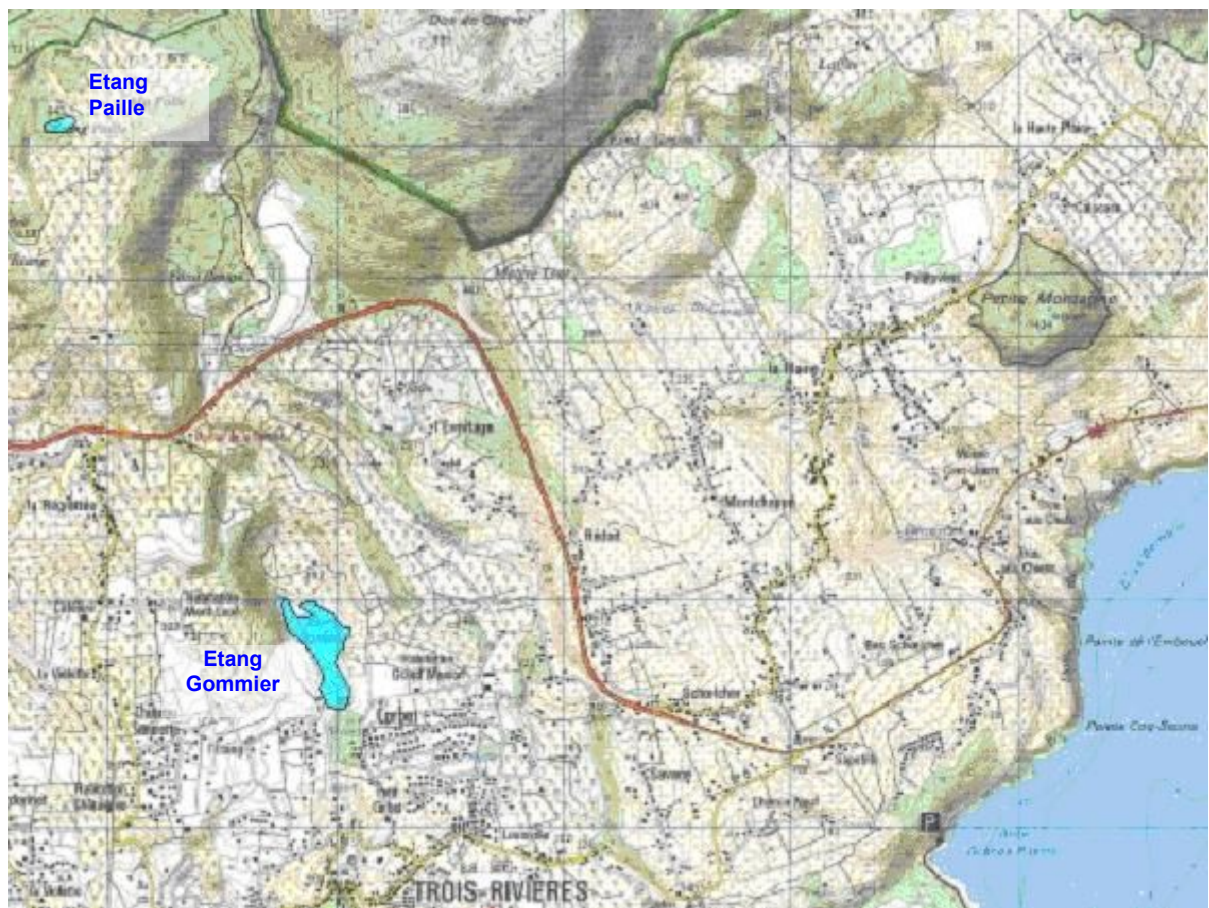
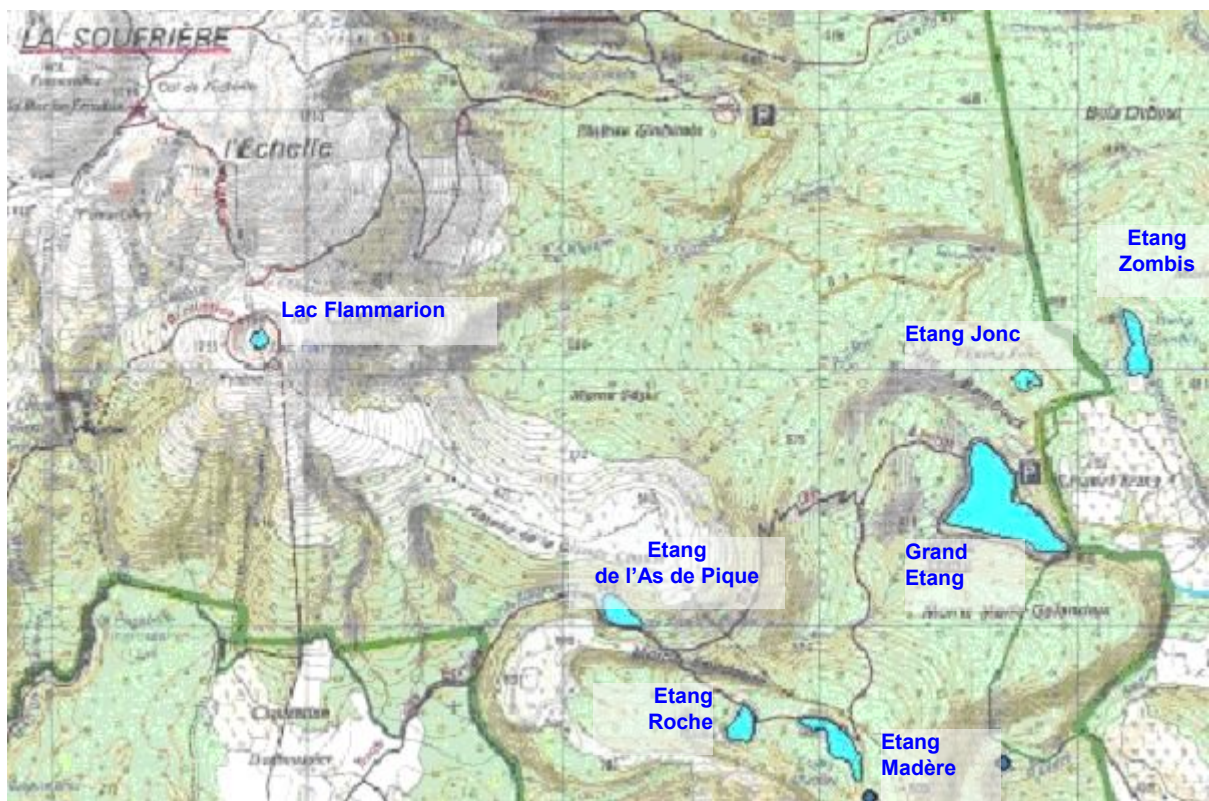
Ravine Gardel et Rivière Audoin

**ANNEXE II DRESSANT LA LISTE DES LACS ET PLANS D'EAU
FAISANT PARTIE DU DOMAINE PUBLIC FLUVIAL DE L'ETAT**

Sont considérés comme lacs domaniaux conformément à l'article 3 du présent arrêté, les étangs suivants :

- Grand Etang
- Etang Zombis
- Etang Jonc
- Etang de l'As de Pique
- Etang Madère
- Etang Roche
- Etang Gommier
- Etang Paille
- Lac Flamarion

Sont exclus les plans d'eau non classés ainsi que les éléments formés uniquement par des eaux pluviales météoriques et de ruissellement telles que les mares. Ceux-ci appartiennent invariablement au domaine public ou privé de l'Etat ou à quiconque ayant acquis le droit foncier tel que précisé sur les relevés cadastraux.



NOTE SUR L'OUTIL DE MODELISATION CARTINO

CONTEXTE

L'approche inédite de la Directive inondation (DI) et des nouvelles orientations de la politique française en matière de réduction des conséquences négatives potentielles des inondations a conduit le ministère chargé de la prévention des risques à se rapprocher du domaine de la recherche et développement et en particulier des organismes qui développent des méthodes abouties et intégrées de détermination cartographique de l'aléa inondation. Dans le cadre de leurs activités de recherche et développement, le Centre d'études techniques de l'équipement (CETE) Méditerranée et le Centre d'études techniques maritimes et fluviales (CETMEF) ont mis en œuvre la méthode CARTINO afin d'établir rapidement des cartographies des inondations.

Dans le cadre de la cartographie des territoires à risque d'inondation (TRI) cet outil propose aux services une méthode pour caractériser les surfaces inondables là où aucune étude ne pouvait être exploitée.

LA METHODE CARTINO

CARTINO (CARTographie des INondations) est un processus qui a pour objectif de réaliser des modélisations semi-automatiques mono-dimensionnelles. CARTINO PC est disponible sur son site internet du CETE Méditerranée et sur www.wikhydro.org. CARTINO PC utilise des approches "automatisées" d'hydrologie telle que SHYREG [Arnaud, 2013] développée par IRSTEA et de topographie avec EXZECO développée par le CETE Méditerranée et le CETMEF [Pons, 2010] (<http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/i-exzeco-r122.html>). Le résultat est la réalisation de modèles hydrauliques "semi-automatiques" s'appuyant actuellement sur les logiciels d'hydraulique "Flutor" (Patrick Chassé) et "Mascaret" (EDF-CETMEF).

Les données nécessaires sont de trois types:

- des Modèles Numériques de Terrain (M.N.T.) sous forme de données Raster (grille) provenant principalement de lidar au pas 1 mètre ou de MNT au pas de 5 mètres ;
- des débits sous forme de données Raster, SHYREG 10, 30, 100, 300 et 1000 ans ou des approches en débit pseudo-spécifique $Q/S^{0.8}$;
- des premières ou pseudo-emprises de zones inondables provenant en particulier d'EXZECO.

Les résultats de l'approche automatique se présentent sous la forme de Rasters et/ou de couches vecteurs de charges d'eau issues d'un modèle mono-dimensionnel en régime permanent permettant le passage torrentiel-fluvial et utilisant un frottement unique pour l'ensemble de la vallée.

LES PRINCIPES

Le calcul se fait dans premier temps sur chaque bief isolement :

- création de profils en travers de façon automatique avec une largeur d'emprise correspondant à la surface drainée et un pas entre profils lié à cette largeur (par exemple 1 profil tous les 1/3 de largeur) ;
- calcul hydraulique (permanent, itératif) est mené avec les codes de calcul Flutor, afin d'agrandir les profils en travers jusqu'à ce que leur largeur soit suffisante pour décrire la vallée mouillée (sans "saut" de charge aux extrémités des profils) ;
- création des profils en travers sur le bief, de largeur et de distance entre profils issus de l'emprise

des résultats Flutor, en évitant les croisements ;

- le même calcul itératif est ensuite mené sur ces nouveaux profils, en utilisant les codes Flutor et Mascaret en parallèle.

Enfin les résultats du calcul sont post-traités sur chaque bief et assemblés sur tous les biefs. Les résultats ainsi obtenus sont représentés en classes de hauteurs de charge calculées à partir de la hauteur d'eau et de la vitesse moyenne sur le profil par la formule $H=h+V^2/2g$. A titre d'illustration, pour des vitesses de 1m/s et de 3m/s, l'écart entre h et H est respectivement d'environ 5cm ou de 50cm. Cette représentation des résultats permet de sécuriser l'approche dans les zones à fortes vitesses en particulier les crues rapides sur des pentes fortes.

Un module de reprise de calcul est utilisé pour préciser les résultats obtenus (modification de profils en travers pour pouvoir les adapter à des structures hydrauliques importantes, gestion des frottements, etc).

La mise au format COVADIS est ensuite effectuée en utilisant une vectorisation des résultats de charges en eau considérées comme des hauteurs d'eau (classes 0-0.5m, 0.5-1m, 1 à 2m et supérieur à 2m), un nettoyage par défaut des petites aires jusqu'à 100m² et une suppression des formes de créneaux pour simplifier la géométrie pour un rendu au 1/25 000.

LIMITES D'UTILISATION ET PRECAUTIONS A PRENDRE

CARTINO PC se base sur des modélisations classiques mono-dimensionnelles. Il a donc les mêmes limites que les modèles mono-dimensionnels à savoir qu'il n'est pas forcément adapté aux cas comme les plaines en toit, les lits perches, les rivières avec plusieurs chenaux (...) et considère que le niveau d'eau est moyenne sur la section de calcul. Excepté quelques cas après reprises, il n'y a pas de distinction entre lit mineur et lit majeur.

Le calcul s'effectue en mode permanent, mode majorant en particulier dans les cas avec des grandes zones d'expansion de crues.

Les hypothèses de prises en compte des ouvrages de protection longitudinaux ne peuvent être gérées qu'au cas par cas. Les ouvrages de type digues sont considérés comme transparents. Ils apparaissent ensuite comme des zones hors d'eau dans les images finales de par une topographie plus élevée.

Une hypothèse forte de la plupart des modélisations opérationnelles, et donc de CARTINO PC, est de considérer la bathymétrie et la topographie constante et sans aucun effet d'embâcles. Les cartographies produites ne prennent donc pas en compte le transport solide, les phénomènes d'érosion de berges ou de glissements de terrain qui peuvent ne pas être cartographiés dans l'emprise de la zone inondable.

Les données topographiques utilisées sont une donnée essentielle du résultat. Sur les petits cours d'eau ou les cours d'eau en eau, les topographies issues de survol aérien ne prennent pas, ou peu, en compte le lit mineur. Les erreurs peuvent être importantes lorsque la capacité du lit mineur est conséquente par rapport au débit total (surestimation des hauteurs d'inondations). Les ouvrages de franchissement (ponts, remblais transversaux, ...) qui peuvent générer des pertes de charges hydrauliques ne sont pas pris en compte systématiquement ou tout du moins de manière fine.

Des lors, l'exploitation des données obtenues à partir de cet outil a fait l'objet d'une analyse hydraulique complémentaire. L'exploitation des études hydrauliques, hydrologiques et topographiques connues a permis d'évaluer les biais éventuels pour en corriger les paramètres (modification des profils en travers, coefficients de frottement, ...). Plus particulièrement, les PPR ont été considérés comme source d'étalonnage du modèle, de même que l'Atlas des zones inondables quand il existe.

REFERENCES

- Arnaud P., Eglin Y., Janet B., Payrastre O. (2013) Bases de données SHYREG-DEBIT : Méthode – Performances – Limites
- Pons F., Guero P., Kerloc'h B., Delgado J-L., Berthier E. Piney S., Felts D. (2010). Une contribution à

l'évaluation de l'aléa inondation par ruissellement et crues soudaines, SIMHYDRO 2010 conference, Sophia-Antipolis, Nice, 2-4 juin 2010

Pons F., Laroche C., Fourmigue P., Alquier (accepté). Cartographie des surfaces inondables extrêmes pour la directive inondation: Cas de la Nartuby, Congrès SHF Évènements extrêmes d'inondation 2013, Paris, 13-14 novembre 2013

NOTE SUR L'HYDROLOGIE

DEAL Guadeloupe

Directive inondation

**TRI Centre Guadeloupe et
TRI Basse Terre - Baillif**

Note relative à l'hydrologie

Avril 2014



Rapport

Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
A	24/01/2014	Version provisoire
B	07/04/2014	Version définitive

Affaire suivie par

Arnaud BONTEMPS - Direction territoriale Normandie-Centre / Site de Blois / Groupe Environnement et Risques / Unité Risques Hydrauliques
Tél. 02.54.55.49.44 / fax 02.54.55.48.71
Courriel : arnaud.bontemps@cerema.fr

Rédacteur	Relecteur	Validé par
Arnaud BONTEMPS Chef de l'unité Risques 	Pauline PREL Chef de l'unité Courantologie et morphologie 	Edouard DURAND Chef du groupe

Destinataires

DEAL Guadeloupe – Aude COMTE	1 ex
GER / Risques hydrauliques	1 ex
Secrétariat	1 ex
Centre de Gestion 2014/	

Sommaire

I. Contexte.....	4
II. TRI Basse Terre.....	5
II.1. Calcul du débit décennal Q10.....	5
II.2. Calcul du débit centennal Q100.....	7
II.3. Calcul du débit millénaire Q1000.....	8
II.3.1. Extrapolation par une loi de Fréchet.....	8
II.3.2. La méthode du Gradex.....	9
III. TRI Centre.....	14
III.1. Calcul du débit décennal Q10.....	14
III.2. Calcul du débit centennal Q100.....	15
III.3. Calcul du débit millénaire Q1000.....	16
III.3.1. La méthode du Gradex.....	16
III.3.2. Extrapolation par une loi de Fréchet.....	18
IV. Synthèse.....	20
V. Bibliographie.....	21
Annexe : Cumuls pluviométriques sur 1h pour différentes périodes de retour à St Claude Parnasse.....	22

Index des illustrations

Illustration 1: TRI Basse Terre - répartition des débits décennaux SHYREG en fonction de la surface des bassins versant.....	5
Illustration 2: bassins versant du TRI Basse Terre.....	6
Illustration 3: isohyètes interannuelles de la Guadeloupe calculées sur la période 1965 - 1985 (source : IRD).....	7
Illustration 4: répartition des débits centennaux SHYREG en fonction de la surface des bassins versant.....	8
Illustration 5: débits de crues SHYREG exprimés en fonction de leur fréquence au non dépassement F (transformée en variable réduite de Gumbel).....	9
Illustration 6: principe de la méthode du Gradex (source : « Retour d'expérience sur le Gradex », R. Garçon, 2001).....	10
Illustration 7: TRI Basse Terre - répartition des débits millénaires SHYREG en fonction de la surface des bassins versants.....	12
Illustration 8: TRI Centre - répartition des débits décennaux SHYREG en fonction de la surface des bassins versants.....	14
Illustration 9: points "SHYREG" exploités pour l'estimation des quantiles de débit sur le TRI Centre.....	15
Illustration 10: TRI Centre - répartition des débits centennaux SHYREG en fonction de la surface des bassins versants.....	16
Illustration 11: TRI Centre - répartition des débits millénaires SHYREG en fonction de la surface des bassins versants.....	19

Index des tableaux

Tableau 1: coefficient de forme calculé à partir des débits décennaux sur 5 bassins du secteur d'étude.....	11
Tableau 2: TRI de Basse Terre - débits de pointe millénaires évalués par deux méthodes d'extrapolation.....	12
Tableau 3: temps de concentration des 9 sous bassins versant.....	17
Tableau 4: coefficient de forme évalués sur les 9 points "SHYREG" du TRI Centre.....	17
Tableau 5: Gradex sur 6h, 12h et 24h au Raizet.....	17
Tableau 6: TRI Centre - débits de pointe millénaires évalués par deux méthodes d'extrapolation.....	18
Tableau 7: synthèse des résultats.....	20

I. Contexte

La présente note présente la démarche mise en œuvre pour déterminer les débits de crue injectés dans le modèle hydraulique CARTINO. Ce dernier est utilisé pour cartographier les zones inondées sur les deux Territoires à Risque important d'Inondation (TRI) ; il est construit sur la base de profils en travers décrivant la topographie du lit majeur. Un débit dépendant de la surface du bassin versant amont doit être injecté à chaque profil du modèle. Une formulation des débits sous la forme $Q = aS^b$ a été donc été recherchée. Les chapitres suivants décrivent la méthodologie mise en œuvre pour estimer les paramètres régionaux a et b .

Trois scénarios de crue doivent être cartographiés :

- un scénario de probabilité fort, correspondant à une période de retour comprise entre 10 et 30 ans ;
- un scénario de probabilité moyenne, correspondant à une période de retour comprise entre 100 et 300 ans ;
- un scénario de probabilité rare, correspondant à une occurrence supérieure à 1000 ans.

Sur chaque TRI, des formules permettant de calculer les débits décennaux (Q_{10}), centennaux (Q_{100}) et millénaux (Q_{1000}) ont été déterminés.

Pour les débits décennaux et centennaux, les résultats s'appuient essentiellement sur la base de données SHYREG de l'IRSTEA. Actuellement, cette base contient les quantiles de crues de période retour 2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans sur les débits instantanés et sur les débits moyens de durée comprise entre 1 h et 72 h. Ces données sont disponibles en des points caractéristiques (exutoires, confluences) de la plupart des cours d'eau de l'île.

Les débits millénaux ont été déterminés en appliquant la méthode du Gradex pour le TRI Centre Guadeloupe et par extrapolation d'une loi statistique de Fréchet pour le TRI de Basse Terre – Baillif.

II. TRI Basse Terre – Baillif

La méthode a été appliquée sur les cours d'eau suivants :

- la rivière aux Herbes et son affluent la ravine du Lion ;
- la rivière du Plessis ;
- la rivière Baillif ;
- le Galion ;
- la rivière des Pères et ses affluents la rivière St Louis, la rivière Rouge et la rivière Noire.

Des données SHYREG sont disponibles en 18 points répartis sur ce réseau hydrographique.

II.1. Calcul du débit décennal Q_{10}

Le graphique de l'illustration n°1 présente la répartition des débits décennaux instantanés, issus de SHYREG, en fonction de la surface du bassin versant.

Une partie des points (en rose sur le graphique) peut-être ajustée par une courbe d'équation $Q = 17S^{0,8}$. Les autres points (en bleu) suivent une courbe d'équation $Q = 24S^{0,8}$. Ces écarts entre les débits spécifiques peuvent s'expliquer par la position des bassins versants. En effet, les Q_{10} affichés en bleus proviennent de la rivière des Pères et de la rivière du Galion. Ces deux bassins s'étendent jusqu'au pied de la Soufrière, secteur de l'île enregistrant les plus forts cumuls pluviométriques annuels (cf. illustrations n°2 et 3). Les autres bassins versants ont des « centres de gravité » de plus faible altitude. Ils sont donc soumis à des cumuls de précipitations moins élevés.

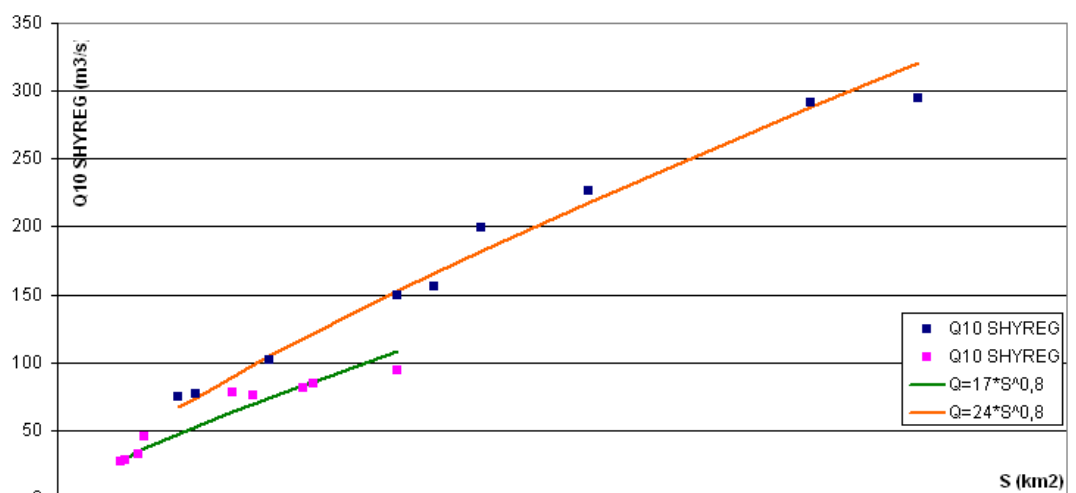


Illustration 1: TRI Basse Terre - répartition des débits décennaux SHYREG en fonction de la surface des bassins versant

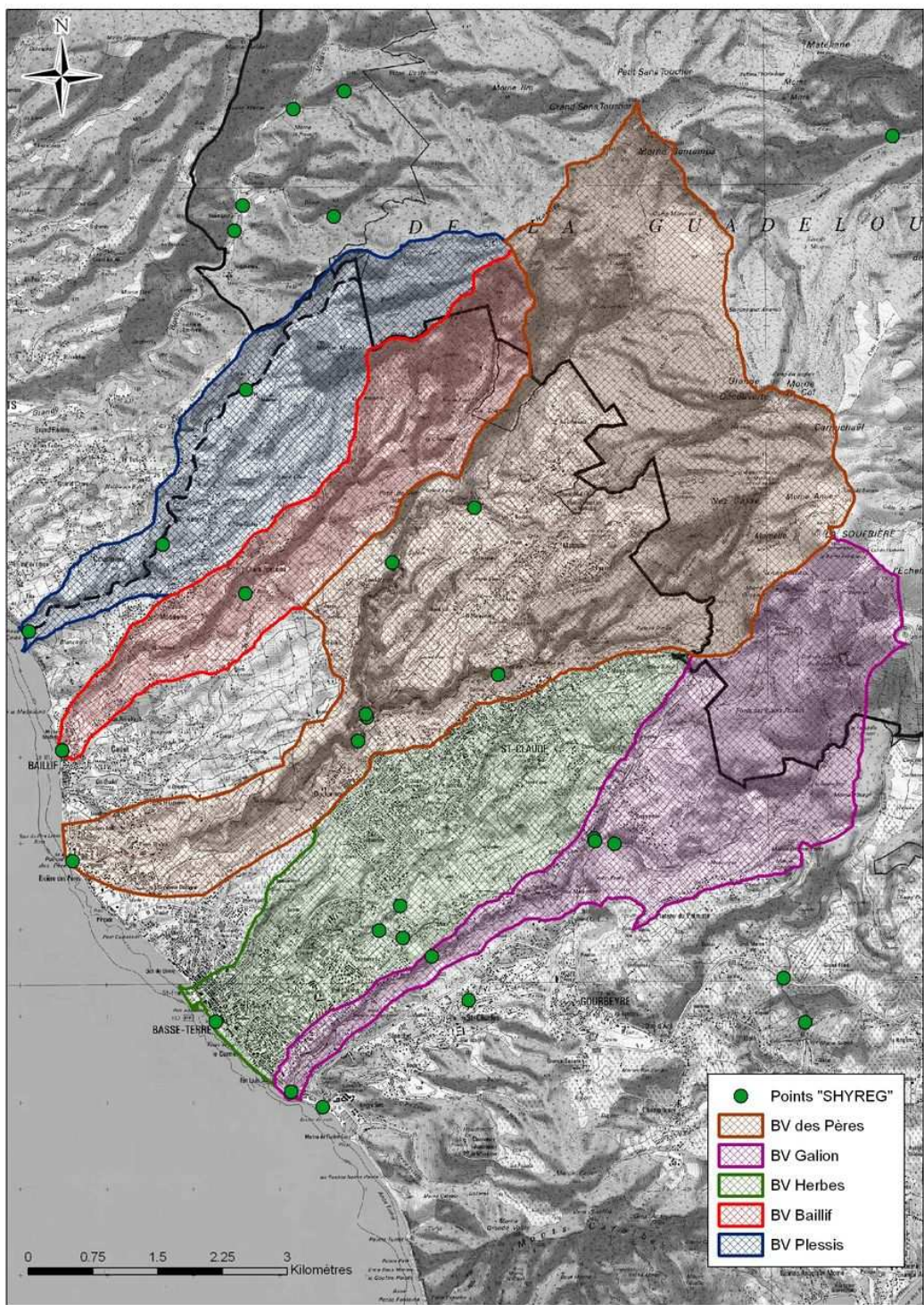


Illustration 2: bassins versant du TRI Basse Terre



Illustration 3: isohyètes interannuelles de la Guadeloupe calculées sur la période 1965 - 1985 (source : IRD)

Aussi nous proposons de retenir la formule $Q_{10} = 17S^{0,8}$ pour les tronçons hydrographiques appartenant aux bassins versants de Baillif, du Plessis et des Herbes et la formule $Q_{10} = 24S^{0,8}$ pour les rivières des bassins versants du Galion et des Pères.

II.2. Calcul du débit centennal Q_{100}

Le graphique de l'illustration n°4 représente la répartition des débits centennaux instantanés, issus de SHYREG, en fonction de la surface du bassin versant drainé.

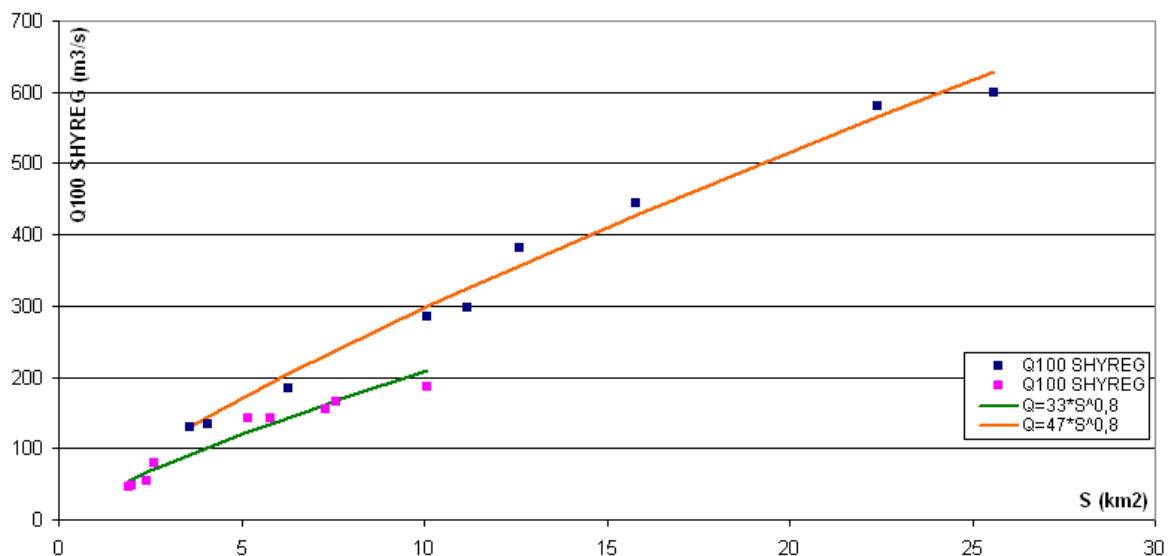


Illustration 4: répartition des débits centennaux SHYREG en fonction de la surface des bassins versant

Comme pour le débit décennal, deux ensembles de valeurs se distinguent :

- les débits provenant des bassins versants de Baillif, du Plessis et des Herbes qui se répartissent autour de la courbe d'équation $Q = 33S^{0,8}$
- les débits provenant des bassins des Pères et du Galion qui s'ajustent avec une courbe d'équation $Q = 47S^{0,8}$

II.3. Calcul du débit millénaire Q_{1000}

Deux méthodes ont été mises en œuvre pour estimer les débits millénaire sur les 18 points « SHYREG ». La première consiste à ajuster, par une loi statistique, les quantiles calculés par SHYREG puis à extrapoler les débits jusqu'à une période de retour 1000 ans à l'aide de cette loi. Dans la seconde approche, l'extrapolation vers les périodes de retour élevées repose sur la méthode du Gradex.

II.3.1. Extrapolation par une loi de Fréchet

Les quantiles de crues $T = 2$ ans à $T = 100$ ans, calculés par la méthode SHYREG suivent une loi théorique de Fréchet. Le graphique de l'illustration n°5 montre cet ajustement pour 4 des 18 points « SHYREG » exploités.

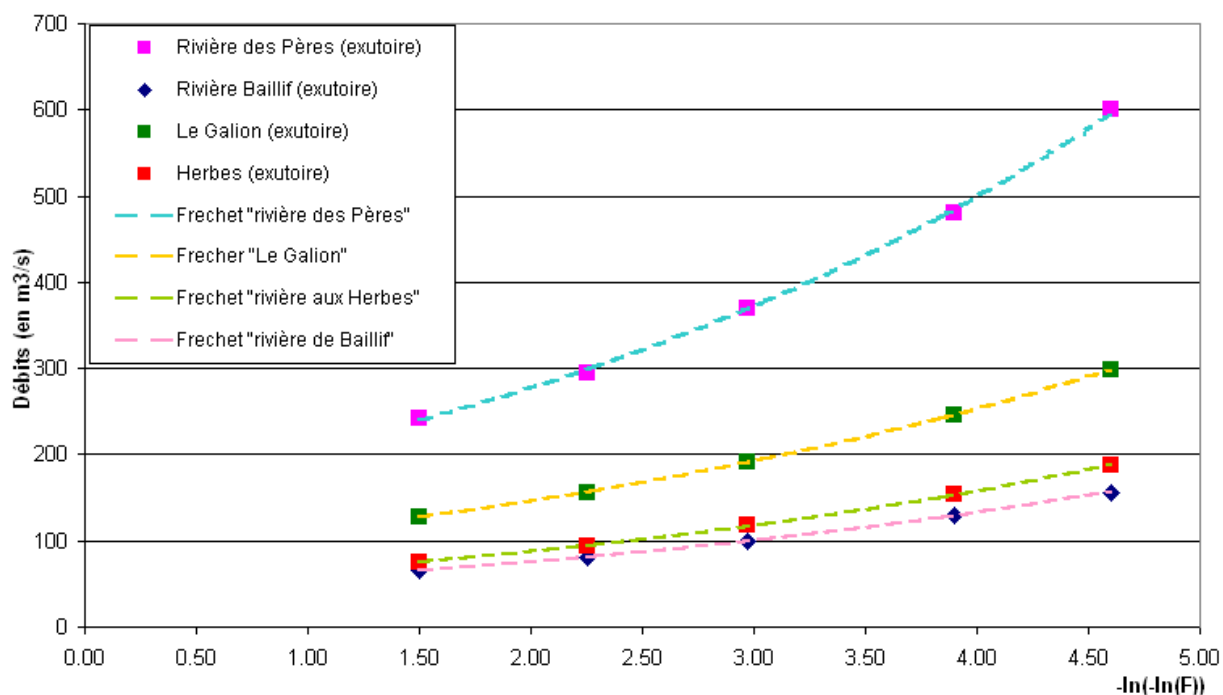


Illustration 5: débits de crues SHYREG exprimés en fonction de leur fréquence au non dépassement F (transformée en variable réduite de Gumbel)

Les débits de crue de période de retour 1000 ans peuvent être estimés, pour chaque point « SHYREG », par extrapolation de la loi de Fréchet correspondante.

II.3.2. La méthode du Gradex

Cette méthode repose sur l'hypothèse qu'au-delà d'un certain état de saturation du bassin versant, tout accroissement de pluie génère un accroissement égal d'écoulement. Ainsi, à partir d'une certaine période de retour, la loi d'ajustement statistique des débits extrêmes peut être extrapolée par une droite de même pente que celle de la loi des pluies extrêmes (appelé gradex des pluies), réputée plus fiable que l'ajustement des débits. Le point de départ de cette extrapolation, appelé « point pivot », est fixé à une période de retour comprise entre 10 et 50 ans selon l'aptitude du sol du bassin versant à atteindre son niveau de saturation. Le principe de la méthode est présenté sur le graphique de l'illustration n°6.

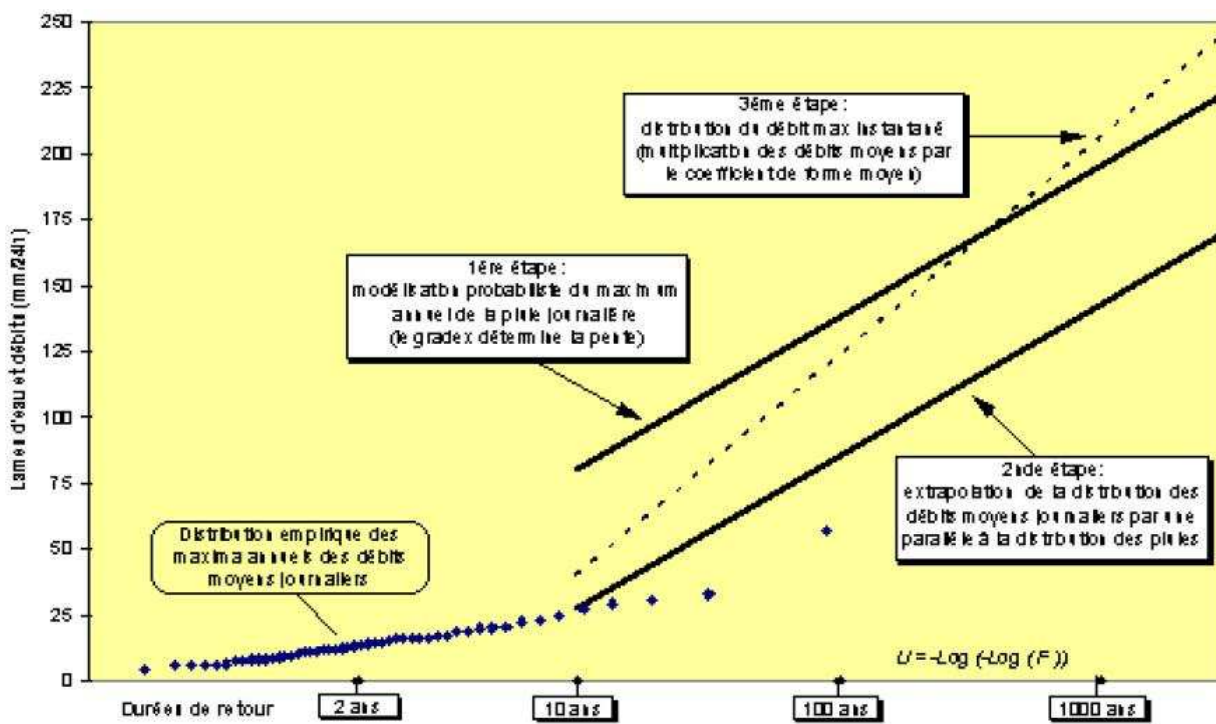


Illustration 6: principe de la méthode du Gradex (source : « Retour d'expérience sur le Gradex », R. Garçon, 2001)

L'expression analytique du débit de pointe millénal Q_{1000} est alors la suivante :

$$Q_{1000} = Q_{T_s} + C * g_p [u(T=1000) - u(T_s)]$$

où

- Q_{T_s} est le débit instantané de période de retour correspondant à la saturation du bassin versant
- C est le paramètre de forme
- g_p est le Gradex des pluies
- $u = -\ln(-\ln(F))$ est la variable réduite de Gumbel

➤ **Détermination de la durée caractéristique (D)**

Un préalable à la mise en œuvre de la méthode du Gradex est la détermination de la durée caractéristique du bassin versant. Elle est définie, au sens de la méthode SOCOSE (référence bibliographique [1]), comme la médiane de la durée de dépassement de la moitié des débits de pointe d'un échantillon d'hydrogrammes de crues. Cette durée peut être également estimée par le temps de concentration du bassin versant (variable hydrologique qui se définit comme le temps que met le ruissellement d'une averse pour parvenir à l'exutoire depuis le point le plus éloigné du bassin).

Les bassins versants du TRI de Basse Terre sont de taille relativement faible. Le plus grand d'entre eux, celui de la rivière de Père, possède une surface de 25,6 km². Par ailleurs, le réseau hydrographique y est très encaissé et les pentes sont élevées. Ces bassins réagissent donc très rapidement. Dans l'étude du CEMAGREF « Modélisation de synthèse des régimes de crue de 6 sous bassins versants de la Guadeloupe (Basse-Terre) » [2], l'évaluation des durées caractéristiques aboutissait à des valeurs comprises entre 0,8h et 1,4h pour des surfaces de bassins comprises entre 6,1 et 54,9 km².

Une durée caractéristique de 1h est retenue pour la mise en œuvre de la méthode sur les bassins du TRI de Basse Terre.

➤ **Coefficient de forme (C)**

Ce coefficient se définit comme le rapport du débit instantané au débit moyen sur la durée D.
Nous proposons d'évaluer ce coefficient à partir des débits décennaux de la base « SHYREG » :

$$C = \frac{Q_{10I}}{Q_{101h}} \text{ où } Q_{10I} \text{ est le débit décennal instantané et } Q_{101h} \text{ est le débit décennal moyen sur une heure.}$$

Les résultats sur 5 des 18 points « SHYREG » figurent dans le tableau n°1.

	Riv. du Plessis (exutoire)	Riv. des Pères (exutoire)	Riv. du Galion (exutoire)	Riv. de Baillif (exutoire)	Riv. aux Herbes (exutoire)
Q_{101h}	53,2	185,7	96,2	50,5	58,9
Q_{10I}	85	295	156	80,6	93,7
Coefficient de forme C	1,6	1,59	1,62	1,59	1,59

Tableau 1: coefficient de forme calculé à partir des débits décennaux sur 5 bassins du secteur d'étude

Nous retenons C = 1,6 pour tous les bassins étudiés.

➤ **Choix du point pivot**

La méthode du Gradex a été mise en œuvre dans les études du CEMAGREF « Modélisation de synthèse des régimes de crue de 6 sous bassins versants de la Guadeloupe (Basse-Terre) » [2] et « Cartographie des débits de crue de la Guadeloupe » [3]. Dans les deux cas, le point pivot a été fixé à la fréquence décennal pour les bassins versants de la Basse Terre.

Nous retenons donc un point pivot à T = 10 ans.

➤ **Gradex des pluies g_p**

Le gradex des pluies sur une heure a été calculé à partir des quantiles SHYREG de la station pluviométrique de Saint Claude – Parnasse (cf. annexe n°1). On obtient **$g_p(1h) = 17,97 \text{ mm}$** .

Les résultats obtenus par les deux méthodes sur 12 des 18 points « SHYREG » sont présentés dans le tableau n°2.

Point « SHYREG »	Q ₁₀₀₀ Gradex (m ³ /s)	Q ₁₀₀₀ Fréchet (m ³ /s)	Ecart (%)
Plessis (exutoire)	366	327	12
Plessis (altitude 398m)			
Les Pères (exutoire)	1250	1169	7
Galion (exutoire)	571	563	1
Baillif (exutoire)	351	303	16
Herbes (exutoire)	470	371	27
Galion (limite Basse Terre)	529	535	1
Herbes (altitude 210m)	119	101	18
Les Pères (après confluence St Louis)	1123	1114	1
Rivière St Louis (Grand Marigot)	664	714	7
Baillif (Fond Rose)	268	263	2
Plessis (altitude 200m)	291	273	7
St Louis (Saut du Constantin)	811	842	4
Rivière Noire (Constantin)	335	335	0
Rivière Noire (Petit Parc)	227	237	4
Rivière Rouge (Matouba)	207	228	9
Ravine Espérance (altitude 156m)	102	86	19
Ravine Espérance (altitude 200m)	97	82	18
Moyenne			9

Tableau 2: TRI de Basse Terre - débits de pointe millénaux évalués par deux méthodes d'extrapolation

Compte tenu du faible écart entre les valeurs issues des deux approches, nous retenons les résultats obtenus par extrapolation de Fréchet.

La répartition des débits millénaux en fonction des surfaces de bassins versants est représentée sur le graphique de l'illustration n°7.

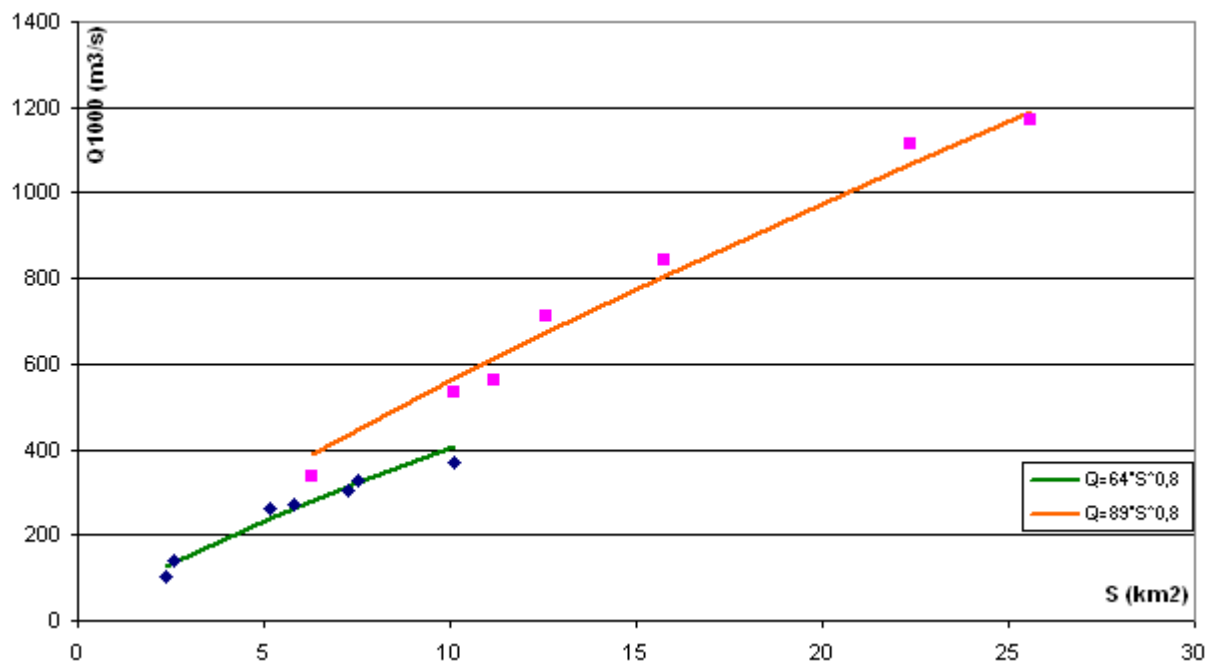


Illustration 7: TRI Basse Terre - répartition des débits millénaux SHYREG en fonction de la surface des bassins versants

Comme précédemment, les valeurs de Q_{1000} se répartissent en deux groupes :

- les débits calculés sur les bassins versants de Baillif, du Plessis et des Herbes qui suivent la courbe d'équation $Q = 64S^{0,8}$
- les débits calculés sur les bassins des Pères et du Galion qui peuvent s'ajuster par une courbe d'équation $Q = 89S^{0,8}$

III. TRI Centre

La méthode a été appliquée sur les cours d'eau suivants :

- le canal Perrin ;
- la rivière Audouin et son affluent la ravine Gardel ;
- le canal des Rotours ;
- la ravine Gaschet ;
- la rivière Mahault ;
- la rivière du Lamentin ;
- la rivière du Coin ;
- la rivière Houaromand

Des valeurs SHYREG sont disponibles en 9 points répartis sur ces 8 bassins versants.

III.1. Calcul du débit décennal Q_{10}

Le graphique de l'illustration n°8 présente la répartition des débits décennaux instantanés, issus de SHYREG, en fonction de la surface du bassin versant.

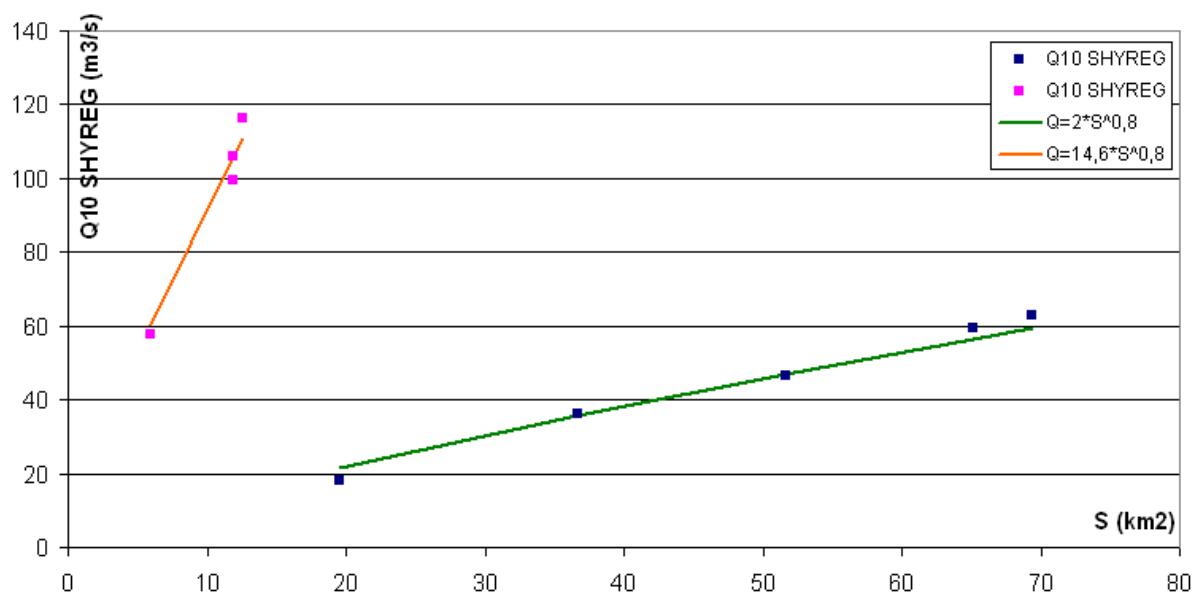


Illustration 8: TRI Centre - répartition des débits décennaux SHYREG en fonction de la surface des bassins versants

Une partie des points (en bleu sur le graphique) peut être ajustée par une courbe d'équation $Q = 2S^{0,8}$. Les autres points (en rose) suivent une courbe d'équation $Q = 14,6S^{0,8}$. Les débits décennaux affichés en bleu sont issus de bassins versant situés au nord et à l'est de la Grande Terre (rivière d'Audouin, canal Perrin, ravine Gaschet, canal des Rotours). Ce secteur reçoit moins de précipitations que le centre de l'île et le nord-est de la Basse Terre (cf. illustration n°3) où sont localisés les bassins dont les débits figurent en rose sur l'illustration n°8.

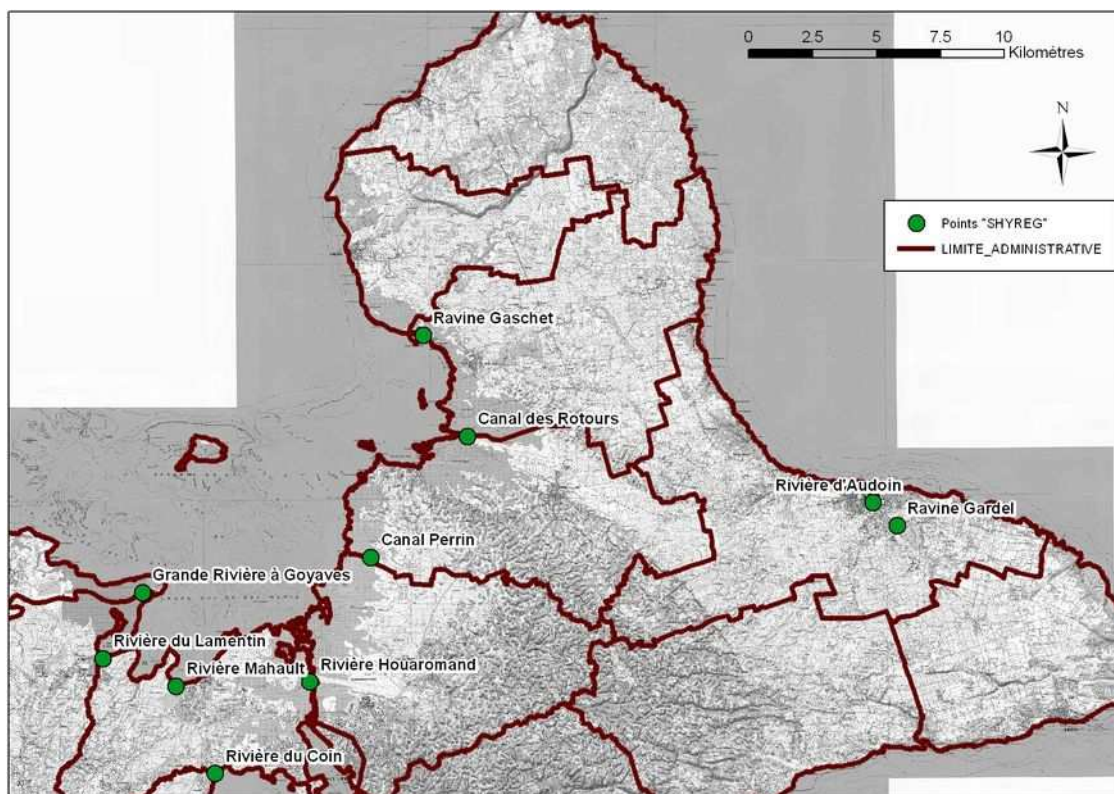


Illustration 9: points "SHYREG" exploités pour l'estimation des quantiles de débit sur le TRI Centre

III.2. Calcul du débit centennal Q_{100}

Le graphique de l'illustration n°10 présente la répartition des débits centennaux instantanés, issus de SHYREG, en fonction de la surface du bassin versant drainé.

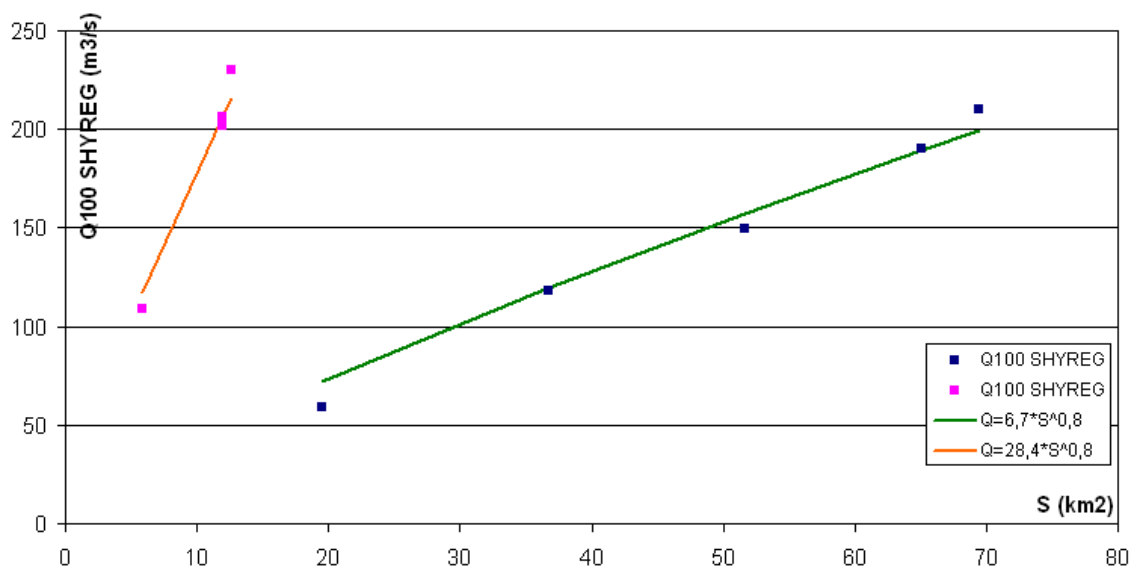


Illustration 10: TRI Centre - répartition des débits centennaux SHYREG en fonction de la surface des bassins versants

Comme pour le débit décennal, deux ensembles de valeurs se distinguent :

- les débits centennaux estimés sur le canal Perrin, le canal des Rotours, la ravine Gaschet et la rivière d'Audouin qui suivent la courbe d'équation $Q = 6,7S^{0,8}$
- les débits centennaux des rivières Houaromand, Mahault, du Coin et du Lamentin qui s'ajustent avec une courbe d'équation $Q = 28,4S^{0,8}$

III.3. Calcul du débit millénal Q_{1000}

Comme pour le TRI de Basse Terre, les débits instantanés de crue de période de retour 1000 ans ont été estimés par deux méthodes d'extrapolation.

III.3.1. La méthode du Gradex

➤ Durées caractéristiques

Les durées caractéristiques (D) des 9 bassins ou sous bassins versant ont été estimées par leur temps de concentration. Dans la littérature, plusieurs formules empiriques permettent d'évaluer ce paramètre hydrologique. Les résultats figurent dans le tableau n°3.

Bassin	Passini (min)	Giandotti (min)	Bransby (min)	Ventura (min)	Moyenne (min)	Moyenne (h)	D retenue (h)
Ravine Gaschet	1447	1756	614	1286	1497	24.9	24
Canal des Rotours	894	1010	176	1188	1031	17.2	24
Canal Perrin	727	866	162	923	839	14.0	12
Riv. Houaromand	632	975	444	489	521	8.7	6
Riv. d'Audouin	803	882	294	845	843	14.1	12
Ravine Gardel	580	727	282	548	619	10.3	12
Riv. Mahault	353	562	381	266	333	5.6	6
Riv. du Lamentin	363	500	265	315	314	5.2	6
Riv. du Coin	262	391	226	217	235	3.9	6

Tableau 3: temps de concentration des 9 sous bassins versant

Nota : La moyenne des temps de concentration a été calculée en excluant les valeurs obtenues par la formule de Bransby pour les 6 premiers bassins versant. Pour les 3 derniers, il n'a pas été tenu compte de la valeur calculée par la formule de Giandotti. En effet, pour chaque bassin, la durée exclue est très éloignée des autres valeurs relativement homogènes entre elles.

➤ Coefficient de forme

Comme précédemment, il a été évalué à partir des débits décennaux de la base SHYREG. Les résultats figurent dans le tableau n°4.

Bassin	C
Ravine Gaschet	2,4
Canal des Rotours	2,5
Canal Perrin	2,1
Riv. Houaromand	3,1
Riv. d'Audouin	2,1
Ravine Gardel	2,2
Riv. Mahault	3,1
Riv. du Lamentin	3,1
Riv. du Coin	3,2

Tableau 4: coefficient de forme évalués sur les 9 points "SHYREG" du TRI Centre

➤ **Choix du point pivot**

Dans l'étude hydrologique sur le barrage de Gaschet [4], STUCKY a appliqué la méthode du GRADEX pour calculer les débits de crues exceptionnelle sur la ravine Gaschet. Dans ce rapport, le bureau d'étude justifie le choix d'un point pivot à $T = 20$ ans. Nous retenons cette valeur dans la suite des calculs.

➤ **Gradex des pluies g_p**

Le gradex des pluies sur la durée caractéristique de chaque bassin a été calculé à partir des quantiles SHYREG de la station météo du Raizet. Les résultats figurent dans le tableau n°5.

Durée (h)	6h	12h	24h
Gradex Raizet (mm)	21,8	29,9	40

Tableau 5: Gradex sur 6h, 12h et 24h au Raizet

III.3.2. Extrapolation par une loi de Fréchet

L'autre méthode consiste, comme pour le TRI de Basse-Terre, à ajuster une loi de Fréchet aux quantiles $T=2$ ans à $T = 100$ ans calculés par SHYREG puis à extrapoler les débits jusqu'à une période de retour de 1000 ans.

Les valeurs obtenues par les deux méthodes sur les 9 points de calcul SHYREG du TRI Centre sont présentées dans le tableau ci-après.

Point « SHYREG »	Q ₁₀₀₀ Fréchet (m ³ /s)	Q ₁₀₀₀ Gradex (m ³ /s)	Ecart
Ravine Gaschet	680	390	74%
Canal des Rotours	578	368	57%
Canal Perrin	372	262	42%
Rivière Houaromand	412	267	54%
Rivière d'Audouin	464	364	28%
Ravine Gardel	192	139	38%
Rivière Mahault	455	297	53%
Rivière du Lamentin	406	275	48%
Rivière du Coin	213	145	47%

Tableau 6: TRI Centre - débits de pointe millénaux évalués par deux méthodes d'extrapolation

Contrairement au constat fait sur le TRI de Basse Terre, les écarts sont très importants entre les deux méthodes. Les débits millénaux calculés par extrapolation d'une loi de Fréchet sont en moyenne supérieurs de 50% aux débits déterminés par la méthode du Gradex. Sur la ravine Gaschet, le débit millénal a été évalué à 250 m³/s par le bureau d'études STUCKY dans l'étude hydrologique sur le barrage de Gaschet [4]. Cette valeur, estimée par la méthode du Gradex, est très inférieure au débit évalué par la même méthode dans la présente note (390 m³/s). Cet écart provient essentiellement de l'exploitation de données différentes pour l'estimation du gradex des pluies et du coefficient de forme.

Aussi, nous proposons d'utiliser les valeurs Q₁₀₀₀ calculées par la méthode du Gradex afin de ne pas baser la cartographie des inondations extrêmes sur un scénario hydrologique trop pessimiste.

La répartition des débits millénaux en fonction des surfaces de bassin versant est représentée sur le graphique de l'illustration n°11.

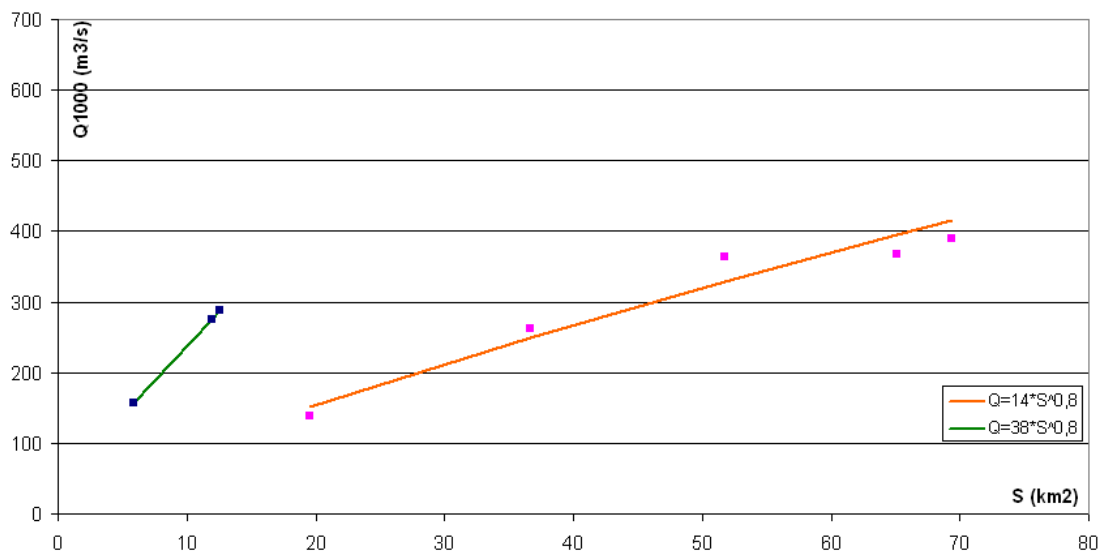


Illustration 11: TRI Centre - répartition des débits millénaux SHYREG en fonction de la surface des bassins versants

Comme précédemment, les valeurs de Q₁₀₀₀ se répartissent en deux groupes :

- les débits calculés sur le canal Perrin, le canal des Rotours, la ravine Gaschet et la rivière d'Audouin qui suivent la courbe d'équation $Q = 14S^{0,8}$
- les débits calculés sur les rivières Houaromand, Mahault, du Coin et du Lamentin qui peuvent s'ajuster par une courbe d'équation $Q = 38S^{0,8}$

IV. Synthèse

Le tableau n°7 synthétise, pour chaque bassin versant des deux TRI, la formule à appliquer pour estimer les débits décennaux, centennaux et millénaux en fonction de la surface drainée.

Formule $Q = aS^b$		Q10		Q100		Q1000	
		a	b	a	b	a	b
TRI Basse-Terre	Rivière Baillif	17	0,8	33	0,8	64	0,8
	Rivière du Plessis	17	0,8	33	0,8	64	0,8
	Rivière aux Herbes et affluents	17	0,8	33	0,8	64	0,8
	Le Galion	24	0,8	47	0,8	89	0,8
	Rivière des Pères et ses affluents	24	0,8	47	0,8	89	0,8
TRI Centre	Rivières Baie Mahault (riv du Coin, riv Mahault, riv du Lametin, riv Houaromand)	14.6	0,8	28.4	0,8	38	0,8
	Autres rivières Grande Terre	2	0,8	6.7	0,8	14	0,8

Tableau 7: synthèse des résultats

V. Bibliographie

- [1] Synthèse nationale sur les crues des petits bassins versants – la méthode SOCOSE, Ministère de l'Agriculture – CTGREF, janvier 1980
- [2] Modélisation de synthèse des régimes de crue de 6 sous-bassins versant de la Guadeloupe, CEMAGREF, 2000
- [3] Cartographie des débits de crue de la Guadeloupe, CEMAGREF, HYDRIS, 2007-2008 :
1^{ère} partie - étude des pluies par la méthode SHYREG
2^{ème} partie - étude des débits par la méthode SHYREG
- [4] Barrage de Gaschet – étude hydrologique et complément, STUCKY, avril 2011

Annexe : Cumuls pluviométriques sur 1h pour différentes périodes de retour à St Claude Parnasse



DUREES DE RETOUR DE FORTES PRECIPITATIONS Méthode SHYREG

Zone : GUADELOUPE

point de grille : coordonnées géographiques Longitude = -61.682°, Latitude = 16.0327°

Durées de retour						
Durées de cumul	100 ans	50 ans	20 ans	10 ans	5 ans	2 ans
1 heure	151.6 mm	138.9 mm	122.1 mm	108.7 mm	94.9 mm	78.0 mm

Produit élaboré par IRSTEA, mis à disposition par Météo-France

Les données de base utilisées pour l'élaboration des statistiques portent sur la période 1960-1999

Étude réalisée à la demande et pour le compte de :

Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la Guadeloupe
Service « Risques Energie Déchets »

Résumé de l'étude

La Directive « Inondation » impose que trois scénarios de crue soient cartographiés sur les Territoires à Risque important d'Inondation (TRI) :

- un scénario de probabilité fort, correspondant à une période de retour comprise entre 10 et 30 ans ;
- un scénario de probabilité moyenne, correspondant à une période de retour comprise entre 100 et 300 ans ;
- un scénario de probabilité rare, correspondant à une occurrence supérieure à 1000 ans.

Sur les deux TRI de la Guadeloupe, les cartes sont établies à partir d'un modèle hydraulique couplé à un système d'information géographique (CARTINO). Un débit dépendant de la surface du bassin versant amont doit être injecté à chaque profil du modèle. Une formulation des débits sous la forme $Q = aS^b$ a donc été recherchée pour calculer les débits décennaux (Q_{10}), centennaux (Q_{100}) et millénaux (Q_{1000}). Ce rapport décrit la méthodologie mise en œuvre pour estimer les paramètres régionaux a et b.

Pour les débits décennaux et centennaux, les résultats s'appuient essentiellement sur la base de données SHYREG de l'IRSTEA qui contient les débits de crue de période retour 2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans en des points caractéristiques (exutoires, confluences) de la plupart des cours d'eau de l'île.

Les débits millénaux ont été déterminés en appliquant la méthode du Gradex pour le TRI Centre et par extrapolation d'une loi statistique de Fréchet pour le TRI de Basse Terre.

FICHE DE SYNTHÈSE DES METADONNÉES : MNT LITTO3D®

LITTO3D [FICHE_177604]

Version : 30/05/2013

(création) : 30/05/2013

(publication) : 15/07/2013

Résumé :

Litto3D® est un modèle numérique altimétrique précis continu terre-mer réalisé en commun par le SHOM et l'IGN.

Il s'agit de réaliser des relevés de relief et des mesures de profondeurs marines pour une connaissance précise de l'ensemble du littoral Guadeloupéen

Voici la bande littorale concernée:

En mer, jusqu'à la courbe bathymétrique continue de profondeur 10m et au plus jusqu'à 6 milles des côtes
Sur terre, jusqu'à l'altitude +10m, et à au moins 2km de l'intérieur des terres

Type de données : Images raster et données maillées

Droits d'accès aux métadonnées : INTERNET

Droit d'accès aux données : INTERNET

Service gestionnaire : DEAL Guadeloupe

Producteur des données : DEAL Guadeloupe

Contact pour les données :

Nom de l'organisme : DEAL de la Guadeloupe

Adresse e-mail de contact : delphine.serber@developpement-durable.gouv.fr

N° Téléphone : 0590 99 46 36

Adresse postale :

BP 54

Saint Phy

97102 BASSE-TERRE CEDEX

Couverture administrative :

- GUADELOUPE

Etendue géographique : Archipel Guadeloupe

Système de coordonnées : Guadeloupe (et îles proches) - Sainte Anne / UTM zone 20N

Résolution - Raster : 1.0

Catégories :

- Altitude

Thèmes COVADIS :

- Mer Littoral / Topographie

Thèmes INSPIRE :

- Altitude

Processus de production :

Informations sur la qualité des données : Les données sont sûres, elle ont été réalisées avec le service hydrogéographique et océanographique de la marine (SHOM) et l'Institut géographique national. (IGN)

Généalogie : Le comité Interministériel de la Mer (CIMer) de décembre 2009 a confirmé le caractère indispensable de l'établissement d'un référentiel continu et précis de notre littoral, pour l'aménagement du territoire, le développement des projets et la prévention des risques.

Jeux de caractères des métadonnées : 8859part16

Jeux de caractères des données : 8859part16

Langage des métadonnées : Français

Langage des données : Français

Contraintes d'utilisation des données :

Fichiers des conditions standard d'utilisation : diffusion_public

Limite d'utilisation :

Obligation de mentionner la paternité de la source. Ici, IGN et Le SHOM. Les 2 organismes recommandent de faire apparaître leurs logos sur TOUT support utilisant les données Litto3D

Texte du copyright : SHOM-IGN, 2013

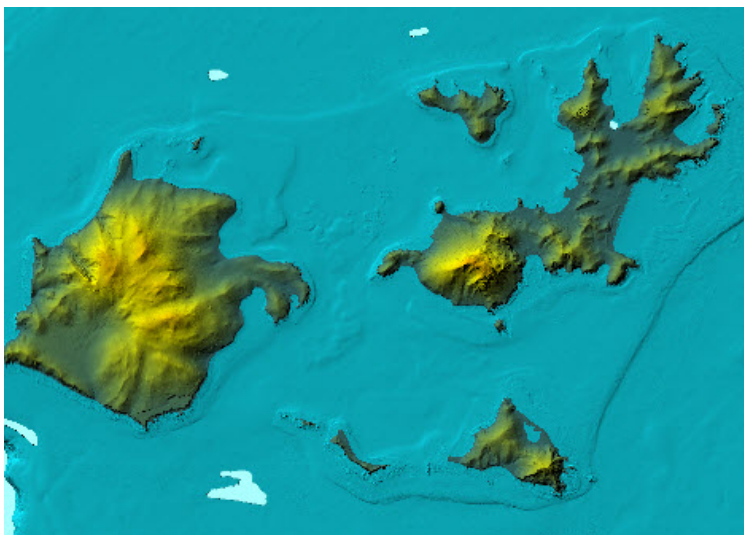
Données sous licence : Oui

Licence non limitée en nombre d'utilisateurs

Fichiers du lot de données :

Description	Nom Fichier	Format	Version	Volume	Type d'accès
MNT sur Géobase	LITTO3D	MNT	2013	18500 Ko	Sur commande (cf. contact pour les données)

Aperçu :



NOTE DE SYNTHÈSE SUR LES DONNÉES DE DURÉE DE RETOUR DES SURCÔTES CYCLONIQUES ISSUES DES ÉTUDES DE MÉTÉOFRANCE



NOTE DE SYNTHÈSE

Date de fourniture : 07/11/2013

FOURNITURE METEO-FRANCE DE DONNEES DE DUREE DE RETOUR DE SURCOTES CYCLONIQUES DANS LE CADRE DE LA MISE EN ŒUVRE DE LA DIRECTIVE INONDATION EN GUADELOUPE

CONTEXTE

La DEAL a sollicité Météo-France pour avoir accès aux données de surcotes cycloniques issues des études réalisées en 2002 et traitées dans le rapport « Evaluation du risque lié aux surcotes cycloniques sur les Antilles Françaises ». Météo-France Antilles Guyane rappelle que l'ensemble des études réalisées par Météo-France en 2002 ayant permis d'évaluer le risque lié aux surcotes et à la houle cyclonique sont actuellement en cours d'analyse et de conception afin de bénéficier des dernières versions de modèles d'état de mer et des avancées scientifiques pour la modélisation du déferlement à la côte. La mise à jour de ces travaux nécessitera de mobiliser des efforts techniques dans des délais significatifs.

Les données fournies ont été calculées selon la méthodologie et les algorithmes des travaux menés en 2002.

RESUME DES TRAVAUX REALISES EN 2002

La surcote cyclonique

La surcote ou marée de tempête est une élévation anormale du niveau de la mer associée à un phénomène météorologique comportant des pressions faibles et des vents violents. C'est typiquement le cas lors du passage d'un phénomène cyclonique (tempête ou ouragan) à proximité des côtes.

Les surcotes peuvent avoir effets dévastateurs et représentent un danger pour une grande partie de la population et de l'activité de la Guadeloupe, concentrées pour des raisons économiques ou historiques sur la bande côtière, à très basse altitude

De plus, les fortes surcotes cycloniques s'ajoutent aux crues induites par des précipitations souvent abondantes lors du passage d'un cyclone, et peuvent aggraver les.

La valeur de surcote en un point dépend de plusieurs paramètres qui sont :

- La distance du centre du cyclone au point étudié
- L'intensité du phénomène cyclonique et son extension géographique
- Les caractéristiques bathymétriques et l'exposition de la baie

Seule la marée de tempête est traitée ici, l'apport d'eau par les vagues n'est pas modélisé, ni la marée astronomique.

Le modèle de surcote

Le modèle utilisé, a été développé et installé en Martinique par Pierre Daniel (Météo – France), en 1993. Il s'agit d'un modèle hydrodynamique, basé sur la résolution des équations de St Venant .



Les fichiers bathymétriques utilisés par le modèle pour le calcul des surcotes donnent une valeur tous les quarts de minutes d'angles, soit une précision horizontale de l'ordre de 450 mètres sous des latitudes tropicales. La grille de discrétisation associée à une précision au quart de minutes donne 213*193 points de calcul pour la Guadeloupe.

Les conditions aux limites à la côte sont celles d'un mur infiniment haut (la composante normale du courant est nulle et aucun calcul n'est effectué sur les points de grille considérés comme points de terre). Cette condition est valable dans la majorité des cas, mais lorsque la surcote est importante et l'altitude de la côte est faible, il peut y avoir inondation des terres et modification de la surcote maximale.

Echantillon de départ

L'échantillon de départ comprend les cyclones répertoriés dans la base du NHC entre 1900 et 2000.

Comme le nombre de phénomènes significatifs concernant un territoire donné est insuffisant, on a créé 9 siècles fictifs climatiquement homogènes en s'inspirant de la méthode de "bootstrap" en conservant le nombre de phénomènes annuel. On dispose ainsi au total de 10 siècles permettant des calculs statistiques.

Calcul des durées de retour

Durée de retour

Soit une variable aléatoire X qui prend une valeur par an, de fonction de répartition $F(x)$. Par définition, la durée de retour $T(x)$ associée à la loi de X correspond au temps au bout duquel la variable X prend une valeur supérieure à x , c'est-à-dire au temps moyen écoulé (en années) entre deux occurrences de l'événement $X > x$. On obtient alors :

$$T(x) = \frac{1}{1 - F(x)}$$

Dans cette étude, l'événement statistique de base est un événement cyclonique créant une surcote supérieure à un seuil en un point du domaine sur lequel on travaille.

Méthode de calcul

Le calcul des durées de retour se fait avec la méthode statistique du renouvellement, qui permet de prendre en compte plusieurs événements par an. On travaille indépendamment pour chacun des points du domaine.

Les durées de retour peuvent être calculées en théorie sur une période allant jusqu'à quatre fois la période d'étude.

Les valeurs associées aux longues durées de retour (≥ 100 ans) doivent être nuancées par les incertitudes liées au niveau moyen des océans dans le contexte du changement climatique et



l'élévation du niveau de la mer observée et prévue. L'étude est faite à climat constant, celui de 1900-2000 en ce qui concerne les fréquences, intensités et trajectoires de cyclones.

A noter que Météo-France ne dispose pas des valeurs de surcotes pour la durée de retour 1000 ans

RESULTATS

- 1 fichier 20131107_DR surcotes MF DIRAG TRI_Centre.xls contenant :
- Les numéros des points de grille sélectionnés et leurs coordonnées lat , lon.
- Les valeurs en cm de la surcote maximale pour les durées de retour, 10, 100, 500 ans

Voir carte en annexe

BIBLIOGRAPHIE

Evaluation du risque lié aux surcotes cycloniques sur les Antilles Françaises, Météo-France, 2002

Les outres-mer face au défi du changement climatique, ONERC 2012, La documentation française

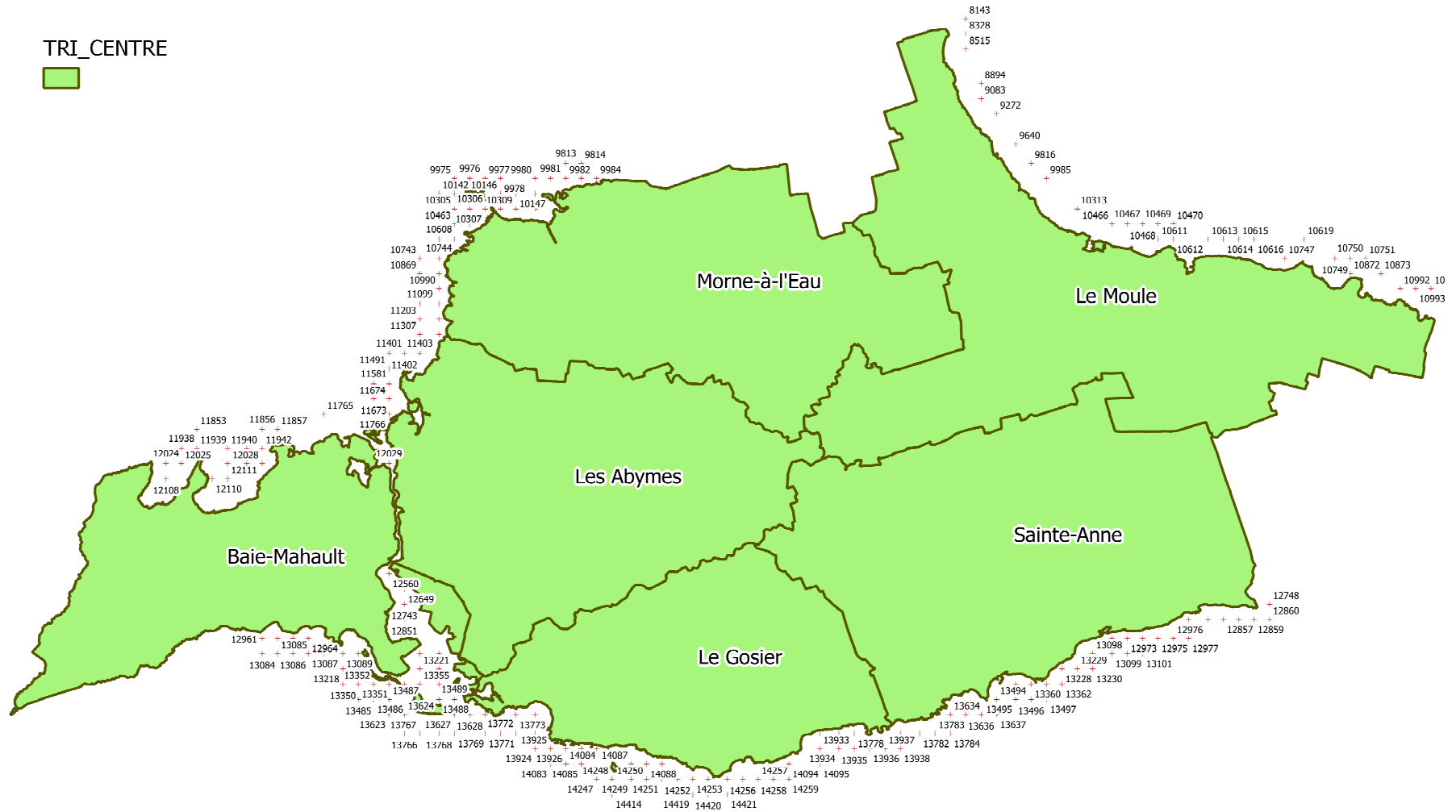
Palanisamy, H., M. Becker, B. Meyssignac, O. Henry, A. Cazenave, 2012: Regional sea level change and variability in the Caribbean sea since 1950, Journal of Geodetic Science

Rapport GIEC 2013

Points du Modèle de surcote MF-DIRAG

ANNEXE

TRI_CENTRE



Météo-France Direction Interrégional Antilles Guyane

Contact : bed.dirag@meteo.fr

NOTE TECHNIQUE SUR LE PROJET TSUNAHOULE : EVALUATION DES PERIODES DE RETOUR DES SURCOTES CYCLONIQUES DANS LES ANTILLES FRANCAISES



Note technique projet TSUNAHOULE: évaluation des périodes de retour des surcotes cycloniques dans les Antilles Françaises

Yann KRIEN (UAG, LARGE)

Février 2014

Sommaire

1. Introduction.....	4
2. Présentation de la méthodologie.....	5
3. Une grande base de données de cyclones synthétiques représentatifs du climat actuel.....	6
4. Modélisation numérique.....	9
4.1. Maillage.....	9
4.2. Inondation à terre.....	12
4.3. Forçage par les champs de vent et de pression.....	13
4.4. Marée.....	13
5. Validation.....	14
5.1. Cyclone HUGO (1989).....	14
5.2. Cyclone DEAN (2007).....	20
5.3. Cyclone DAVID (1979).....	22
5.4. Cyclone ALLEN (1980).....	23
6. Analyse statistique.....	23
7. Discussion.....	24
8. Bibliographie.....	26

Figure 1 - Représentation schématique de la méthodologie adoptée pour l'évaluation des surcotes centennales en Guadeloupe.....	5
Figure 2 - Exemple de cyclones synthétiques de la base de données impactant la Guadeloupe.....	9
Figure 3 - Emprise du maillage utilisé pour les modèles de Guadeloupe	10
Figure 4 - Résolution du maillage (en m) pour la Guadeloupe.....	11
Figure 5 - Résolution du maillage (en m) pour la Martinique	11
Figure 6 - Trajectoire donnée par HURDAT et trajectoire modifiée d'après le rapport de Météo France (1990) pour le cyclone HUGO (1989). Les marqueurs rouges indiquent les lieux pour lesquels on a des estimations de la surcote maximale atteinte.....	15
Figure 7 - Champs de vent (en km/h) obtenus par les modèles de Emanuel et Rotunno (en haut) et par celui de Holland (en bas) le 17 septembre à 6h (TU)	17
Figure 8 - surcotes maximales (en m) obtenues pour le cyclone HUGO par les modèles d'Emanuel et Rotunno (en haut) et de Holland (en bas).....	18
Figure 9 - différence entre la surcote maximale calculée par le modèle d'Emanuel et Rotunno et celle donnée par le modèle de Holland.....	19
Figure 10 - Hauteur significative (en m) de la houle au passage du cyclone DEAN à la bouée 41040 de la NOAA (coordonnées 53.024°W 14.516°N)	21
Figure 11 - Hauteur significative (en m) de la houle au passage du cyclone DEAN au houlographe de Sainte Lucie (coordonnées 60.9345°W 14.1763°N)	21
Figure 12 - Hauteur significative (en m) de la houle au passage du cyclone DEAN au houlographe de Sainte Lucie (coordonnées 61.09717°W 14.54817°N)	22
Figure 13 -Exemple de surcote (en m) pour différentes périodes de retour (en années) pour un point situé dans la baie du Robert (Martinique), à partir d'un jeu de données représentant l'équivalent de 8000 ans.	24

1. Introduction

Les travaux pionniers de Météo France (Météo France 2002) restent à ce jour la référence sur laquelle s'appuient la plupart des études d'évaluation de l'aléa submersion marine cyclonique dans les Antilles françaises. Réalisés il y a une dizaine d'années, ils souffrent toutefois évidemment d'un certain nombre de limitations:

- ils ne tiennent pas compte des surcotes associées aux vagues (wave-setup);
- les cyclones synthétiques générés par la méthode de bootstrap ne constituent pas forcément un ensemble représentatif des événements potentiels susceptibles d'impacter les Antilles Françaises et de leur fréquence d'occurrence. Elle ne permet pas par exemple de tenir compte d'événements plus intenses que ceux qui ont été observés au cours du 20ème siècle. Ainsi, les faibles surcotes obtenues sur la côte Sud-Est de Martinique s'expliquent probablement en partie par l'absence de cyclones historiques de catégorie 4-5 passant juste au sud de la Martinique;
- la résolution bathymétrique (450m) n'est pas toujours suffisante. Elle ne permet pas par exemple de représenter la rivière salée, qui relie en Guadeloupe le Petit- et le Grand-Cul-de-Sac-Marin;
- les conditions aux limites à la côte sont celles d'un mur infiniment haut, ce qui implique souvent une surestimation des surcotes dans la mesure où l'eau ne peut pas s'écouler à terre.

Le projet TSUNAHOULE, financé par l'INTERREG-CARAIBES, avait notamment pour objectif d'établir de nouvelles cartes de surcotes centennales et millénales, en mettant à profit les récents développements apportés par la communauté scientifique en termes de modèles numériques et d'approches statistiques. Nous espérons ainsi améliorer les résultats obtenus précédemment en:

- utilisant une base de données de cyclones synthétiques plus représentative du comportement des cyclones dans le climat actuel, en termes de trajectoire, d'intensité, de taille, et de fréquence d'occurrence;
- en tenant compte de l'effet des vagues à l'aide d'un modèle couplé courants-vagues;
- en utilisant des modèles avec une meilleure résolution à la côte (typiquement 50-60m) à l'aide de maillages non-structurés;
- en améliorant les conditions de bord par la prise en compte de l'inondation

Cette note décrit la méthodologie utilisée pour arriver à cet objectif.

2. Présentation de la méthodologie

Prenons l'exemple de l'évaluation des surcotes centennales en Guadeloupe (voir Figure 1).

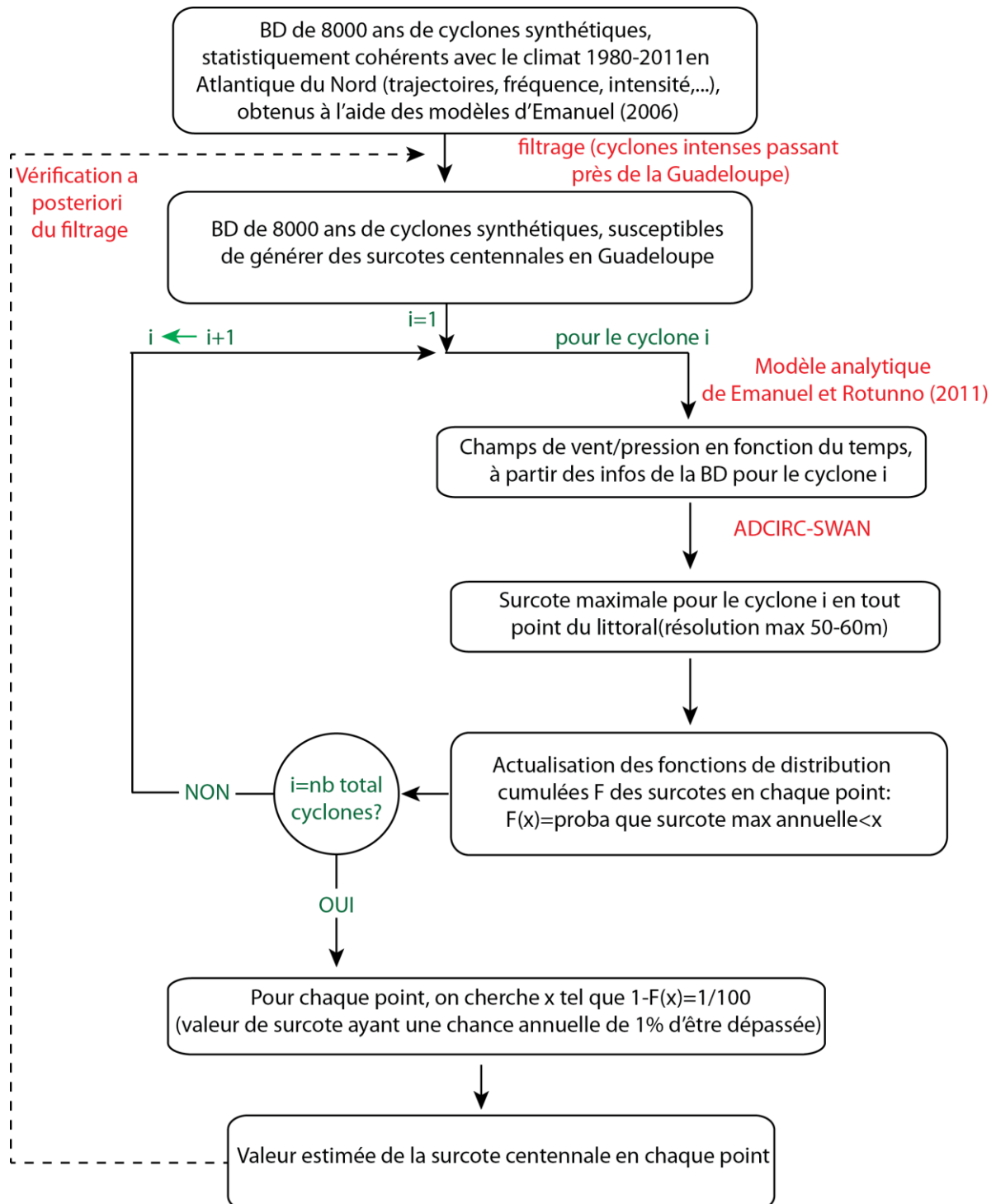


Figure 1 - Représentation schématique de la méthodologie adoptée pour l'évaluation des surcotes centennales en Guadeloupe

L'objectif était tout d'abord de constituer un grand ensemble de cyclones synthétiques passant près de l'archipel guadeloupéen, et présentant les mêmes caractéristiques que le climat actuel, en termes de trajectoire, de fréquence d'occurrence, ou encore d'intensité (voir chapitre 3). Nous nous sommes procuré auprès de l'équipe de Kerry Emanuel du *Massachusetts Institute of Technology* (MIT, USA) plusieurs jeux de données de ce type, notamment un ensemble représentant l'équivalent de 8000 ans de cyclones passant près de la Guadeloupe.

Nous avons ensuite sélectionné les événements susceptibles de générer des surcotes centennales (le lecteur pourra se référer au chapitre 3 pour plus de détails), et nous avons établis les champs de vent et de pression en fonction du temps pour chacun d'entre eux, à l'aide du modèle de Emanuel et Rotunno (2011). Nous avons ensuite forcé le modèle couplé courants-vagues ADCIRC-SWAN avec ces champs afin de déterminer pour chaque événement la surcote maximale atteinte en tout point du littoral, avec des résolutions à la côte de l'ordre de 50-60m (ce modèle sera décrit plus en détails dans le chapitre 0, et on trouvera plusieurs exemples de tests de validation dans le chapitre 7).

Une fois que tous les événements sélectionnés ont été modélisés, nous avons établi en chaque point du littoral la fonction de distribution de la surcote maximale annuelle, et nous en avons déduit de manière empirique les courbes donnant la surcote en fonction de la période de retour. On trouve que la taille de l'échantillon (8000 ans) est suffisamment importante pour ne pas nécessiter le recours à des techniques d'analyse de valeurs extrêmes dans le cas d'une période de retour centennale (chapitre 6). En revanche ceci n'est pas forcément vérifié pour des périodes de retour plus grandes, qui peuvent se trouver dans la queue de la distribution. Nous avons donc déduit de ces courbes uniquement les surcotes centennales.

Enfin, nous nous sommes assurés que les cyclones dont nous n'avons pas tenu compte n'étaient pas en mesure de générer des surcotes supérieures aux surcotes centennales obtenues, et donc que le filtrage réalisé à la première étape n'induisait pas de biais dans les résultats.

Cette méthodologie a été reproduite de la même manière pour les surcotes centennales en Martinique, avec un jeu de données équivalent. Pour les surcotes millénales, nous avons repris tout le travail décrit précédemment avec des jeux de données plus importants, représentant l'équivalent de 50 000 ans.

Tout ce travail a été rendu possible grâce au nouveau cluster dont s'est doté l'Université Antilles-Guyane en juin 2013, qui a tourné en continu pendant plusieurs mois à pleine puissance pour fournir les résultats de cette étude.

3. Une grande base de données de cyclones synthétiques représentatifs du climat actuel

Une nouvelle méthodologie a été développée ces dernières années afin de générer des cyclones synthétiques dont les caractéristiques sont statistiquement cohérentes (du point de vue de la trajectoire, de la taille, de la fréquence, ou encore de l'intensité) avec le comportement des cyclones observés dans le bassin Atlantique-Nord lors des 3 dernières décennies (Emanuel et al. 2006). Cette méthodologie consiste pour l'essentiel à:

- récupérer les données de cyclones historiques (les "best-track data" de la base de donnée HURDAT) disponibles entre 1980 et 2011 pour le bassin Atlantique-Nord
- faire des statistiques sur ces données, afin d'établir par exemple:
 - une fonction de l'espace et du temps $F1$ donnant la densité de probabilité de la localisation de l'origine des cyclones
 - une fonction $F2$ donnant la densité de probabilité des taux de variation de déplacement de l'oeil du cyclone (changements de vitesse et de direction)
 - une fonction $F3$ de densité de probabilité de fin d'un cyclone
- générer des trajectoires de cyclones synthétiques à l'aide de deux méthodes différentes:
 - *chaînes de Markov*: la localisation du point de départ de la trajectoire est établie à l'aide de tirages aléatoires et de la fonction $F1$; la trajectoire en elle même est ensuite déterminée à l'aide de tirages aléatoires et de la fonction $F2$; enfin on détermine quand s'arrête le cyclone à l'aide de la fonction $F3$.
 - *à partir d'un modèle numérique et de champs de vents environnants synthétiques*, établis de manière aléatoire mais qui gardent les mêmes caractéristiques mensuelles (moyenne, variance, covariance) que le climat donné par les réanalyses NCEP/NCAR pendant la période 1980-2011.
- évaluer l'évolution de la pression au centre, la vitesse de vent maximale et le rayon de vent maximal le long de chaque trajectoire à l'aide d'un modèle numérique forcé par des champs de vent environnants synthétiques présentant les mêmes caractéristiques mensuelles que le climat donné par les réanalyses NCEP/NCAR entre 1980 et 2011 (on garde les mêmes que ceux établis précédemment dans le cas des trajectoires qui n'ont pas été générées par des chaînes de Markov, et on en crée de nouveaux dans le cas contraire).

L'utilisation de deux méthodes différentes pour générer des trajectoires permet de bénéficier des avantages de ces deux méthodes tout en limitant leurs inconvénients:

- la méthode des chaînes de Markov donne des trajectoires très réalistes mais qui sont indépendantes des champs de vent environnants utilisés pour évaluer l'évolution de l'intensité des cyclones
- la seconde méthode permet d'établir la trajectoire à partir des mêmes champs de vent qui sont utilisés pour évaluer l'évolution de l'intensité, mais elle donne des trajectoires parfois un peu moins réalistes qu'avec les chaînes de Markov

Cette méthode a été utilisée pour évaluer la vitesse du vent à différentes périodes de retour à Miami, la Nouvelle Orléans, ou encore en Nouvelle Angleterre (Emanuel et Jagger, 2010), mais aussi les période de retour des surcotes, pour la ville de New York par exemple (Lin et al 2012).

Dans le cadre du projet TSUNAHOULE, nous nous sommes procurés comme on l'a vu plusieurs jeux de données de cyclones obtenus par cette méthode, représentant en tout l'équivalent de plus de 50 000 ans d'évènements cycloniques passant à proximité de la Guadeloupe et de la Martinique. Il

n'était malheureusement pas possible de simuler l'ensemble de ces événements avec une bonne résolution, en raison de fortes contraintes de temps de calcul. Nous nous sommes donc contentés de travailler à partir de trois jeux de données uniquement:

- un ensemble de plusieurs milliers d'évènements (cyclones, tempêtes tropicales, dépressions tropicales) passant à moins de 100km de Pointe-à-Pitre (16.23°N, 61.53°W), représentant l'équivalent de 8000 ans de données;
- un ensemble de plusieurs milliers d'évènements passant à moins de 100km de Fort-de-France (14.61°N, 61.07°W), représentant là aussi l'équivalent de 8000 ans de données.
- un ensemble de plusieurs milliers d'évènements (cyclones uniquement) passant à moins de 100km de Pointe-à-Pitre (16.23°N, 61.53°W), représentant l'équivalent de 50 000 ans de données.

Les deux premiers ensembles ont été utilisés pour déterminer les surcotes centennales en Guadeloupe et en Martinique. Nous nous sommes contentés dans ce cas de modéliser les événements dont la vitesse de vent circulaire maximale à proximité des îles était supérieure à 120km/h. Autrement dit, nous avons fait l'hypothèse que les dépressions tropicales, les tempêtes tropicales et les cyclones de catégorie 1 les plus faibles n'étaient pas capables de générer des surcotes centennales.

Le troisième ensemble a été utilisé comme on l'a déjà mentionné pour déterminer les surcotes millennales en Guadeloupe (nous n'avons pas eu encore le temps de faire la même chose pour la Martinique). Nous nous sommes limités dans ce cas de figure aux événements dont la vitesse de vent circulaire maximale à proximité de la Guadeloupe était supérieure à 200km/h. Seuls les cyclones de catégorie 3 les plus forts ainsi que ceux de catégorie 4 et 5 sont considérés comme susceptibles de générer des surcotes millennales.

Nous avons vérifié ces hypothèses *a posteriori*, en comparant les résultats obtenus avec les surcotes maximales générées par des événements de catégorie 1 pour les surcotes centennales, et de catégorie 3 pour les surcotes millennales. De la même façon, nous avons vérifié que le fait de ne pas tenir compte des cyclones passant à plus de 100km de Pointe-à-Pitre et de Fort-de-France n'induisait pas de biais. Le cyclone DAVID (1979), de catégorie 4, qui passe à la limite sud de la zone dans laquelle on tient compte des cyclones pour les études en Guadeloupe, donne par exemple des surcotes significativement inférieures aux surcotes centennales obtenues, y compris à Marie-Galante ou aux Saintes.

Au final, les résultats auront nécessité la modélisation de plus de 1200 cyclones pour la Guadeloupe, et environ 700 cyclones pour la Martinique.

Il convient de remarquer à ce stade que les bases de données utilisées ne contiennent pas à proprement parler de champs de vent/pression: ceux ci doivent être estimés à l'aide de modèles analytiques (Holland 1980, Emanuel et Rotunno 2011, etc) à partir des données qui sont fournies, à savoir la position, la vitesse maximale du vent, le rayon de vent maximum et la pression au centre toutes les 2h.

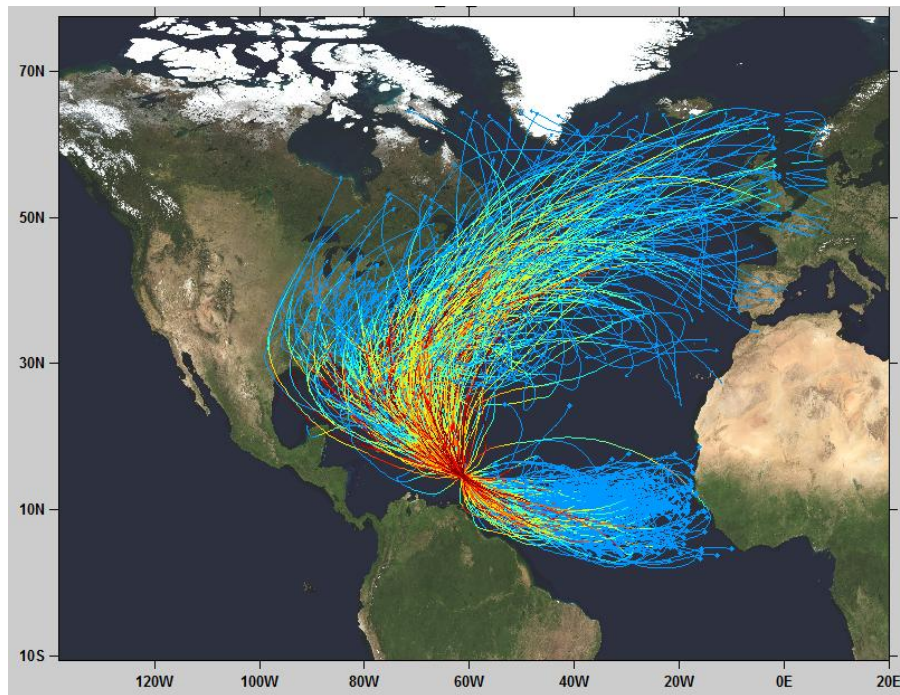


Figure 2 - Exemple de cyclones synthétiques de la base de données impactant la Guadeloupe

4. Modélisation numérique

Chacun des évènements sélectionnés est modélisé par un modèle hydrodynamique afin évaluer les surcotes maximales engendrées. Nous avons opté pour le code ADCIRC-SWAN, qui présente plusieurs avantages:

- il permet l'utilisation de maillages non-structurés(ie à résolution variable spatialement);
- il tient compte du couplage entre les courants et les vagues et de l'ensemble des mécanismes physiques en milieu peu profond, tel que le déferlement ou encore la diffraction;
- il permet de simuler l'inondation à terre;
- il est très largement utilisé aux Etats-Unis pour la prévision des surcotes cycloniques (par la FEMA -la *Federal Emergency Management Agency*- par exemple), et a donc été validé sur un grand nombre d'évènements, comme les cyclones Katrina (2005), Rita (2005), Gustav (2008), ou encore Ike (2008) (voir Dietrich et al 2011, 2012).

4.1.Maillage

L'emprise des domaines de calcul s'étend:

- de 45°W à 65°W et de 9.5°N à 18.3°N pour le maillage Guadeloupe (voir Figure 3)
- de 45°W à 65°W et de 8°N à 17°N pour le maillage Martinique

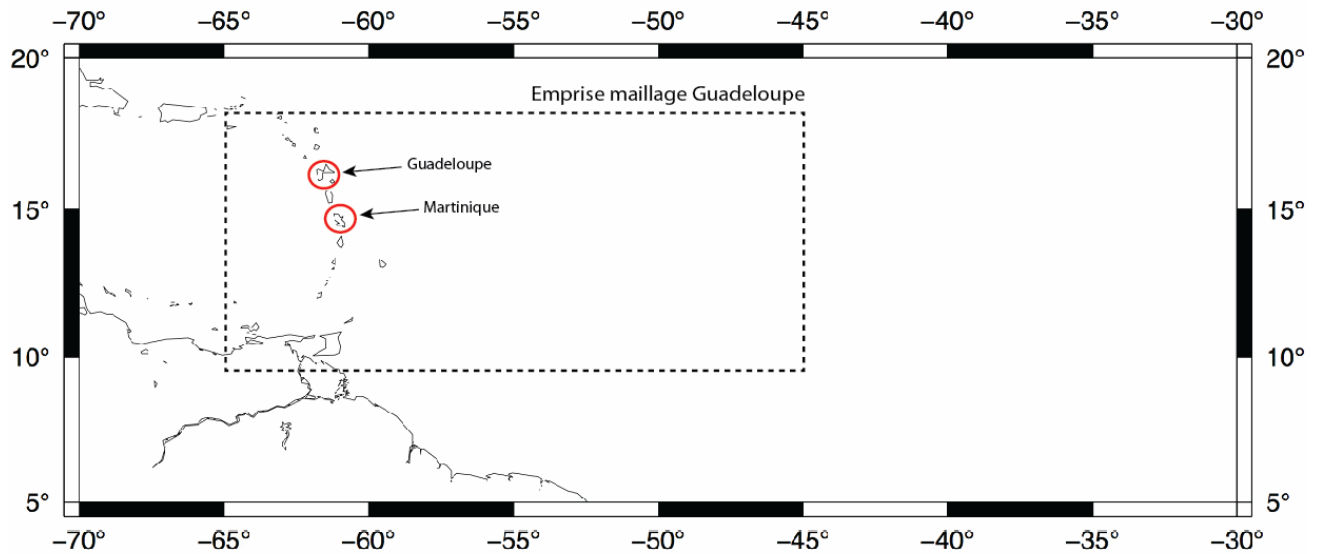


Figure 3 - Emprise du maillage utilisé pour les modèles de Guadeloupe

Les maillages utilisés ont des résolutions variables: de 10km dans l'océan Atlantique, ils vont jusqu'à 50m de résolution environ à la côte et au niveau des barrières de corail (voir Figure 4 et Figure 5), en passant par 2-4km dans l'arc des Petites-Antilles. Les MNT sont construits à partir:

- des données LIDAR (de résolution spatiale 1-5m, résolution verticale environ 10-15cm) fournies par l'IGN, qui couvrent la quasi-totalité du littoral de la Guadeloupe et de la Martinique, à la fois à terre et en mer (jusqu'à environ 30m de profondeur).
- des données topo de l'IGN, dans les rares zones n'étant pas couvertes (résolution spatiale 25m, verticale 1m)
- des données bathymétriques du SHOM (jusqu'à 1000m de profondeur environ)
- des données GEBCO à 30 secondes d'arc au large
- de données ponctuelles réalisées par le LARGE à l'aide d'un sondeur bathymétrique (rivière salée par exemple)

Les niveaux moyens retenus sont ceux de l'IGN88 pour la Guadeloupe, et l'IGN87 pour la Martinique. Bien que cette hypothèse ne soit pas rigoureusement exacte, elle semble raisonnable compte tenu des faibles erreurs que cela implique sur le niveau d'eau initial (rarement plus de quelques centimètres) et du fait qu'il s'agit ici d'un travail à l'échelle régionale, avec des résolutions horizontales de l'ordre de 50-60m à la côte. Nous avons d'ailleurs réalisés plusieurs tests en changeant le niveau moyen de la mer, qui indiquent que les effets sur les surcotes restent relativement faibles tant que les variations ne dépassent pas quelques dizaines de centimètres.

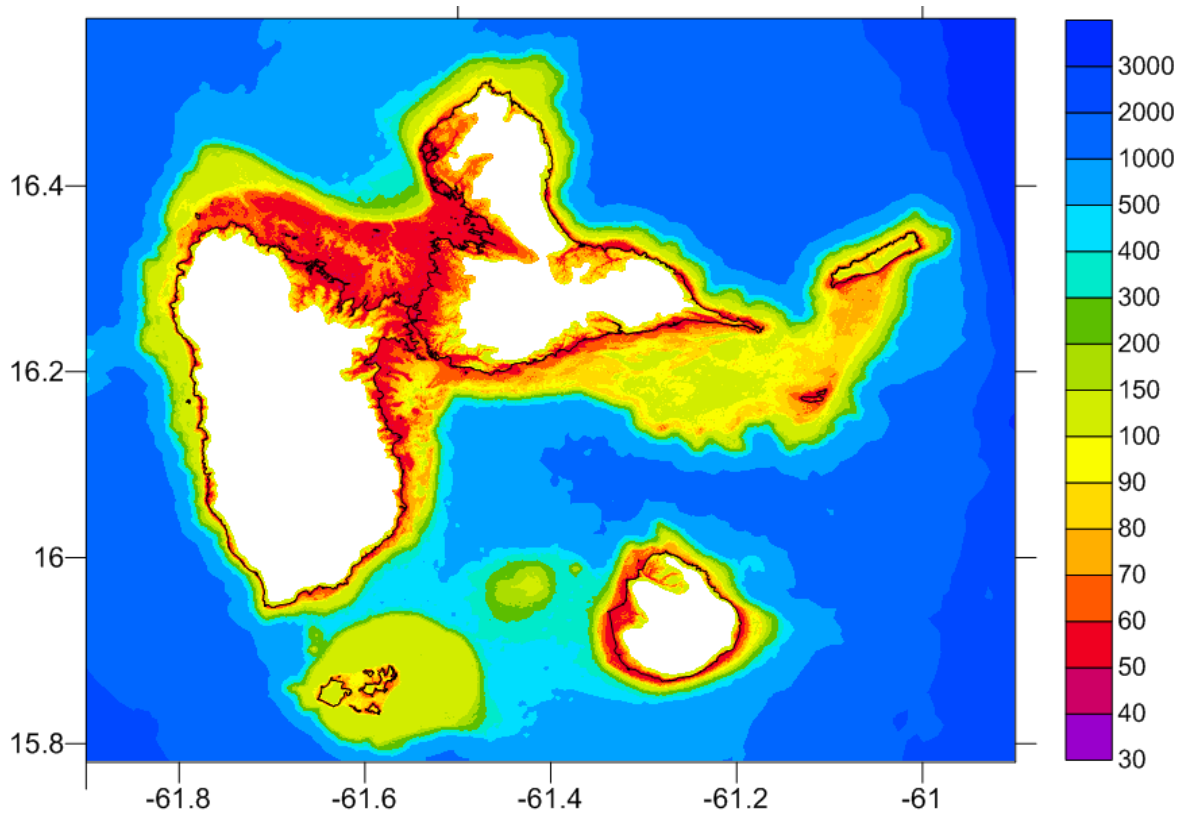


Figure 4 - Résolution du maillage (en m) pour la Guadeloupe

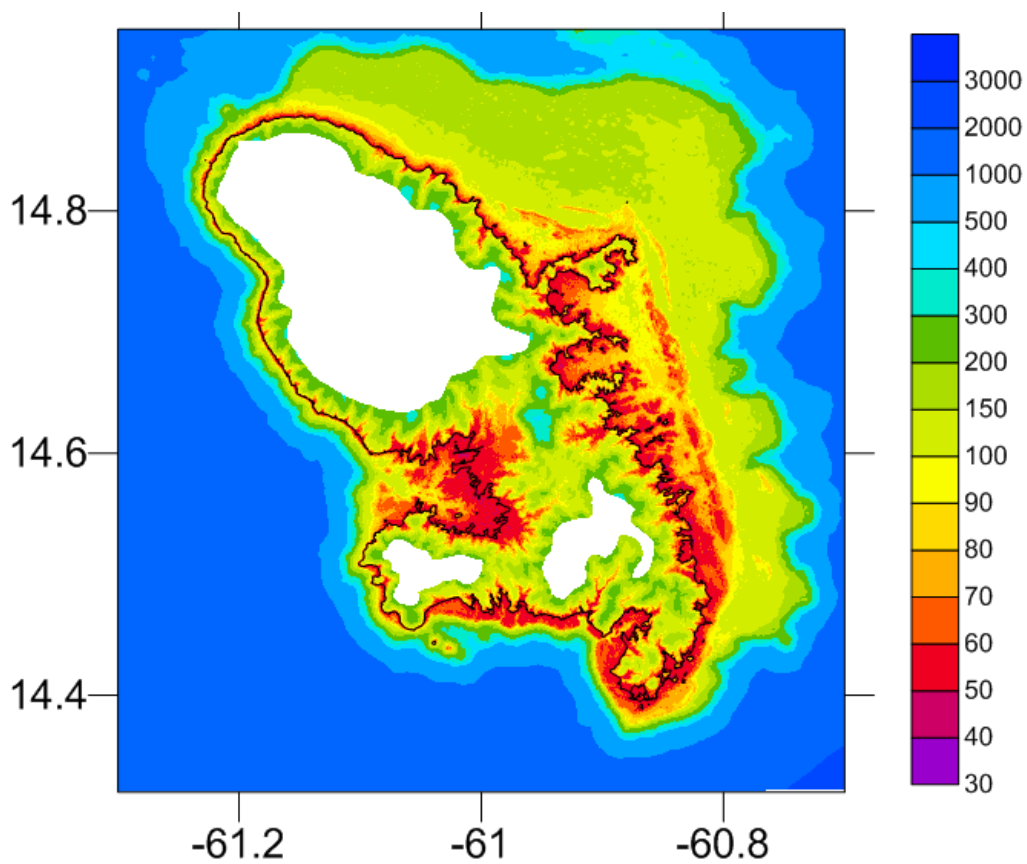


Figure 5 - Résolution du maillage (en m) pour la Martinique

4.2. Inondation à terre

Dans le module d'inondation contenu dans ADCIRC, la friction est calculée en utilisant une formulation de Manning. Nous avons appliqué des coefficients en s'appuyant sur les valeurs trouvées dans la littérature (ex: Zhang et al 2012, Dietrich et al 2011) en fonction de l'occupation du sol (mangroves, zones urbanisées, etc) fournie par les données Corine Land Cover 2006 (Tableau 1).

Occupation du Sol	Coefficient de Manning
Tissus urbain continu, zones industrielles et commerciales, aéroports, réseaux routiers	0.12
Tissu urbain discontinu	0.08
Espaces verts urbain	0.06
Prairies, champs agricoles	0.04
Forêts de feuillus	0.05
Mangroves	0.15
Marais intérieurs, voies d'eau, plans d'eau	0.035
Zones intertidales, lagunes littorales	0.03
Mers et océans	0.02

Tableau 1 - Coefficients de Manning

Rappelons ici toutefois que la résolution maximale à terre est de 50-60m, l'inondation est donc évidemment mal reproduite, notamment dans les zones de fortes variations topographiques (où elle est souvent très sous-estimée). L'intérêt ici est d'une part d'éviter d'appliquer des conditions de "mur" à la côte qui ont tendance à surestimer la surcote, et à mieux reproduire ce qui se passe dans les zones basses relativement planes dans lesquelles le vent peut continuer à pousser les masses d'eau, générant des surcotes potentiellement plus élevées qu'au niveau de la côte.

4.3. Forçage par les champs de vent et de pression

Comme nous l'avons mentionné précédemment, la base de données de cyclones synthétiques ne contient pas de champs de vent/pression à proprement parler, il faut les construire à partir des informations dont on dispose, à savoir la trajectoire, la variation temporelle de la vitesse maximale, du rayon de vent maximal, et de la pression au centre. Nous avons opté pour le modèle analytique d'Emanuel et Rotunno (2011), qui donne de meilleurs résultats que le modèle de Holland (1980) selon plusieurs auteurs (Lin et Chavas 2012). Ce modèle semble d'ailleurs un peu mieux reproduire certaines des observations réalisées lors du cyclone Hugo (voir chapitre 7), même si celles-ci ne permettent pas d'invalider le modèle de Holland. Il a tendance par ailleurs à donner des surcotes un peu plus importantes que le modèle de Holland pour les événements extrêmes (Lin et Chavas 2012), ce qui paraît donc un choix raisonnable dans le cadre d'une approche conservative.

La vitesse du vent V s'écrit:

$$V(r) = \frac{2r(R_m V_m + 0.5fR_m^2)}{R_m^2 + r^2} - \frac{fr}{2}$$

où R_m est le rayon de vent maximum, r la distance au centre du cyclone, V_m la vitesse maximale, et f le paramètre de Coriolis.

Au champ de vitesse symétrique donné par cette relation, on ajoute le vecteur de translation du cyclone multiplié par un facteur 0.55 et pivoté de 19° dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, selon les recommandations de Lin et Chavas (2012). Cette contribution permet de mieux tenir compte de l'asymétrie du cyclone.

Le champ de pression P en surface est lui tiré du modèle de Holland (1980):

$$P(r) = (P_n - P_c) \exp\left(-\left(\frac{r_m}{r}\right)^B\right) + P_c$$

où P_n est la pression à l'infini ($P_n=1013\text{hPa}$), et P_c la pression au centre du cyclone. Le paramètre B est défini par la relation:

$$B = \frac{\rho e V_M^2}{(P_n - P_c)}$$

où ρ est la densité de l'air, et $e=\exp(1)$.

4.4. Marée

Nous ne tenons pas compte ici de la marée, dont l'amplitude est relativement faible dans les Antilles Françaises. Les tests que nous avons menés en changeant le niveau de la mer nous laissent notamment à penser que les effets non-linéaires de la marée sont relativement négligeables.

5. Validation

Bien que le modèle ADCIRC-SWAN ait été largement validé, sur les côtes américaines en particulier, nous avons voulu comparer les résultats obtenus avec les observations pour plusieurs cyclones historiques. L'objectif était non seulement de s'assurer que le modèle fonctionnait correctement, mais aussi d'avoir un ordre de grandeur des incertitudes. Dans ce chapitre nous présentons certains des résultats obtenus pour HUGO(1989), DAVID(1979), ALLEN(1980), et DEAN(2007).

5.1.Cyclone HUGO (1989)

Ce cyclone est celui qui est le plus documenté dans les Antilles Françaises en termes d'observations de surcotes. Si l'on excepte le cyclone de 1928, pour lequel on n'a malheureusement que très peu de données, les autres événements marquant du 20ème siècle tels que LENNY ou DEAN n'ont en effet pas générés de submersions marines importantes. Ce cyclone fait donc office de référence pour ce qui est de la validation des surcotes.

Nous avons contacté Météo France, qui nous a transmis un rapport contenant une synthèse de l'ensemble de leurs observations pour le cyclone HUGO (Météo France 1990). Ce rapport nous a permis de réaliser tout d'abord que la trajectoire données par HURDAT était très approximative au niveau du passage de l'oeil dans l'archipel guadeloupéen (voir Figure 6).

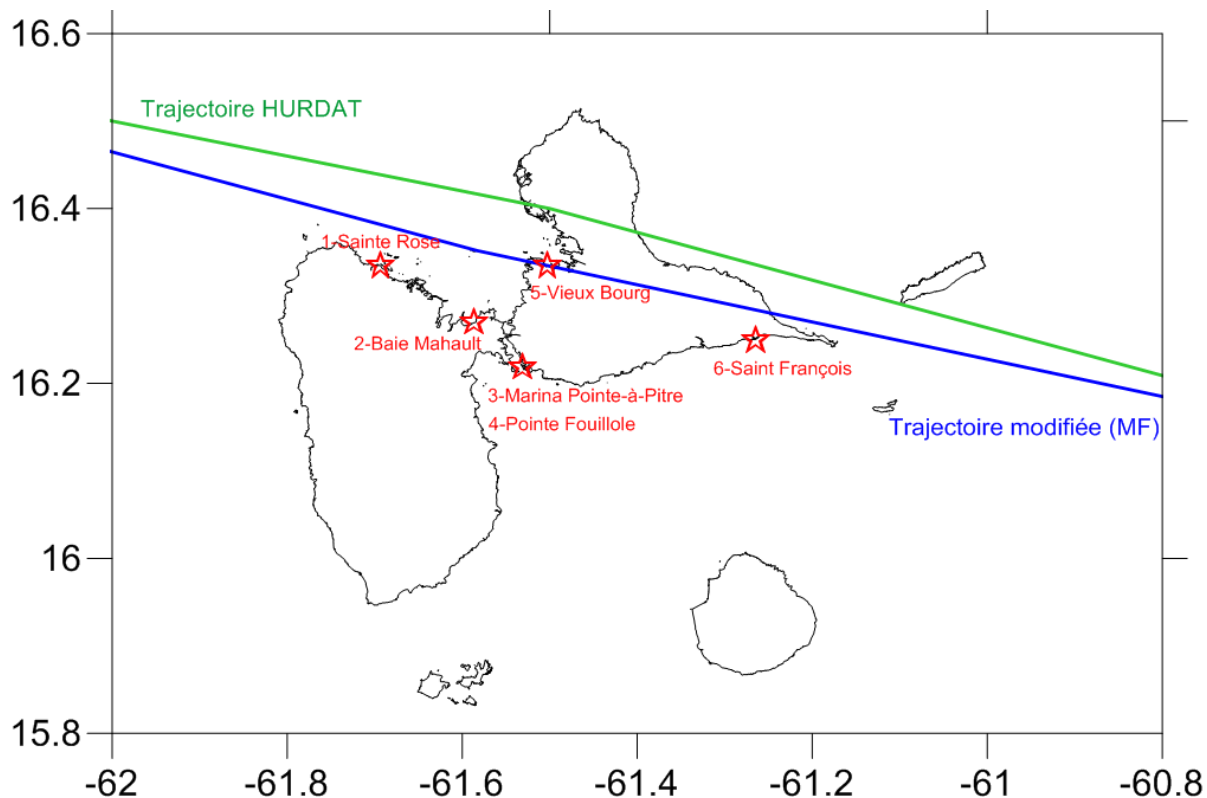


Figure 6 - Trajectoire donnée par HURDAT et trajectoire modifiée d'après le rapport de Météo France (1990) pour le cyclone HUGO (1989). Les marqueurs rouges indiquent les lieux pour lesquels on a des estimations de la surcote maximale atteinte

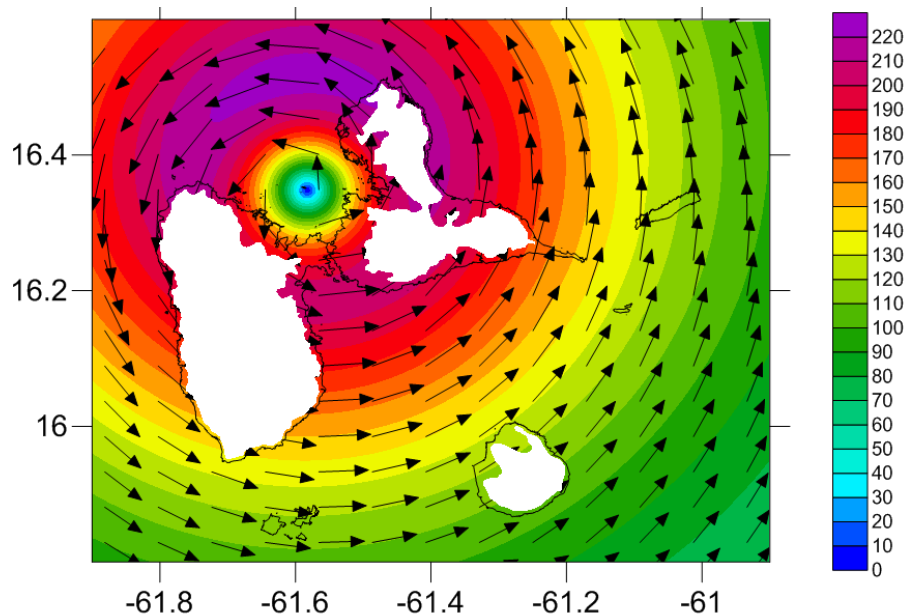
Les erreurs sur la position à un instant donné sont de l'ordre de 10km, ce qui n'est pas acceptable pour reproduire un évènement cyclonique en termes de vagues ou de surcotes. Nous avons donc modifié la trajectoire donnée par HURDAT en tenant compte des éléments contenus dans le rapport (voir Figure 6). Ce dernier nous a permis par ailleurs d'obtenir une valeur pour le rayon de vent maximal: 18.5km. En l'absence d'informations complémentaires, les valeurs de pression au centre et de vitesses maximales sont elles tirées de HURDAT.

La première question qui se posait était de savoir si les champs de pression obtenus étaient conformes aux observations:

- Au Raizet, la valeur minimale de pression à été mesurée à 941hPa à 1h30, heure locale. Le modèle semble bien calé puisque l'on retrouve effectivement ce minimum à l'heure indiquée.
- A Baie Mahault, située à 10km de la trajectoire, la pression minimale à été mesurée à 945hPa à 2h10, heure locale. Le modèle donne 949hPa à cette heure, le minimum (de 946hPa) étant obtenu à 2h
- A Petit-Bourg, située à environ 17km de la trajectoire, la pression minimale à été mesurée à 951hPa à 2h, heure locale. Le modèle donne environ 967hPa à cette heure (969hPa au minimum, à 1h50).

Ces résultats confirment que le modèle reproduit raisonnablement les pressions au passage de l'oeil si on reste proche de la trajectoire (moins de 15km). En revanche, plus on s'éloigne, plus on a tendance à surestimer les pressions. Il est malheureusement difficile de dire à ce stade si ces écarts viennent du modèle analytique utilisé, ou des paramètres du cyclone. La pression minimale au passage de la Guadeloupe peut être sous-estimée par exemple dans les données HURDAT: on n'a en effet aucune observation au niveau de la trajectoire. Par ailleurs, des résultats plus proches de la réalité pourraient être obtenus avec un rayon de vent maximal plus élevé que celui donné dans l'étude de Météo France. Ne sachant pas comment la valeur de 18.5km a été établie, il nous est difficile de conclure. Notons cependant que le modèle analytique adopté pour le calcul des pressions est celui de Holland (1980). S'il sous-estime les pressions loin de l'oeil, on peut penser que les vents sont eux aussi sous-estimés par ce modèle.

La Figure 7 montre les champs de vent obtenus par les formules de Holland (1980) et Emanuel et Rotunno (2011) le 17 septembre à 6h (TU).



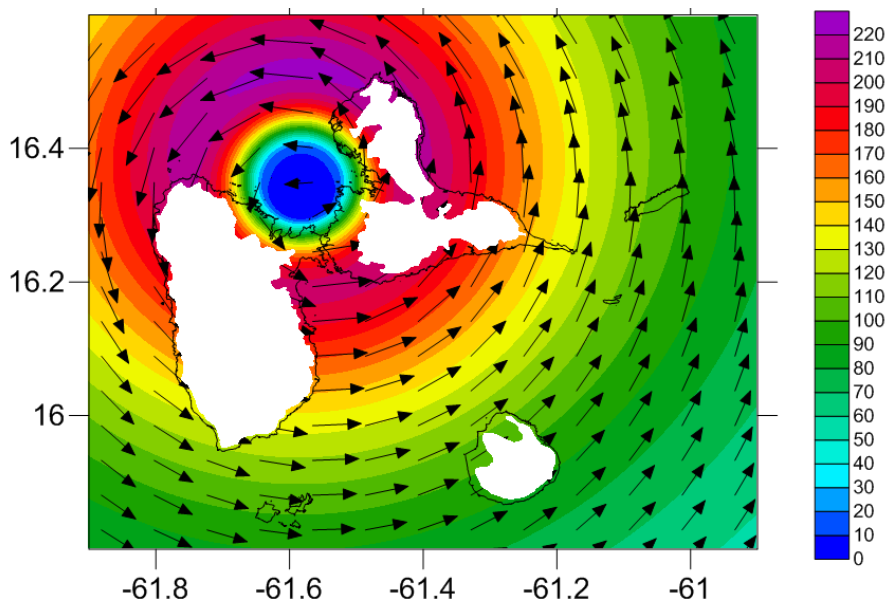


Figure 7 - Champs de vent (en km/h) obtenus par les modèles de Emanuel et Rotunno (en haut) et par celui de Holland (en bas) le 17 septembre à 6h (TU)

On constate que la formule de Holland donne des vents qui diminuent beaucoup plus rapidement en intensité à mesure que l'on s'éloigne du rayon de vent maximum (à 18.5km du centre de l'oeil). Malgré ces différences importantes, les données de vitesse de vent du rapport de Météo France ne permettent pas réellement de trancher entre les deux modèles. En effet l'anémomètre du Raizet a cessé de fonctionner à l'arrivée du cyclone, et les quelques mesures à terre (Destrellan, Basse-Terre, etc) sont difficilement comparables avec les champs de vent obtenus à cause des effets locaux de relief (effets venturi, obstacles, etc) qui peuvent modifier les vitesses du vent local de plusieurs dizaines de kilomètres heure. On constate néanmoins que les ordres de grandeur sont corrects, en particulier pour le modèle d'Emanuel et Rotunno. Par exemple, à Basse-Terre, les vitesses de vent maximales observées sont de 160-180km/h. Avec le modèle d'Emanuel et Rotunno on obtient un vent soutenu de 150km/h, ce qui correspond à des rafales d'environ 180km/h (si l'on considère un facteur de 1.2 entre les deux, voir Météo France 1990). Avec le modèle de Holland, on obtient des valeurs sensiblement plus faibles (130km/h pour un vent moyenné à 1mn, ce qui correspond à des rafales d'environ 156km/h), ce qui pourrait indiquer que les vents sont légèrement sous-estimés.

Les surcotes maximales générées par ces deux modèles sont représentées sur la Figure 8.

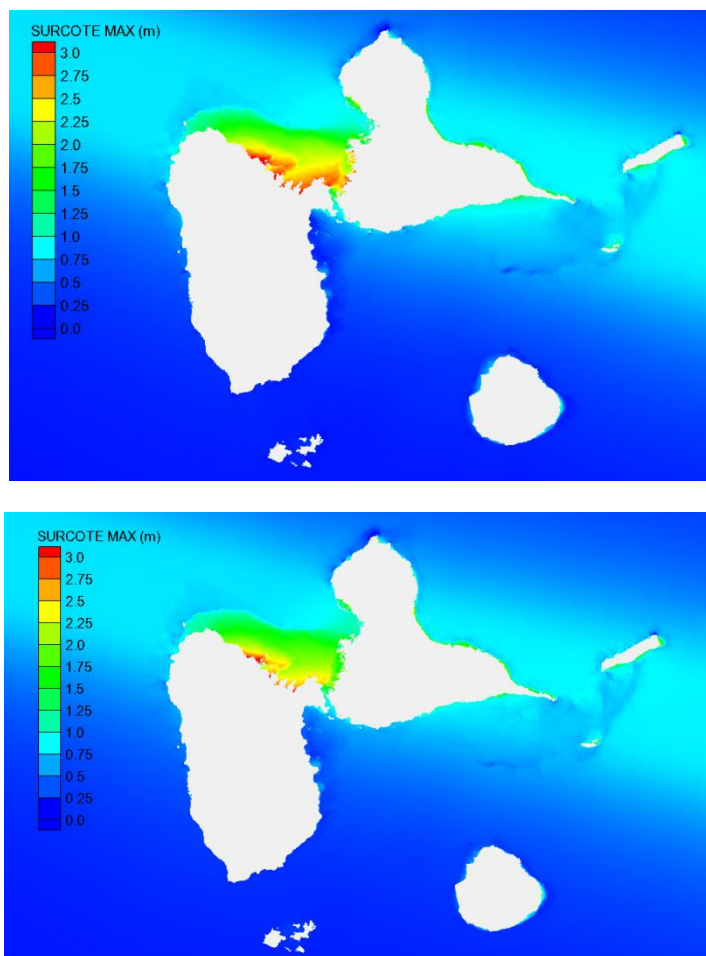


Figure 8 - surcotes maximales (en m) obtenues pour le cyclone HUGO par les modèles d'Emanuel et Rotunno (en haut) et de Holland (en bas)

On constate que le modèle d'Emmanuel et Rotunno donne des valeurs plus élevées, sauf là où les vents maximaux ont plutôt tendance à pousser les masses d'eau vers le large, comme au niveau de Petit-Bourg. Les différences (Figure 9) sont de l'ordre de 10-20cm en moyenne à la côte, mais elles peuvent atteindre des valeurs beaucoup plus importantes à certains endroits (jusqu'à 1m).

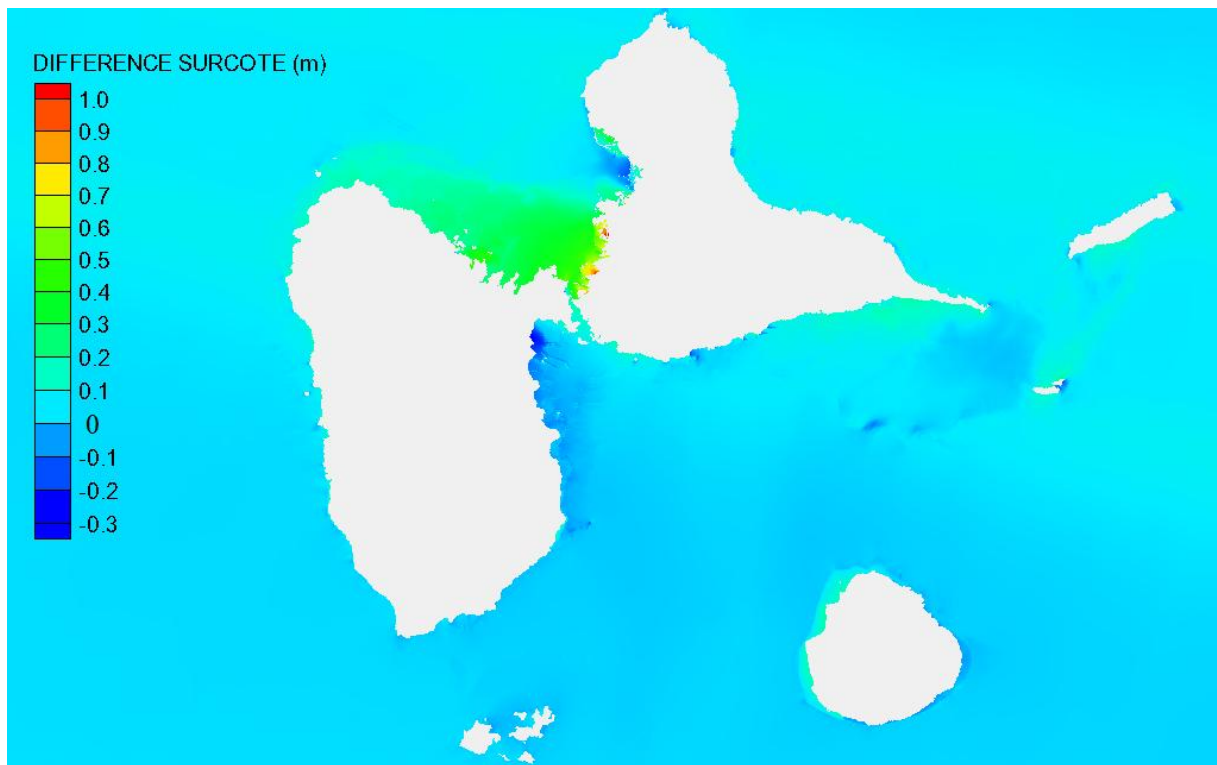


Figure 9 - différence entre la surcote maximale calculée par le modèle d'Emanuel et Rotunno et celle donnée par le modèle de Holland

Plusieurs observations de surcotes ont été faites (Météo France 1990, Saffache et al 2003), que l'on peut comparer aux résultats des deux modèles:

- le marégraphe de la Pointe Fouillole (61.5319°W 16.2244°N) indique que le maximum de surcote s'est produit vers 6h20 (heure locale), et que celle ci a dépassé les 70cm. Le modèle d'Emanuel et Rotunno donne un maximum de 79cm et celui de Holland de 72cm à 6h30.
- à Saint François, la surcote dans la marina (61.268°W 16.253°N) a été évaluée à 1.5m. Le modèle d'Emanuel et Rotunno donne une valeur de 1.6m, et celui de Holland, de 1.55m.
- à Baie Mahault, la ligne de flottaison du navire "Bertina" qui s'est échoué pendant le cyclone (61.592°W , 16.267°N) est située à 2.5m au niveau du plan d'eau. Le modèle d'Emanuel et Rotunno donne une surcote maximale de 2.8m, et celui de Holland, de 2.55m.
- à Sainte Rose, la surcote a été évaluée à 3m environ. Le modèle d'Emanuel et Rotunno donne une valeur de 2.35m, et celui d'Holland, de 2.15m.
- le PPR de Morne-à-l'eau indique un bâtiment pour lequel l'eau aurait atteint le bas des volets mécaniques (61.5101°W , 16.3423°N). En se rendant sur place, et en évaluant l'altitude de la rue à l'aide des données lidar, on estime que l'eau a atteint environ 2m au dessus du niveau moyen. Cette valeur est à prendre avec de grandes précautions, étant donné qu'on ne sait pas exactement s'il s'agit d'un niveau d'eau moyen, ou de l'altitude maximale jusqu'où sont

montées les vagues à l'endroit considéré. Par ailleurs, on ne tient pas compte de la marée dans les modèles, et la méthode d'évaluation de l'altitude est approximative. On a donc des incertitudes sur la valeur qui peuvent atteindre voire dépasser les 50cm. L'ordre de grandeur nous permet toutefois de s'assurer que les résultats des modèles ne sont pas aberrants: le modèle d'Emanuel et Rotunno donne une surcote de 1.75m, et celui de Holland de 1.6m.

- les pontons flottants de la Marina de Pointe-à-Pitre se seraient élevés de 1.5m (Météo France 1990). On ne sait malheureusement pas où exactement a été faite cette observation. En effet les surcotes peuvent varier sensiblement selon que l'on se situe au niveau des restaurants ou de l'aquarium. Les modèles de Holland et Emanuel et Rotunno donnent des valeurs de 1m et 1.1m environ respectivement au niveau du restaurant "la route du rhum" (61.528°W, 16.221°N). Elles devraient être plus élevées (et donc mieux correspondre aux observations) au fond de la marina, près de l'aquarium. Malheureusement le maillage n'a pas une résolution suffisante pour laisser passer l'eau entre la marina et la pointe de Bas-du-Fort (il faudrait pour cela des résolution de l'ordre de 30m), ce qui ne permet pas de tirer de conclusions, si ce n'est que l'ordre de grandeur, une fois de plus, semble correct.

On constate donc que les résultats obtenus sont tout à fait corrects pour les deux modèles. Les observations ne permettent pas en revanche de sélectionner un modèle plutôt que l'autre. On ne dispose en effet pas de données dans les zones où les prédictions sont très différentes, à savoir sur la côte ouest de Grande-Terre, entre l'aéroport et le sud de Vieux Bourg.

5.2.Cyclone DEAN (2007)

Le cyclone DEAN n'a pas généré de surcotes très importantes, il ne nous permet donc pas de tirer beaucoup plus d'enseignements de ce point de vue que HUGO. En revanche, c'est un cyclone qui peut servir de référence pour tester les modèles de houle. En effet, on dispose d'enregistrements de plusieurs houlographes pendant l'évènement: celui de Sainte Lucie, de Fort-de-France, de Basse Pointe, sans compter les enregistrements effectués par les bouées de la NOAA.

De la même manière que pour HUGO, nous avons demandé à Météo France de nous fournir le maximum de données possible sur DEAN. Comme nous l'avons vu en effet, les erreurs de HURDAT sur la trajectoire peuvent atteindre les 10km, ce qui n'est pas optimal pour valider des modèles. Nous n'avons malheureusement pas encore de retour, les résultats qui seront présentés ici le seront donc en se basant sur les données HURDAT uniquement. Compte tenu de la forte asymétrie de DEAN lors de son passage au large de la Martinique, nous avons par ailleurs choisi d'utiliser le modèle de vent de Mattocks et Forbes (2008) plutôt que celui de Holland ou Emanuel et Rotunno, qui conviennent mal à des évènements ayant un rayon de vent maximal variant de manière importante selon la direction, comme c'est le cas ici.

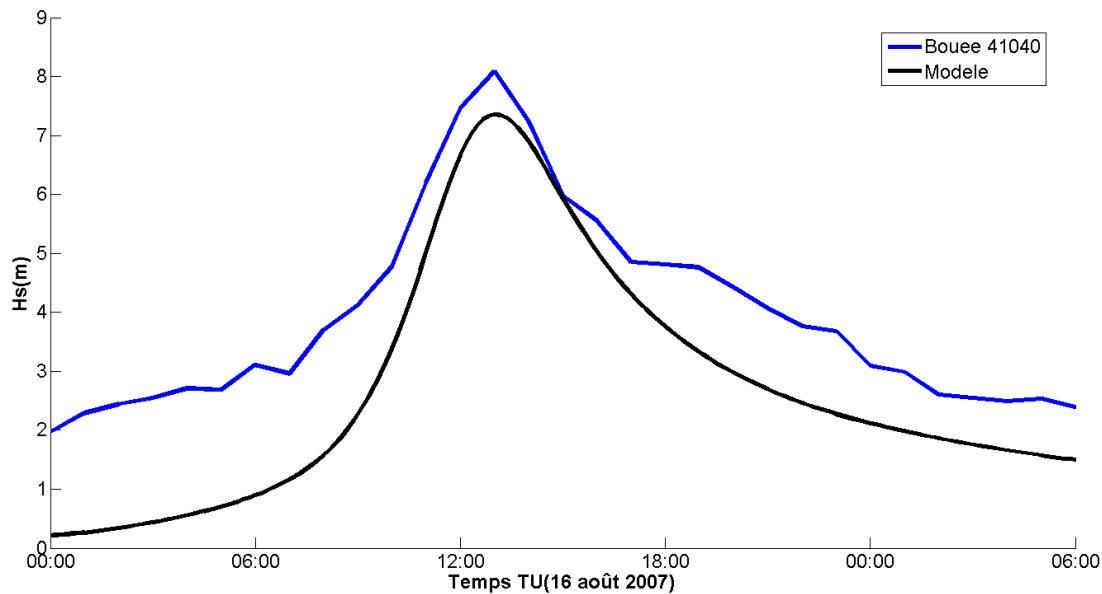


Figure 10 - Hauteur significative (en m) de la houle au passage du cyclone DEAN à la bouée 41040 de la NOAA (coordonnées 53.024°W 14.516°N)

La Figure 10 montre la hauteur significative de la houle au passage de DEAN à la bouée 41040 de la NOAA. On constate que le pic est bien calé temporellement et qu'il reproduit la hauteur significative maximale avec une erreur de moins de 10%, ce qui est tout à fait correct.

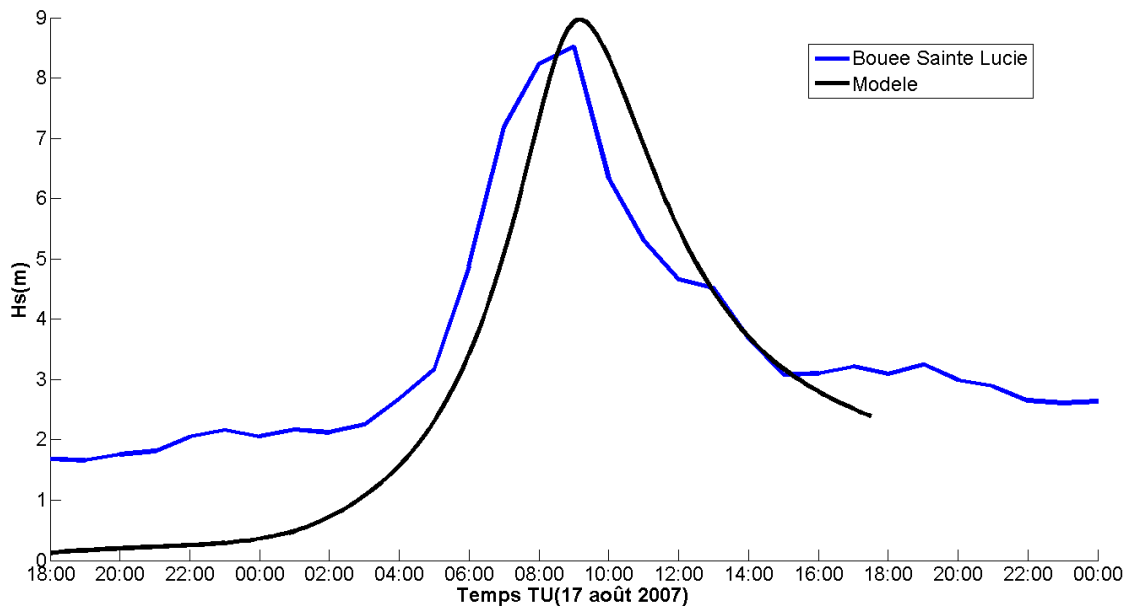


Figure 11 - Hauteur significative (en m) de la houle au passage du cyclone DEAN au houllographe de Sainte Lucie (coordonnées 60.9345°W 14.1763°N)

Les résultats sont tout aussi satisfaisants au houlographe de Sainte Lucie. Si le pic de houle est un peu décalé temporellement, d'environ 20mn (ce qui peut parfaitement s'expliquer si les données HURDAT contiennent des erreurs de plusieurs kilomètres sur la position à un instant donné), la valeur maximale est elle correcte à environ 7%.

Les houles générées par le cyclone sont nettement moins fortes dans la baie de Fort-de-France, le signal est donc plus dépendant des vents synoptiques, dont on ne tient pas compte dans le modèle.

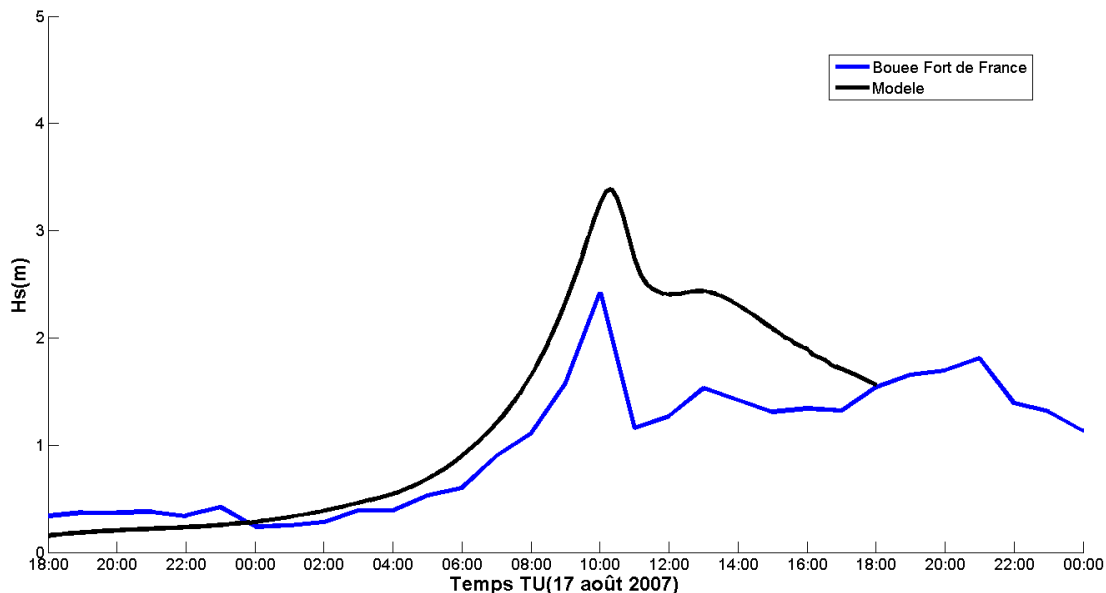


Figure 12 - Hauteur significative (en m) de la houle au passage du cyclone DEAN au houlographe de Sainte Lucie (coordonnées 61.09717°W 14.54817°N)

Les écarts observés au houlographe de Fort-de-France sont donc un peu plus marqués que pour les autres bouées, mais ils restent tout de même tout à fait raisonnables puisqu'ils ne dépassent pas 1m. Par ailleurs, le pic est relativement bien calé temporellement, et la forme de la courbe est d'une manière générale bien reproduite

Nous n'avons malheureusement pas pu nous procurer les données pour la bouée de Basse-Pointe (61.1146°W, 14.8905°N). Néanmoins, selon Barras et al (2008), des vagues de plus de 8m auraient été enregistrées. Là encore, ces valeurs correspondent bien aux estimations du modèle, puisque celui-ci donne des hauteurs significative de 7.7m au moment du pic.

5.3.Cyclone DAVID (1979)

D'après Daniel (1996), la surcote observée lors du cyclone DAVID est de 37cm au marégraphe de la Pointe Fouillole. En l'absence d'information complémentaire, nous avons modélisé ce cyclone en nous appuyant une fois de plus sur les données HURDAT. Cet évènement passant relativement loin des côtes guadeloupéennes, on peut espérer que les incertitudes sur la trajectoire auront un effet

plus faible sur les résultats. En revanche, HURDAT ne renseigne pas sur le rayon de vent maximum. En prenant la même valeur que pour HUGO (18.5km), qui est d'intensité équivalente, nous trouvons une surcote au niveau du marégraphe de 43cm pour le champ de vent d'Emanuel et Rotunno, ce qui est tout à fait correct. Il faudrait cependant cette fois encore reprendre ce calcul avec des données complémentaires.

5.4.Cyclone ALLEN (1980)

Toujours selon Daniel (1996), la surcote atteinte au niveau du marégraphe du Robert lors du cyclone ALLEN est de 59cm. En partant cette fois encore des données HURDAT, et en prenant une valeur "moyenne" de 20km pour le rayon de vent maximal, on trouve une surcote de 48cm en appliquant le modèle d'Emanuel et Rotunno, ce qui est tout à fait satisfaisant. Les résultats seraient encore meilleurs si l'on avait choisi un rayon de vent maximal plus élevé, mais l'objectif ici, comme pour le cyclone DAVID, est de s'assurer que l'ordre de grandeur est correct. Nous tâcherons par la suite de récupérer des informations complémentaires pour mieux contraindre encore les modèles.

6. Analyse statistique

L'évaluation de la surcote à différentes périodes de retour se fait de manière empirique. Pour chaque point du maillage, on procède de la manière suivante:

- on attribue initialement une valeur de 0 à la surcote maximale atteinte chaque année pendant 8000 ans ou 50 000 ans, selon le jeu de données considéré;
- pour chaque cyclone modélisé, on attribue à une année la valeur de surcote maximale obtenue au point considéré;
- une fois que l'on a tenu compte de l'ensemble des évènements, on peut déterminer la fonction de répartition $F(x)$ définie comme la probabilité que la surcote annuelle maximale soit inférieure à x . $F(x)$ est égale au nombre d'évènements (ou au nombre d'années) pour lesquels la surcote atteinte est inférieure à x , divisé par le nombre total d'années (ici 8000 ou 50 000);
- en écrivant que la surcote x correspondant à une période de retour T vérifie la relation:

$$1 - F(x) = \frac{1}{T}$$

(la surcote centennale sera donc la valeur de surcote qui a une chance sur 100 d'être dépassée chaque année), on en déduit des courbes du type de celle présentée sur la Figure 13.

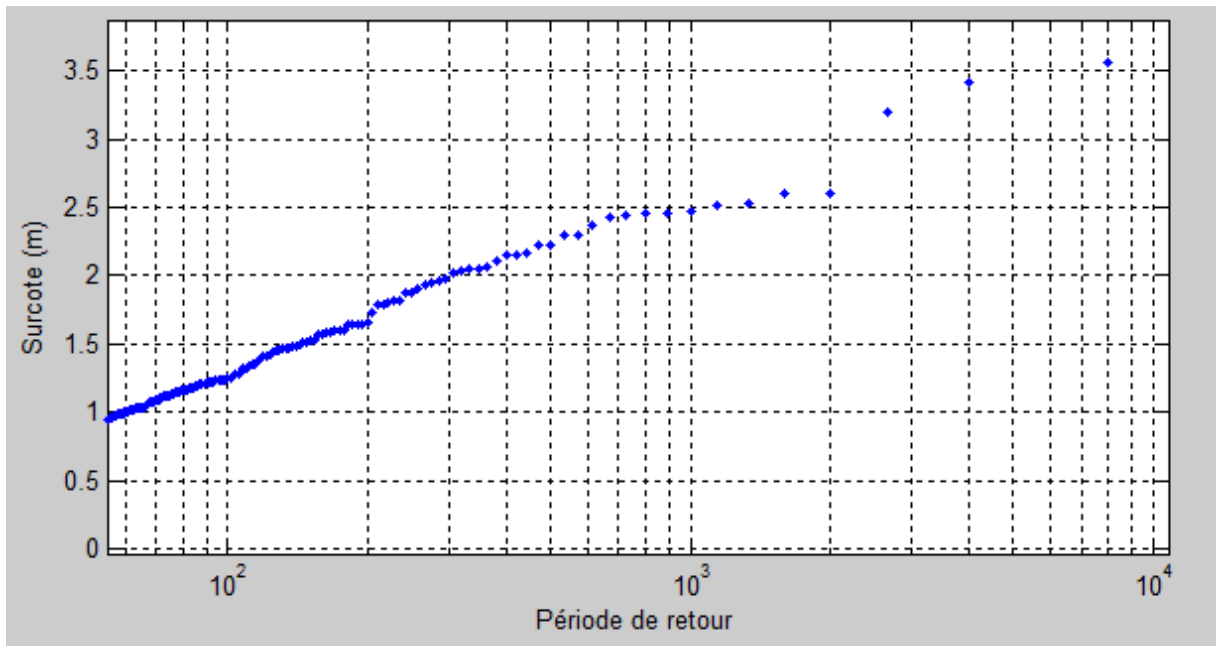


Figure 13 -Exemple de surcote (en m) pour différentes périodes de retour (en années) pour un point situé dans la baie du Robert (Martinique), à partir d'un jeu de données représentant l'équivalent de 8000 ans.

- on déduit de cette courbe la surcote correspondant à une période de retour donnée. Par exemple, la surcote centennale au point pour lequel la Figure 13 a été établie est d'environ 1.25m.

Ces courbes permettent de vérifier que les surcotes correspondant à la période de retour qui nous intéresse (par exemple centennale pour la Figure 13) ne se trouve pas dans la queue de la distribution, donc que la taille de l'échantillon est largement suffisante pour ne pas avoir à se livrer à des analyses statistiques d'extrême.

7. Discussion

Nous concluons cette note en faisant quelques remarques.

- Si les tests réalisés jusqu'à présent semblent indiquer que les modèles numériques mis en place dans le cadre du projet TSUNAHOULE sont performants, les données dont on dispose sur les évènements historiques ne sont pas suffisamment nombreuses ni suffisamment fiables pour pouvoir réellement estimer les incertitudes du modèle. Les tests réalisés pour HUGO sont à ce titre assez éloquentes: ils n'ont pas permis de choisir entre les modèles de vent de Holland et d'Emanuel et Rotunno (même si l'on a des raisons de penser que le premier sous-estime un peu les vents), alors même que les différences de surcote peuvent atteindre localement les 1m. Toutefois, on peut s'attendre à ce que des statistiques sur un grand nombre d'évènements et de trajectoires différentes "moyennent" les résultats, et que les écarts entre tel ou tel modèle n'excèdent pas les écarts moyens observés pour HUGO (à savoir 10-20cm).

- Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude ne peuvent pas être utilisés pour estimer des valeurs de surcote pour des périodes de retour inférieures à 100 ans, dans la mesure où on n'a sélectionné que les événements susceptibles de générer des surcotes au moins centennales. On n'a pas modélisé de tempêtes tropicales par exemple, qui contribuent de manière importante aux surcotes décennales.
- Les bases de données contiennent des cyclones qui se déplacent vers l'est, conformément à ce qui est observé. On peut penser toutefois que ces événements ne sont pas suffisamment nombreux pour être correctement représentés dans les modèles de Emanuel et al. (2006). Ceci n'est pas gênant pour l'étude qui nous concerne, dans la mesure où ces cyclones ne contribuent que de manière marginale aux résultats.
- L'expérience montre que les données lidar ne sont pas toujours parfaites. Il reste des zones où la couverture est moins bonne, et il est probable que l'on retrouve des erreurs localement, notamment à terre lorsqu'il y a un important couvert végétal. Il n'a évidemment pas été possible dans le cadre de cette étude de vérifier le MNT obtenu en chaque point, compte tenu de l'étendue de la zone d'étude. A ce titre, le travail réalisé doit être considéré comme un travail à l'échelle "régionale".
- Si la résolution (50-60m) est bien meilleure que pour les études précédentes, elle ne permet pas toujours de bien représenter la configuration locale de la côte (voir les tests menés sur le cyclone HUGO à la marina du Gosier) ou encore l'inondation à terre, notamment dans les zones de fortes variations topographiques. Il peut être envisageable d'utiliser les résultats de cette étude comme données d'entrée dans des modèles locaux de meilleure résolution (1-2m en milieu urbain) pour produire des cartes d'inondation satisfaisantes.

8. Bibliographie

Barras, A.V., Oliveros, C., Joseph, B., Marimoutou, C. (2008). Inventaire et caractérisation des impacts de la houle sur le littoral de la Martinique au passage de l'ouragan DEAN (17 août 2007). Rapport BRGM/RP-55954-FR

Daniel (1996). A real-time system for forecasting hurricane storm surges over the French Antilles. *Coastal and Estuarine Studies*, 51, 146-156

Dietrich, J.C. et al. (2011). Hurricane Gustav (2008) Waves and Storm Surge: Hindcast, Synoptic Analysis, and Validation in Southern Louisiana. *Mon. Wea. Rev.* (139): 2488-2522

Dietrich, J.C. et al. (2012). Performance of the Unstructured-Mesh, SWAN+ADCIRC Model in Computing Hurricane Waves and Surge. *J. Sci. Comput.*, 52 (2), 468-497

Emanuel, K., Jagger, T. (2010). On Estimating Hurricane Return Periods. *Journal of Appl. Meteor. and Clim.*, 49 (5): 837-844

Emanuel, K., Ravela, S., Vivant, E., Risi, C. (2006). A statistical deterministic approach to hurricane risk assessment. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 87, 299-314

Emanuel, K., Rotunno, R. (2011). Self-stratification of tropical cyclone outflow. Part I: Implications for storm structure. *J. Atmos. Sci.*, 68, 2236-2249

Holland, G.J. (1980). An Analytic Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes. *Mon. Wea. Rev.*, 108, 1212-1218

Lin, N., Emanuel, K., Oppenheimer, M., Vanmarcke, E. (2012). Physically based assessment of hurricane surge threat under climate change. *Nature Climate Change*, 2, 462-467

Lin, N., Chavas, D. (2012). On hurricane parametric wind and applications in storm surge modeling. *J. Geophys. Res.*, 117(D9)

Mattocks, C., Forbes, C. (2008). A real-time, event-triggered storm surge forecasting system for the State of North Carolina. *Ocean Modelling*, 25 (3-4), 95-119

Météo-France (1990). L'ouragan Hugo. Service Météorologique Interrégional Antilles-Guyane

Météo France (2002). Evaluation du risque lié aux surcotes cycloniques sur les Antilles Françaises.

Saffache, P., Marc, J.-V., Huyghes-Belrose, V. (2003). Les cyclones en Guadeloupe : quatre siècles cataclysmiques. IBIS Rouge Editions, Martinique.

Zhang, K. et al. (2012). The role of mangroves in attenuating storm surges. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 102-103, 11-23

NOTE SUR LE CALCUL DE LA POPULATION PERMANENTE EN ZONE INONDABLE

1 – RAPPELS SUR LA METHODE UTILISEE AU NIVEAU NATIONAL

Lors de la mise en œuvre de la phase cartographie de la Directive Inondation en France, la Direction Générale de la Prévention des Risques a commandé au CETE Méditerranée la définition des méthodes de calcul et la réalisation de semis de points avec une estimation du nombre d'habitants.

Ce semis de points doit être mis à disposition des services chargés de la réalisation des cartes de risques d'inondations dans chaque Territoire à Risque important d'Inondation, afin qu'ils puissent estimer la population dans chaque surface inondable cartographiée.

Avant de généraliser les calculs de répartition de population sur un semis de point à l'échelle nationale, le CETE Méditerranée a testé trois méthodes différentes :

- méthode 1 : répartition de la population carroyée au prorata des surfaces ;
- méthode 2 : répartition de la population carroyée au prorata des surfaces développées des bâtiments de la BD Topo de l'IGN ;
- méthode 3 : répartition de la population carroyée au prorata des surfaces d'habitation des parcelles de la base MAJIC.

Le rapport *Directive Inondation – Méthode de calcul des populations et mise en œuvre sur les TRI* du CETE Méditerranée (septembre 2013) présente une étude comparative de ces méthodes.

C'est la méthode 3 qui a finalement été retenue pour le territoire métropolitain. Cette méthode mobilise les fichiers fonciers (dits « MAJIC »), car saisis par l'application « Mise A Jour des Informations Cadastreales » du ministère chargé des finances. Le rapport précité présenté également le détail de la mise en œuvre de cette méthode.

Pour la Guadeloupe en raison de la non-disponibilité des fichiers MAJIC, la méthode 2 a été retenue.

2 – METHODE UTILISEE POUR LA GUADELOUPE

La méthode consiste à répartir la population sur le bâti de la BD Topo, en fonction de la surface développée de chaque bâtiment. La population carroyée n'étant pas disponible, c'est la population communale qui a été répartie.

Données d'entrée :

- Populations légales 2010 INSEE (population communale : <http://www.insee.fr/fr/ppp/bases-de-donnees/recensement/populations-legales/>)
- Bâtiments issus de la couche "BATI_INDIFERENCIE" de la BD Topo 2012 (IGN)

Méthode :

1/ Sélection des bâtiments d'habitation parmi le BATI_INDIFERENCIE de la BD Topo

2/ Répartition de la population de chaque carreau sur les bâtiments sélectionnés

On utilise pour cela la surface développée du bâtiment, que par hypothèse nous ferons correspondre à la surface « habitable » du bâtiment :

$$S_{DEV} = S_{BAT} \cdot \left(\frac{H_{BAT}}{3} \right)_{\text{entier.inférieur}} \quad \text{si } H_{BAT} \geq 3\text{m}$$

$$S_{DEV} = S_{BAT} \quad \text{si } H_{BAT} < 3\text{m}$$

- SDEV = Surface développée du bâtiment, en mètres
- SBAT = Surface au sol du bâtiment, en mètres
- HBAT = Hauteur du bâtiment, en mètres

$$POP_{BAT} = POP_{CARREAU} \cdot \frac{S_{DEV}}{\sum_{CARREAU} S_{DEV}}$$

- POPBAT = Estimation de la population dans la surface inondable
- POPCOM = Population communale INSEE

3 – DESCRIPTIF DES DONNEES

Les données sont livrées au format table mapinfo (.tab), sous la forme d'un fichier nommé de la manière suivante :

CodeTRI_POP2010_S.xxx

- où CodeTRI est le code du TRI (ex : TRI_GUAD pour le TRI "centre Guadeloupe")
- où xxx = tab, dat, map ou id

Le système de projection utilisé est le WFS84 / UTM 20N

La table de données est composé des attributs suivants :

ID_BAT (texte) = Identifiant du bâti dans la BD Topo

- HAUTEUR (entier) = Estimation de la hauteur du bâtiment, en mètres (BD Topo)
- CODE_INSEE (texte) = Code INSEE de la commune (5 caractères)
- NOM_COM (texte) = Nom de la commune
- DATENTREE (date) = Date de début de validité de la donnée
- DATSORTIE (date) = Date de fin de validité de la données (non rempli pour le moment)
- SDEV (flottant) = Surface développée du bâtiment en m2
- SDEV_COM (nombre flottant) = Somme des surfaces développées de bâtiment dans la commune, en m2

- nb_etage (entier) = Nombre d'étages du bâtiment calculé à partir de la hauteur
- POP_COM (entier) = Population communale 2010 INSEE
- POP_BAT (nombre flottant) = Population estimée dans le bâtiment

4 - CALCUL DE LA POPULATION EN ZONE INONDABLE

Il s'agit de comptabiliser la population dans les bâtiments situés en zone inondable. Un bâtiment est considéré en zone inondable s'il intersecte la zone inondable. Le champ POP_BAT est utilisé pour estimer la population exposée aux inondations.

NOTE SUR LE CALCUL DES EMPLOIS EN ZONE INONDABLE

RAPPORTS

CETE
MÉDITERRANÉE

Service
Vulnérabilité et Gestion
de Crise

Septembre 2013

Directive inondation

Phase cartographie Estimation du nombre d'emplois dans les surfaces inondables



Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
v1	02/09/13	Rédaction avant choix du prestataire pour le géocodage

Affaire suivie par

Christophe MOULIN - Service Vulnérabilité et Gestion de Crise
Tél. : 04 42 24 71 56 / Fax : 04 42 24 79 96
Courriel : christophe.moulin@developpement-durable.gouv.fr

Rédacteur

Christophe MOULIN - Service Vulnérabilité et Gestion de Crise

Relecteurs

Sylvain CHARAUD -Service Vulnérabilité et Gestion de Crise

Yves BONIN – Service d'Appui Géomatique et Infrastructures Linéaires

SOMMAIRE

1 - LE RÉPERTOIRE SIRENE DE L'INSEE.....	4
2 - CONSTITUTION DU SEMIS DE POINTS « EMPLOIS ».....	6
2.1 - Extraction de la base SIRENE.....	6
2.2 - Géocodage de SIRENE Base de données.....	6
2.3 - Exclusions préalables.....	7
2.4 - Calcul de la fourchette communale et des ratios correctifs.....	7
2.5 - Calcul des fourchettes pour les entreprises géocodées.....	8
2.6 - Fichiers obtenus.....	9
2.7 - Sources d'erreur et biais.....	9
3 - ÉVALUATION DU NOMBRE D'EMPLOIS DANS LES SURFACES INONDABLES.....	10
3.1 - Croisement avec les surfaces inondables.....	10
3.2 - Représentation.....	10

Estimation du nombre d'emplois dans les surfaces inondables

1 - Le répertoire SIRENE de l'INSEE

L'INSEE produit de nombreux rapports et de nombreuses données, homogènes au niveau national, concernant la question des emplois.

Seules les données suffisamment précises, à l'échelle communale ou infra-communale sont susceptibles de contribuer aux calculs d'emplois sur des zones infra-communales. On trouve celles-ci dans l'onglet « Bases de données » du site de l'INSEE, il s'agit, concernant l'emploi :

- des données locales, à l'IRIS, à la commune, au département, à la région, à l'EPCI, à la zone d'emploi,
- des fichiers détail : enquêtes sur des fractions de population, la zone géographique étant a minima le département,
- du répertoire SIRENE recensant les entreprises et leurs établissements à l'adresse, avec une évaluation du nombre d'employés et une classification de l'activité (par code NAF).

Le répertoire SIRENE, qui comporte les adresses, est le plus adapté à une analyse géographique (infra-communale) des emplois : c'est la base de donnée qui a été retenue ici.

SIRENE® Base de données

Sirene® base de données reprend, pour les entreprises et les établissements administrativement actifs, les informations contenues dans le répertoire SIRENE en les restructurant et en les complétant.

“Sirene® base de données” rassemble ainsi des informations économiques et juridiques sur environ 9 millions d'établissements et d'entreprises appartenant à tous les secteurs d'activité.

Les informations sont actualisées en permanence. En effet, de nombreux organismes ont pour mission de déclarer à l'Insee les immatriculations, radiations et modifications au répertoire. Ils contribuent quotidiennement à l'actualisation du répertoire Sirene. En moyenne, 10 000 modifications par jour sont enregistrées au répertoire.

Sirene enregistre toutes les entreprises et leurs établissements, quelle que soit leur forme juridique et quel que soit leur secteur d'activité, situés en métropole ou dans les Dom (Guadeloupe, Guyane, Martinique, Mayotte et Réunion) et à Saint-Pierre et Miquelon. Les entreprises étrangères qui ont une représentation ou une activité en France y sont également répertoriées.

En outre, lors de la constitution de la base de diffusion, des données supplémentaires sont ajoutées pour faire de Sirene® base de données un outil opérationnel.

Les données figurant dans la base sont de trois ordres, pour les entreprises et leurs établissements :

- des données d'identification (numéro SIRET, nom, raison sociale, forme juridique, adresse) ;
- des données économiques (code d'activité principale APE, importance de l'effectif salarié par tranche, chiffre d'affaires) ;
- d'autres données (dates de création, de fermeture, ...).

Les adresses de la base sont conformes au format préconisé par le Service National de l'Adresse de La Poste (norme AFNOR XPZ 10-011), et donc propice à un géocodage par le biais d'un géocodeur et d'une base adresse (les données d'adressage sont toutefois réparties dans 9 champs distincts). Les établissements présents dans les zones d'activités ne disposent cependant pas toujours d'une

adresse très explicite (ex : « ZI n°1 » ou « CENTRE COMMER REG CRETEIL »), et il peut s'avérer difficile de les localiser.

La notion d'entreprise renvoie à un ensemble d'établissements (le siège et des antennes par exemple) ; celle d'établissement est ici la plus adaptée.

La variable **EFETCENT** correspond à l'effectif salarié à la centaine près de l'établissement. C'est une variable statistique, millésimée au 31/12 d'une année donnée, majoritairement l'année n-2. Elle est à rapprocher de sa date de validité, c'est-à-dire de la date de mise à jour de l'effectif salarié de l'établissement.

Valeur	Correspondance
NN	Unités non employeuses (pas de salarié au cours de l'année de référence et pas d'effectif au 31/12). Cette tranche peut contenir quelques effectifs inconnus
0	0 salarié (n'ayant pas d'effectif au 31/12 mais ayant employé des salariés au cours de l'année de référence)
1	1 à 2 salariés
3	3 à 5 salariés
6	6 à 9 salariés
10	10 à 19 salariés
20	20 à 49 salariés
50	50 à 99 salariés
100	100 à 199 salariés
200	200 à 299 salariés
.../...	de 100 en 100 jusqu'à 999 999 salariés

Tableau 1: Fourchettes d'effectifs figurant dans SIRENE Base de données

Des biais existent :

- des établissements importants comportent la valeur NN ;
- les gérants ne sont pas comptés (ex : autoentrepreneurs pour lesquels **EFETCENT** = 0) ; ;
- les fourchettes sont larges (jusqu'à 200 la borne supérieure vaut environ 2 fois la borne inférieure) ;
- les effectifs des établissements du secteur public peuvent être mal répartis : la gestion du personnel centralise souvent les effectifs de plusieurs établissements dans un établissement donné qui n'est pas toujours l'établissement siège.

La variable **LIEUACT** permet de connaître le lieu de l'activité. Les codes 91 (sur chantier), 92 (sur marché) et 93 (en clientèle) correspondent à des activités où les personnes ne sont pas présentes la majeure partie du temps sur le site du siège. Leur travail peut cependant être impacté par une inondation, et il est proposé de ne pas utiliser cette variable pour sélectionner les emplois réellement présents sur le secteur (à noter la présence sur le secteur de professionnels issus d'autres sièges).

La variable **APET700** renvoie l'activité principale de l'établissement selon la nomenclature NAF (3 chiffres 2 lettres). Les codes commençant par « 84 » correspondent aux établissements du secteur public.

2 - Constitution du semis de points « emplois »

2.1 - Extraction de la base SIRENE

Une extraction des établissements situés dans les communes appartenant à des TRI a été réalisée par le Pôle d'Appui National SIRENE au début du mois d'avril 2013, excepté pour Paris, Lyon et Marseille, villes pour lesquelles l'extraction n'a été réalisée que fin août 2013. Le fichier représente 4 429 279 établissements.

Les variables utilisées par la suite sont les suivantes :

- **I1_nomen** : nom ou raison sociale de l'entreprise ;
- **I3_cadr** : complément d'adresse ;
- **I4_voie** : numéro et libellé de la voie ;
- **I5_disp** : distribution spéciale ;
- **I6_post** : code postal et nom de la commune ;
- **I7_etrg** : libellé du pays pour l'adresse à l'étranger ;
- **numvoie** : numéro dans la voie ;
- **indrep** : indice de répétition (bis, ter, ...) ;
- **typevoie** : type de la voie (rue, bd, avenue, ...) ;
- **libvoie** : libellé de la voie ;
- **codpos** : code postal ;
- **libcom** : libellé de la commune ;
- **depet** : département de l'établissement ;
- **comet** : code officiellement attribué à la commune de l'établissement ;
- **APET700** : le type d'activité selon le code NAF ;
- **TEFET** : tranche d'effectif salarié ;
- **EFETCENT** ; effectif salarié à la centaine près.

2.2 - Géocodage de SIRENE Base de données

Le géocodage consiste à attribuer des coordonnées géographiques à une adresse.

Il est ainsi possible, à partir d'un fichier comportant des adresses, d'obtenir un semis de points pouvant être exploité à différentes fins.

Compte tenu du nombre important d'adresses à géocoder, et de la difficulté pour des outils classiques (tel que des services en ligne de géocodage ou la fonction de géocodage des logiciels SIG), il a été décidé de confier à un prestataire ce géocodage de tous les établissements situés dans une commune appartenant à un TRI.

Il a été demandé au prestataire de fournir un indicateur de pertinence de la géolocalisation par établissement (adresse précise, rue, commune, autre).

2.3 - Exclusions préalables

Les collectivités territoriales représentent des effectifs importants mal répartis quelle que soit la méthode utilisée. Elles ont donc été exclues au préalable en supprimant les lignes qui comportaient à la fois une activité **APET700** valant 8411Z (« Administration publique générale ») et dont l'attribut **l1_nomen** contenait les mots « COMM », « AGGLO », « DEPARTEMENT », « REGION », « COM », « METROPOLE », « COLLECTIVITE », sans contenir les mots « PREFECTURE », « DIR », « LABO », « COMMUNI ».

2.4 - Calcul de la fourchette communale et des ratios correctifs

Nombre de petites entreprises ne comprennent qu'une personne, non comprise dans le chiffre donné par l'INSEE. Le gérant d'une société n'est pas non plus compté. Pour rétablir un certain équilibre les fourchettes suivantes ont été choisies :

EFETCENT	Minimum	Maximum
NN	1	1
0	1	1
1	2	3
3	4	6
6	7	10
10	11	20
20	21	50
50	51	100
100	101	200
200	201	300
N*100	N*100 +1	(N+1)*100

Tableau 2: Valeurs retenues pour le calcul des effectifs

Tous les établissements de la commune ont été sélectionnés sur la base du code INSEE de la commune, obtenu par concaténation de **dep** (département) et de **com** (code officiellement attribué à une commune).

Les minima et maxima de la tranche d'effectif calculés avec les valeurs du Tableau 2 ont été sommés pour ces établissements : les valeurs obtenues sont **min_com** (somme des minima pour tous les établissements de la commune) et **max_com** (somme des maxima pour tous les établissements de la commune).

Les minima et maxima des établissements bien géocodés (c'est-à-dire disposant d'un géocodage à l'adresse) calculés avec le même tableau ont également été sommés : les valeurs obtenues sont **min_geocod** (somme des minima pour tous les établissements de la commune bien géocodés) et **max_geocod** (somme des maxima pour tous les établissements de la commune bien géocodés).

Les ratios correctifs communaux ont ainsi pu être initialement calculés par :

$$r_mincom = \text{min_com} / \text{min_geocod}$$

$$r_maxcom = \text{max_com} / \text{max_geocod}$$

2.5 - Calcul des fourchettes pour les entreprises géocodées

Pour chaque établissement bien géocodé (c'est-à-dire disposant d'un géocodage à l'adresse), la fourchette **emploi_min** et **emploi_max** a été calculée avec les valeurs du Tableau 2, puis corrigée en les multipliant par les ratios correctifs **r_mincom** et **r_maxcom**.

La variable **TEFET** classe les entreprises en fonction de leur taille :

TEFET	Catégorie
NN	Unités non employeuses (pas de salarié au cours de l'année de référence et pas d'effectif au 31/12) ou unités sans mise à jour d'effectif
00	0 salarié (unités ayant eu des salariés au cours de l'année de référence mais plus d'effectif au 31/12)
01	1 ou 2 salariés
02	3 à 5 salariés
03	6 à 9 salariés
11	10 à 19 salariés
12	20 à 49 salariés
21	50 à 99 salariés
22	100 à 199 salariés
31	200 à 249 salariés
32	250 à 499 salariés
41	500 à 999 salariés
42	1 000 à 1 999 salariés
51	2 000 à 4 999 salariés
52	5 000 à 9 999 salariés
53	10 000 salariés et plus

Tableau 3: Tranches d'effectifs catégorisées dans SIRENE

Les entreprises peuvent être classées en 4 catégories en fonction du nombre d'employés et de leur chiffre d'affaires (Décret n° 2008-1354 du 18 décembre 2008), pour les analyses statistiques.

Un attribut **taille** sur la taille de l'entreprise a été créé, valant de 1 à 4 :

- 1 renvoie aux « microentreprises », de moins de 10 salariés, c'est-à-dire les entreprises de la base SIRENE dont l'attribut **tefet** vaut NN, 00, 01, 02 ou 03
- 2 renvoie aux « PME » (petites et moyennes entreprises), comprenant entre 10 et 249 salariés, c'est-à-dire les entreprises de la base SIRENE dont l'attribut **tefet** vaut 11, 12, 21, 22, 31
- 3 renvoie aux « ETI » (entreprises de taille intermédiaire) comprenant entre 250 et 4999 salariés, c'est-à-dire les entreprises de la base SIRENE dont l'attribut **tefet** vaut 32, 41, 42, 51
- 4 renvoie aux « GE » (grandes entreprises), de plus de 5000 salariés, c'est-à-dire les entreprises de la base SIRENE dont l'attribut **tefet** vaut 52 ou 53.

2.6 - Fichiers obtenus

Outre des listes des établissements non géocodés ou exclus au préalable (cf 2.3 -), un semis de point a été obtenu pour chaque TRI, comportant les attributs suivants :

- **L1_NOMEN** : nom ou raison sociale de l'entreprise ;

- **L4_VOIE** : numéro et libellé dans la voie ;
- **LIBCOM** : libellé de la commune de localisation de l'établissement ;
- **CODE_INSEE** : code INSEE de la commune ;
- **APET700** : type d'activité selon le code NAF ;
- **TEFET** : tranche d'effectif salarié ;
- **TAILLE** : type d'établissement (1 : ME, 2 :PME, 3 :ETI, 4 :CE).
- **emp_min_nc** : seuil non corrigé inférieur du nombre d'emplois pour l'établissement considéré ;
- **emp_max_nc** : seuil non corrigé supérieur du nombre d'emplois pour l'établissement considéré ;
- **emploi_min** : seuil corrigé inférieur du nombre d'emplois pour l'établissement considéré ;
- **emploi_max** : seuil corrigé supérieur du nombre d'emplois pour l'établissement considéré ;

Un fichier des communes des TRI a été créé, comportant :

- **LIBCOM** : libellé de la commune ;
- **CODE_INSEE** : code INSEE de la commune ;
- **min_com** : somme des minima pour tous les établissements de la commune ;
- **max_com** : somme des maxima pour tous les établissements de la commune ;
- **min_geocod** : somme des minima pour tous les établissements de la commune bien géocodés ;
- **max_geocod** : somme des maxima pour tous les établissements de la commune bien géocodés ;
- **r_mincom** : ratio **min_com / min_geocod** ;
- **r_maxcom** : ratio **max_com / max_geocod**.

2.7 - Sources d'erreur et biais

Les erreurs possibles sont :

Erreurs liées au fichier SIRENE :

- informations non renseignées : **EFETCENT** = NN ; cela concerne 301 091 établissements sur 4 429 279, dans des secteurs d'activité variés : on ne peut isoler de typologie majoritaire mais cela peut conduire à sous-estimer notablement l'effectif ;
- effectif de l'établissement reparti sur une seule adresse, alors qu'en réalité il l'est sur plusieurs (exemple : Aix-en-Provence, 2900 personnes situées place de l'Hôtel de Ville !) ; cela concerne principalement les collectivités territoriales. Dans la méthode proposée, ces effectifs ont été exclus.

Erreurs liées au géocodage :

- géocodage non pas à l'adresse mais à la rue, à la commune ou même absence de géocodage : pour y pallier en partie, la méthode proposée répartit les effectifs non localisés sur les établissements bien localisés ;
- mauvaise localisation de l'établissement, que le géocodage situe dans la rue, pouvant être éloignée des bâtiments.

Concernant la méthode :

Des établissements dont la surface est parfois importante (industries automobiles, chimiques ...) sont représentés par un point (essentiellement des entreprises de taille intermédiaire et des grandes entreprises) appartenant ou pas à une surface inondable alors qu'une partie des installations seulement peut être concernée.

Il est choisi de sommer les effectifs quel que soit le type d'établissement ; or certains emploient des personnes travaillant sur d'autres sites (ex : entreprises de nettoyage, sociétés de services en ingénierie informatique, ...).

Étant donné les fourchettes individuelles de la variable **EFETCENT** (ou la borne supérieure vaut souvent deux fois la borne inférieure), les fourchettes totales restent imprécises, mais permettent d'approcher l'ordre de grandeur.

3 - Évaluation du nombre d'emplois dans les surfaces inondables

3.1 - Croisement avec les surfaces inondables

Les semis de points complétés et vérifiés ont été croisés avec les différents scénarios d'inondation, par commune.

La somme des minima et la somme des maxima a été réalisée pour chaque scénario (somme des valeurs **emploi_min** et **emploi_max** des points situés dans une surface inondable et une commune donnée), et permet de remplir les champs **EMPLOI_MIN** et **EMPLOI_MAX** de la table N_[prefix_Tri]_ENJEU_RAPPORT_ddd, définie p72 du géostandard COVADIS de la Directive Inondation.

3.2 - Représentation

Les différents chiffres obtenus figurent dans le rapport d'accompagnement.

Les moyennes arithmétiques des minima et maxima pour chaque scénario figurent dans les cartouches type, au même titre que les chiffres de population permanente.

Cependant, pour tenir compte de l'imprécision de la méthode, le chiffre ne sera pas indiqué sous un seuil minimal de 50 emplois, : on écrira alors « - de 50 ».



**CETE
Méditerranée**

**Département Risques Eau Construction
Service Vulnérabilité et Gestion de Crise
CS 70499 - 13593 Aix-en-Provence cedex 3
Tél. : 04 42 24 71 56
Fax : 04 42 24 79 96**



**Direction de l'Environnement
de l'Aménagement et du Logement
GUADELOUPE**

Route de Saint-Phy
BP 54 - 97102 BASSE-TERRE Cedex
Tél : 0590 99 43 43 / 0590 99 46 46

