5.6. L'aléa submersion littorale

La méthodologie présentée ci-après est directement issue du « *Guide méthodologique de la prévention des risques littoraux »,* réalisée par la Direction Générale de la Prévention des Risques du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, mai 2014 France». Ce guide constitue une mise à jour importante du guide établi en 1997, notamment suite à la tempête Xynthia qui causa en Europe de nombreux morts en février 2010.

5.6.1. LES DIFFERENTS TYPES DE SUBMERSION LITTORALE

Les submersions marines sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer, qui peuvent durer de quelques heures à quelques jours.

Deux modes de submersion marine sont distingués :

- submersion par débordement, lorsque le niveau marin est supérieur à la côte de crête des ouvrages ou du terrain naturel ;
- submersion par franchissements de paquets de mer liés aux vagues, lorsqu'après déferlement de la houle, les paquets de mer dépassent la côte de crête des ouvrages ou du terrain naturel.

Un troisième mode de submersion marine est lié à la rupture du système de protection, lorsque les terrains situés en arrière sont en dessous du niveau marin : défaillance d'un ouvrage de protection ou formation de brèche dans un cordon naturel suite à l'attaque de la houle (énergie libérée lors du déferlement), au mauvais entretien d'un ouvrage, à une érosion chronique intensive, au phénomène de surverse, à un déséquilibre sédimentaire du cordon naturel. Etant donné l'absence de système de protection marine entretenu par un maître d'ouvrage identifié sur le territoire haïtien, il est convenu, par sécurité, de ne pas prendre en compte l'existence éventuelle de systèmes de protection locaux.

<u>Cas particuliers liés aux tsunamis</u>

Un tsunami est une série d'ondes de très grande période se propageant à travers un milieu aquatique (océan, mer ou lac). Ces ondes sont issues du brusque mouvement d'un grand volume d'eau, provoqué généralement par un séisme, un glissement de terrain sous-marin ou une explosion volcanique, et pouvant se transformer, en atteignant les côtes, en vagues destructrices déferlantes de très grande hauteur.

Les submersions marines liées aux phénomènes de tsunamis sont traités à la fin de ce chapitre.

Dans les cas de tsunamis, les hauteurs d'eau atteintes se révèlent souvent très importantes et la fréquence d'apparition de ces phénomènes rares reste aujourd'hui mal définie. La prise en compte de cet aléa tsunami dans des règles de bon usage du sol reste donc réservée aux bâtiments « sensibles » en projet (hôpitaux, centres de gestion de crise, écoles, etc…) dont on interdira la construction en zone d'aléa tsunami moyen ou fort.

Les actions de réduction de vulnérabilité liées au risque tsunami s'appuient davantage sur la mise en place d'un système d'alerte, de l'évacuation et de l'organisation des secours et sont traitées dans les différents plans opérationnels de contingence (voir la section 3).

5.6.2. L'ALEA SUBMERSION MARINE D'ORIGINE CYCLONIQUE

Cet aléa est caractérisé par les hauteurs d'eau et la dynamique de submersion liées à un événement cyclonique de référence. La définition de l'événement cyclonique de référence est précisée dans les paragraphes ci-après.

La méthodologie retenue consiste à :

- Comprendre et caractériser le risque

La compréhension de la source du risque sur un site donné est essentielle pour une bonne définition de ce risque et notamment de l'aléa :

  - Quelle est la raison de la submersion marine ?
  - Quelle est le risque connu et constaté ?
  - Quels sont les facteurs aggravants ?

Les réponses à ces trois questions vont diriger la suite de l'évaluation.

- Déterminer les scénarios à étudier et leurs caractéristiques

Les événements météo-marins sont caractérisés d'une part, par leur intensité et leur probabilité, et, d'autre part, par leur échéance :

- à horizon actuel (année 2015).
- à un horizon 100 ans (année 2115), permettant d'intégrer l'impact du changement climatique.

Pour la caractérisation de l'aléa submersion marine, l'événement naturel de référence sur un secteur homogène est un événement d'occurrence centennale ou un événement historique si celui-ci est supérieur.

Le retour d'expérience établi dans l'étape A) contribue sensiblement à la définition de ces scénarios.

- Choisir la méthode de caractérisation

La méthode de caractérisation est la méthode mise en œuvre pour connaître les caractéristiques de la submersion à terre (hauteur d'eau, vitesse d'écoulement, vitesse de montée des eaux…) pour des scénarios donnés.

La compréhension des phénomènes mis en jeu sur le secteur concerné contribue fortement aux choix de caractérisation de la submersion.

- Qualifier l'aléa submersion marine

L'aléa submersion marine est qualifié de faible à très fort selon les caractéristiques de la submersion.

La figure ci-après synthétise la démarche de détermination de l'aléa submersion marine.

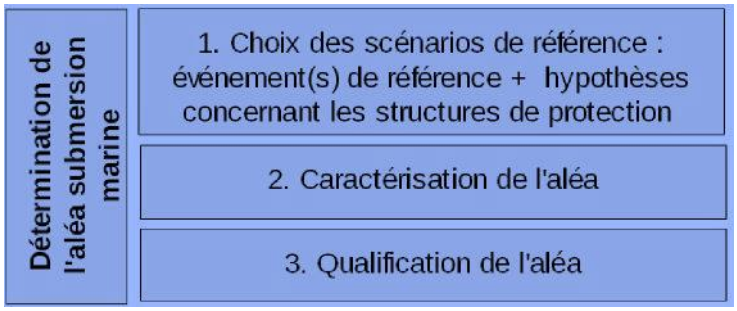


Figure 74 Étapes composant la détermination d'un scénario de référence,

(Source Guide méthodologique Plans de Prévention des Risques Littoraux MEDDE, France, mai 2014)

La compréhension des facteurs aggravants sur le secteur concerné contribue sensiblement à cette évaluation.

5.6.2.1. COMPRENDRE ET CARACTERISER LE RISQUE

5.6.2.1.1. PHENOMENES NATURELS A L'ORIGINE DE LA SUBMERSION

Le phénomène naturel initiateur d'une submersion marine est d'origine météorologique (passage dépressionnaire ou cyclonique) et entraîne des conditions météo-marines défavorables. Ce phénomène se manifeste en un lieu géographique donné et est limité dans le temps.

Figure 75 Ouragan Dennis, 10 juillet 2005 et sa trajectoire,

(Source NASA, image courtesy Jacques Descloitres,)

Le tableau ci-après dresse l'historique des principaux cyclones, ouragans et pluies tropicales ayant touché le territoire haïtien.

1816	18-19 novembre : un cyclone fait des dégâts considérables dans les campagnes du département de l'Ouest et dans le golfe de la Gonâve.
1831	12-19 août: Des pluies torrentielles provoquent des inondations à Les Cayes, faisant des centaines de victimes.
1909	12 novembre : cyclone dans le département de l'Ouest. Environ 150 victimes sont recensées en particulier dans la plaine du Cul de Sac.
1915	12-13 août: cyclone sur la péninsule Sud qui dévaste Jacmel, Les Cayes, Les Côteaux, Aquin, Jérémie.
1935	21 octobre: ouragan au Sud et Sud-Est. 2 000 personnes périssent.
1954	11-12 octobre : l'Ouragan Hazel qui touche toutes les régions d'Haïti. À plus de 249 km/h, le cyclone dévaste le pays faisant plusieurs milliers de victimes.
1963	3 octobre : l'ouragan Flora touche les départements du Sud et de l'Ouest faisant près de 5 000 morts. 14 novembre: inondations de la Grande Rivière du Nord faisant près de 500 victimes.
1964	24 août: l'ouragan Cleo touche la côte Sud et plus particulièrement la région des Cayes faisant 192 morts.
1966	29 septembre : l'ouragan Inès dévaste, à plus de 170 km/h, les départements du Sud et de l'Ouest
1972	20 mai : inondations dans la Région des Cayes. Bilan 20 disparus et des pertes considérables en biens matériels.
1980	5 août : l'ouragan Allen balaye, à plus de 270 km/h, la côte Sud et plus particulièrement la région des Cayes faisant environ 200 morts.
1984	10 juin : inondations à Port-de-Paix.
1986	1er juin : inondations Région des Cayes. Bilan : 20 000 hectares noyés et plusieurs milliers habitations endommagées. 23 octobre : inondations Ile de la Gonâve. Bilan: 31 morts, 906 sans-abri, plus de 380 maisons détruites ou endommagées.
1987	27 avril : inondations à Port-de-Paix. 8 mai : inondations à Thiotte dans le département du Sud-Est, et dans les zones de Delmas et Caradeux à Port-au-Prince.
1988	27 janvier : inondations dans le Nord-Ouest 20 juin : inondations de L'Estère dans l'Artibonite. 11 septembre : l'ouragan Gilbert dévaste la côte Sud et plus particulièrement les régions d'Anse-à-Veau, Camp-Perrin, Cavaillon, Les Cayes, Ile-a-Vache, Jacmel, Jérémie, Kenscoff et Port-Salut. 8 octobre : inondations dans la Plaine de Léogâne.
1989	23 février : inondations sur l'ile de la Gonave. Bilan: 4 945 familles affectées, 1 527 maisons détruites et 1640 endommagées.
1994	12 et 13 octobre : l'ouragan Gordon traverse le département du Sud-Est et la péninsule du Sud provoquant des inondations et faisant environ 2000 morts et disparus.
1998	23 septembre : l'ouragan Georges dévaste les régions du Sud-Est et du Nord-Ouest d'Haïti faisant 147 morts, 34 blessés graves, 40 disparus, et 167 500 sinistrés.
2002	24-27 mai : inondations Péninsule du Sud. La ville de Camp Perrin et les localités d'Asile et d'Anse-à-Veau sont les plus touchées par ces averses tropicales. Bilan : 31 morts, 14 personnes disparues et plus de 7 000 sinistrées dans le département du Sud.
2004	23-24 mai : des pluies torrentielles qui se sont abattues sur la partie sud-est d'Haïti dans la nuit du 23 au 24 mai ont fait 1 232 morts, 1 443 disparus et 31 130 personnes sinistrées Mapou, Belle-Anse avec 432 morts, Bodary avec 350 morts et Fonds-Verrettes avec 237 victimes situées dans le département du Sud-Est furent les localités les plus affectées. La gravité de ce désastre poussa le gouvernement intérimaire Boniface/Latortue

	à faire du vendredi 28 mai une journée de deuil national. 10 septembre : l'ouragan Ivan frappe la péninsule du Sud et la côte Ouest causant, dans diverses régions, d'importants dégâts matériels dus aux inondations. 18-19 septembre : l'ouragan Jeanne traverse la bande septentrionale d'Haïti et le Haut Artibonite causant des inondations qui ont fait 1 870 morts. Le bilan s'élève à 2 620 blessés, de 846 disparus et de 300 000 sinistrés et avec plus de 3 000 morts, Gonaïves, est la ville la plus durement frappée13.
2005	6 et 7 juillet: l'ouragan Denis touche la côte sud-est d'Haïti, provoquant des inondations dans plusieurs villes du Sud (Bainet, Grand-Goave, Les Cayes…) et faisant plus de 500 sans-abri. 4 octobre : inondations dans diverses régions du pays dont Pétion-Ville et Grand Goâve dans le département de l'Ouest, où les crues provoquèrent des pertes considérables. Le gouvernement n'a fourni aucun bilan sur cette catastrophe. 17-18 octobre : l'ouragan Wilma touche l'ouest et le sud d'Haïti. 23 octobre : la tempête tropicale Alpha traverse la presqu'île du Sud dont les départements de la Grande Anse et de Nippes. 25 octobre: Inondations provoquées par des pluies torrentielles qui se sont abattues dans plusieurs régions du Nord-Ouest dont les communes de Port-de-Paix, de Bassin-Bleu, de Anse-à-Foleur et de Saint-Louis du Nord.
2006	22 et 23 novembre : fortes pluies provoquant des inondations dans la Grand'Anse, le département des Nippes et le Nord-Ouest, provoquant l'endommagement des structures routières dont l'effondrement d'un pont à Ravine Sable sur la commune de Bonbon
2007	17 mars : inondations dues aux pluies et averses s'abattant, pendant plus d'une semaine, sur une grande partie du territoire d'Haïti. six départements ont été particulièrement frappés : Grande Anse, Sud-Est, Ouest, Nord-Ouest, Nord, Nord-Est; 8-9 mai : pluies torrentielles faisant des dégâts considérables dans plusieurs régions du pays, en particulier dans les départements du Nord, du Nord-Est et du Sud. La ville de Ouanaminthe est particulièrement frappée et le pont reliant Haïti (de Ouanaminthe) à la République dominicaine (Dajabón) sévèrement endommagé.
2008	16 août : la tempête tropicale Fay traverse tout le pays15 et ravage les cultures. 26 août : l'ouragan Gustav traverse la presqu'île du Sud dont les départements du Sud et de la Grande Anse faisant environ 77 morts et 8 disparus avec des dégâts matériels importants. 15 000 familles ont été affectées par la tempête qui détruisit 3 000 maisons et endommagea 11 458 autres. 1er septembre : l'ouragan Hanna ravage les départements de l'Artibonite et du Nord-Est. Plusieurs villes sont inondées dont Gonaïves. La ville est inondée et en certains endroits l'eau atteint deux mètres 16. De nombreux habitants sont réfugiés sur les toits des maisons depuis hier soir pour fuir la montée des eaux. Le bilan officiel fait état d'un mort. À côté des Gonaïves plusieurs villes plusieurs villes du Nord-Est, du Sud et du Sud-Est ont été inondées. 6 septembre : l'ouragan Ike, classé dans la catégorie 4, effleure les côtes septentrionales d'Haïti provoquant de fortes pluies dans les départements du Nord, de l'Ouest et du Nord-Ouest.
2009	20 octobre : fortes pluies sur la capitale haïtienne et ses banlieues. La commune de Carrefour, dans la banlieue sud de la capitale se trouve complètement inondée.
2012	24-25 août : l'ouragan Isaac provoque des inondations et de violents coups de vent dans les départements du Sud-Est et de l'Ouest qui avaient été touchée lors du séisme de janvier 2010 faisant 19 mort dont 6 dans le Sud-Est, 5 dans l'Ouest et 2 dans l'Artibonite. 24 octobre : Les pluies diluviennes de l'Ouragan Sandy frappent les départements de l'Ouest, du Sud et de la Grand'Anse. Au moins 200 000 personnes sont sans abri, de 60 à 100 personnes seraient mortes, une nouvelle épidémie de choléra s'est répandue, et 70 % des récoltes du sud du pays furent détruites.

Tableau 10 Historique des principaux cyclones, ouragan et pluies tropicales

Le phénomène de submersion marine généré par ces évènements résulte de plusieurs éléments se cumulant plus on se rapproche des côtes (niveau marin, hauteur, direction et période des vagues, intensité et direction du vent, etc.) rendant compte des différents phénomènes météo-marins. Il est caractérisé par **deux paramètres au minimum, le niveau d'eau et le niveau marin (intégrant l'effet des vagues),** conditionnant les volumes d'eau entrants.

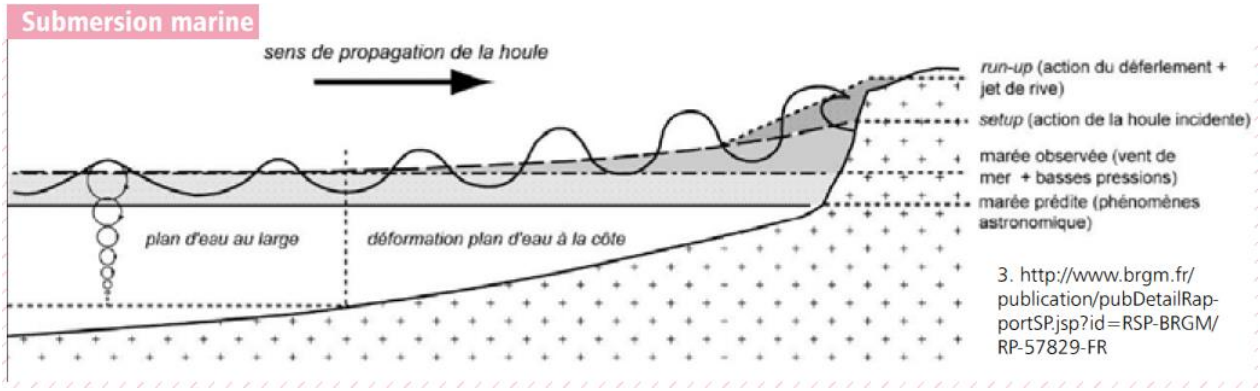


Figure 76 Différentes composantes de la submersion marine
(Source BRGM)

Important

Le **niveau marin intègre au niveau moyen de la mer** :

- Le **niveau de marée** (ou marée prédite).
- La **surcote météorologique liée principalement à l'effet de basse pression.**
- La **surcote liée au déferlement des vagues.**
- Le **gonflement lié au vent** notamment dans les baies et les estuaires.
- Tout autre phénomène nécessitant d'être pris en compte et connu (exemple : seiche côtière).
- Une **marge de sécurité** permettant de prendre en compte les incertitudes (définie par le bureau d'étude en charge de l'élaboration des aléas submersion marine).

<u>Très important : Référentiel de niveau</u>

Avant toute chose, pour la bonne compréhension des aléas et des rendus cartographiques, il est essentiel de disposer d'un système de nivellement unique et partagé. Celui-ci, établi par le CNIGS, repose sur :

- Le type d'altitude : orthométrique de Helmert.
- La surface de référence : le niveau moyen des mers de Port-au-Prince défini par observations marégraphiques de Mai 1949 à Mars 1950 [Alain Harmel, 1997].
- Le point fondamental : le repère M5 et son altitude conventionnelle qui est de 1.1355 mètres [Alain Harmel, 1997].

5.6.2.1.2. LE NIVEAU D'EAU

Le niveau d'eau intègre, **au niveau moyen de la mer, l'effet de la marée** (niveau maximum de marée) **et de la surcote météorologique**, mais il n'intègre pas l'effet des vagues ni du vent.

<u>La marée astronomique :</u> c'est la variation du niveau de la mer due à l'action gravitationnelle de la lune et du soleil. Elle est caractérisée par un niveau moyen, un niveau de basse-mer (minimum du cycle de marée) et un niveau de pleine mer (maximum du cycle de marée). **Le niveau marin de référence est calculé à pleine mer de vive eau exceptionnelle** dénommé HAT selon la terminologie anglo-saxonne (Highest Astromic Tide) ou Coefficient 120 selon la terminologie française. La valeur du HAT est fournie par les documents de la Marine Anglaises dénommés Admiraulties Tide Tables et synthétisés dans le tableau suivant :

	Elevations en m (+/- 0,05m)			
	LAT	MHHW	HAT	
Puerto Plata	-0,45	0,25	0,45	*Valeur à retenir pour le Nord d'Haïti*
Port au Prince	-0,4	0,22	0,4	*Valeur à retenir pour l'Ouest d'Haïti*
Jacmel	-0,5	0,3	0,6	*Valeur à retenir pour le Sud d'Haïti*

Tableau 11 Les plus fortes marées astronomiques

(Source Admiraulties Tide Tables)

Les conditions météorologiques : la pression atmosphérique et le vent génèrent une surcote atmosphérique lors du passage d'un système dépressionnaire (cyclone ou tempête tropicale). La chute de pression atmosphérique entraîne une surélévation du niveau du plan d'eau. La perte de 20 hPa (20 millibars) équivaut à une élévation de 20 cm du plan d'eau. Ainsi, les grandes dépressions peuvent engendrer des surcotes marines de 1 à 2 m.

Il s'ajoute à cette surcote l'effet du vent lorsqu'il pousse les masses d'eaux à la côte, en particulier lors de configuration particulière du littoral. Cette surcote météorologique peut être déterminée statistiquement à partir d'éventuels marégrammes mesurés sur le bord de côte (la valeur mesurée intègre alors directement la surcote liée aux conditions météorologiques du moment). A noter qu'il n'y a pas actuellement de marégraphe en service sur Haïti mais que le CNIGS a pour projet la mise en place d'un nouveau marégraphe (pour harmoniser la référence verticale haïtienne avec les nouvelles réalisations internationales).
Cette surcote peut également être obtenue par des modélisations océano-météorologiques (les conditions de pression atmosphériques et de vent au large sont imposées dans le modèle qui détermine la surélévation résultante sur le littoral).
Il est important de noter que ces effets, souvent sous-estimés, peuvent être particulièrement intenses dans les baies et estuaires selon la configuration du site et de l'évènement météorologique. Quand ce phénomène se produit, il s'amplifie dans le fond de baies et estuaires là où souvent se situent les zones urbaines et est dénommé gonflement. Ce gonflement peut atteindre 1m et plus notamment avec un ouragan.

5.6.2.1.3. LE NIVEAU MARIN

Le niveau marin, calculé à la côte, intègre l'effet des vagues sous la forme de la surcote liée à la houle qui génère deux phénomènes, une surcote moyenne appelée « set-up » qui est la déformation moyenne du plan d'eau près de la côte suite au déferlement des vagues et une variation du niveau d'eau sur la côte, appelée couramment « swash » ou jet de rive. La surcôte globale liée à la houle (« set-up » + « swash ») est couramment appelée « run-up ». (voir schéma ci-avant).

Les valeurs de set-up sur un littoral donné ne peuvent être déterminées qu'à partir de modélisations numériques adaptées. Ce type de modélisation permet, à partir de séries temporelles de houles déterminées au large d'Haïti (tel qu'issue de la base de données IOWAGA) de calculer le set up en fonction des conditions au large et en fonction de la bathymétrie du secteur étudié.

Une base de données de houles opérationnelles a été développée dans le cadre du projet européen IOWAGA (*Integrated Ocean WAves for Geophysical and other Application*).
Ce projet, soutenu par le Conseil Européen de la Recherche et démarré en janvier 2010, fait suite au projet PREVIMER (observations et prévisions côtières) ayant notamment abouti à la mise en place par le SHOM d'un système de prévision des états de mer aux applications potentielles variées. Le système repose sur l'utilisation d'observations (mesures de houlographes) et de données issues de modélisation numérique. Il vise en particulier la prévision à court terme des états de mer sur les façades modélisées. Il permet également les analyses rétrospectives. Les données fournies par le modèle sont validées à partir de mesures issues de la télédétection et de bouées houlographes.

NB : La valeur du swash (ou jet de rive) est généralement estimée à partir de formules empiriques références dans l'ouvrage EUROTOP 2007, Wave Overtopping on Sea Defences and related Structures : Assessment Manual (la modélisation du phénomène est possible mais reste très complexe et très couteuse) à partir des valeurs de set–up déterminées par la modélisation. La limite de run-up (zones soumises au déferlement et au franchissement) est adaptée à dire d'expert en croisant la topographie (Lidar ou autres données topographiques terrestres) et l'occupation du sol (végétation, voirie, bâti, etc…) pour estimer l'amortissement du jet de rive à l'intérieur des terres. L'effet de swash peut être important et provoquer des inondations à lui seul : on parle de milliers de litres d'eau retombant sur les terres toutes les 10 à 15 secondes pendant plusieurs heures.

Figure 77 Effet de swash à la côte, République Dominicaine, Tempête Isaac 2012 CC BY-SA 2.0, (Source Wikimedia Commons)

La formule référencée (issue de TAW, 2002) pour le calcul des débits franchissant une digue ou le cordon dunaire (swash) est fournie à titre indicatif.

$$\frac{q}{\sqrt{gHm0^3}} = a\exp\left(-b\frac{Rc}{Hm0}\right)$$

q le débit linéique de franchissement (m^3/ml/s)
Hm0 la hauteur significative de houle (m)
$Rc=z_{crête}-z_{eau}$ le franc-bord (m)
a, b des coefficients complexes à ajuster en fonction des caractéristiques de l'ouvrage et du type de déferlement

Cette formule permet de prendre en compte :

- Les différentes situations décrites sur la figure ci-dessus en termes de niveau et de houle ;
- La houle au pied de l'ouvrage ;
- L'angle d'incidence de la houle ;
- Le coefficient b intègre la pente de l'ouvrage et la dissipation par rugosité du talus.

Du fait des incertitudes sur les coefficients a et b, il convient que le bureau d'étude qui effectue l'estimation de l'effet de swash précise ces hypothèses et effectue des tests de sensibilité.

Interaction avec les crues

A noter que pratiquement, les interactions avec les crues ne sont pas prises en compte dans les zones d'embouchure car le pic de pluie arrive usuellement bien après l'effet de surcote proprement dit, c'est donc le scénario « d 'un cyclone sec » qui est envisagé. En revanche, la crue fluviale peut survenir après la submersion marine et induire des conséquences aggravantes dans les embouchures d'estuaires.

5.6.2.1.4. PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE DANS LE NIVEAU MARIN

La question de la vulnérabilité des territoires et de son évolution dans le temps revêt un caractère crucial dans les zones littorales au regard de l'accroissement démographique attendu et de l'impact prévisible fort du changement climatique sur la configuration des terres basses. Par conséquent, il convient de prendre des mesures pour limiter la vulnérabilité future des territoires au risque de submersion marine face à l'augmentation prévisible du niveau marin sur le littoral haïtien.

Il est donc nécessaire de prendre en compte l'augmentation du niveau moyen de la mer à l'échéance cent ans pour établir l'aléa submersion marine dans le cadre des PRRN (l'échéance de 100 ans est cohérente en matière d'urbanisme, la plupart des constructions ayant une durée de vie moyenne de cent ans).

Le PRRN doit donc comprendre deux cartes d'aléa submersion marine distinctes, l'aléa de référence et un aléa à échéance 100 ans.

A ce jour, les valeurs d'élévation du niveau moyen de la mer correspondent aux prévisions du GIEC, le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat. Ces hypothèses de prise en compte du changement climatique seront donc évolutives en fonction de l'avancée des travaux scientifiques en la matière afin de retenir les dernières données disponibles.

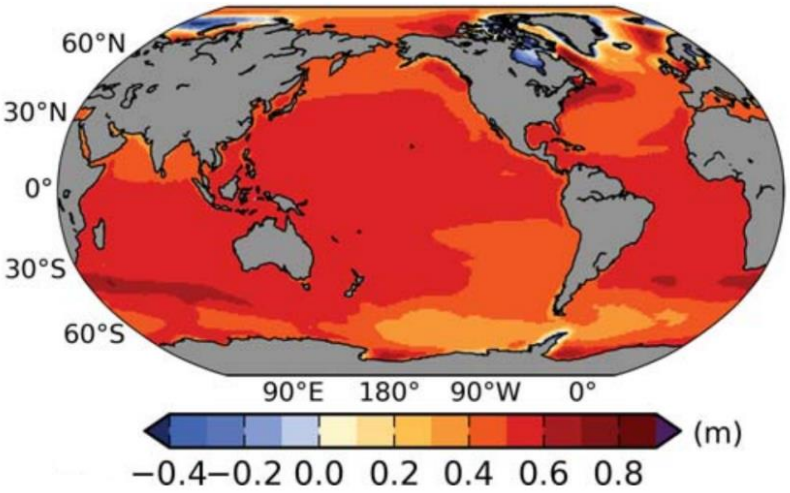


Figure 78 Carte du changement de niveau de la mer régionale nette moyenne (m) évalué de 21 modèles du scénario de CMIP5 RCP4.5, pour 2081-2100,

(Source Rapport GIEC 2013 WG I, « THE PHYSICAL SCIENCE BASIS »)

Pour la détermination de l'aléa à échéance 100 ans, l'hypothèse retenue est celle d'une augmentation du niveau moyen de la mer, égale à 60 cm. Il s'agit ici d'une position de base (voir figure ci-dessus, a noter que cette cartographie montre aussi un impact de +60cm pour la France, valeur retenue par le gouvernement français pour l'établissement des PRRN) qui peut, si besoin, être affinée par des études locales plus précises permettant d'évaluer l'impact local du changement climatique.

L'application des PRRN étant reliées à des échelles opérationnelles de lors de la dizaine d'année, il est décidé d'intégrer d'ores et déjà la composante résultante de l'augmentation du niveau de la mer depuis l'établissement des mesures du nivellement de référence altimétrique (soit 1950, Harmel 1997), plus la prédiction pour l'horizon 2025 soit une élévation du niveau de la mer de 20 cm.

A noter que le GIEC ne prévoit pas à ce jour d'influence clairement identifiée du changement climatique sur les pluies dans la zone Centre Amérique dont fait partie Haïti.

Prise en compte des incertitudes dans le niveau marin

De nombreuses incertitudes concernent l'événement de référence: variations altimétriques de la croûte terrestre, précision de la mesure marégraphique, filtrage ou mauvaise retranscription de phénomènes du fait de la période d'acquisition des éventuels marégraphes, précision des données de vagues, évaluation de la surcote liée aux vagues… Ces incertitudes concernent chaque étape des analyses à mener.
A titre d'exemple, les incertitudes des données numériques de vagues peuvent mériter une étude de sensibilité du fait de l'impact potentiellement non négligeable sur le calcul du niveau marin total.
Si les incertitudes de certaines méthodes ou données apparaissent trop fortes, ces données peuvent être écartées. Les incertitudes sont à évaluer et à prendre en compte dans l'estimation du niveau marin de référence. Dans le cas où cette estimation n'est pas possible, une marge de 25 cm est rajoutée au niveau marin de référence (pour un événement théorique centennal de même que pour un événement historique). D'une manière générale, en dehors des incertitudes liées au niveau marin de référence, les incertitudes qui pèsent sur chacune des hypothèses prises dans l'ensemble de la démarche doivent être qualifiées et quantifiées si possible.

5.6.2.1.5. SYNTHESE DES NIVEAUX A RETENIR

Le tableau suivant récapitule les différents éléments qui constituent les niveaux marins, aux échéances « actuelle » et « +100 ans ».

	Actuel	2115
Marée	0,45 à +0 ,60 selon la zone (voir tableau ci-avant)	inchangé par rapport à Actuel
Surcote Atmosphérique	A déterminer par mesures marégraphiques ou modèles	inchangé par rapport à Actuel
Surcote liée au vent	A déterminer par mesures marégraphiques ou modèle dans les baies et estuaires	inchangé par rapport à Actuel
Set-up	A déterminer par modèle de transformation de la houle du large à la côte	inchangé par rapport à Actuel
Swash (run-up)	A estimer par formule Eurotop	inchangé par rapport à Actuel
Changement climatique	+20 cm	+60 cm soit +40 cm par rapport à Actuel
Incertitudes	+25 cm	+25 cm soit inchangé par rapport à Actuel

Tableau 12 Eléments constituant les niveaux marins état actuel et état 2115,
(Source ARTELIA)

5.6.2.2. DETERMINER LES SCENARIOS A ETUDIER ET LEURS CARACTERISTIQUES

Dans le cadre de l'élaboration du PRRN, pour la caractérisation cartographique de l'aléa submersion marine, les scénarios suivants sont étudiés et font l'objet de cartographies.

L'aléa de référence sert à déterminer les règles de bon usage du sol applicables pour les zones déjà urbanisées (caractère constructible ou non de ces zones, prescriptions sur les constructions existantes) :

- Le scénario de référence est déterminé à partir de l'événement naturel de référence (intégrant une élévation du niveau moyen de la mer liée à l'impact du changement climatique à court terme soit + 20 cm) aboutissant à la cartographie de l'aléa de référence. Il s'agit soit de l'événement centennal théorique calculé sur le littoral soit de l'événement historique le plus fort connu si celui-ci est supérieur.

L'aléa à 100 ans (2115) peut servir de base pour définir des prescriptions sur les constructions nouvelles et définir le caractère inconstructible ou non d'une zone non urbanisée (dans le cas d'une zone sous soumise à l'aléa de référence). Les principes généraux liés à la prise en compte des aléas horizon à 100 ans sont synthétisés dans les tableaux fournis ci-après, dans le paragraphe « Qualification de l'aléa ».

- **Le scénario à échéance 100 ans** est déterminé à partir de l'événement de référence **prenant en compte l'élévation du niveau de la mer à échéance 100 ans** (changement climatique), aboutissant à la cartographie de **l'aléa à échéance 100 ans**. Il correspond à une surcote de +40 cm par rapport au scénario de référence.

Deux cartes d'aléa submersion marine sont donc à réaliser dans le cadre du PRRN. Cependant, afin d'optimiser le nombre d'études et les moyens, il peut être utile d'examiner dans le cadre de la même étude, d'autres scénarios, qui ne seront pas utilisés directement dans le cadre de l'élaboration du PRRN mais qui peuvent être utiles à la mise en œuvre d'autres volets de la réduction des risques, l'élaboration de Plans Opérationnels de Contingence Communaux notamment (voir section 3). Les scénarios suivants peuvent ainsi être étudiés :

- **Un scénario basé sur un événement fréquent, de forte probabilité, mais d'intensité moindre.**
- Un scénario extrême, basé sur un événement extrême, de faible probabilité, supérieur à l'événement de référence. Ce scénario est décrit en fin de chapitre, à travers le **phénomène de submersion marine par tsunami.**

5.6.2.3. LE CHOIX DE LA METHODE DE CARACTERISATION ET DE CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

5.6.2.3.1. LES METHODES DE CARACTERISATION

L'objectif est de cartographier et de caractériser l'aléa de submersion marine à partir des scénarios retenus. Sur le bassin de risque, les hauteurs d'eau (m), les vitesses d'écoulement (m/s) et la rapidité de submersion (m/min) doivent être quantifiées ou qualifiées.

Plusieurs types de méthodes sont possibles pour déterminer les caractéristiques de l'aléa :

- la superposition du niveau marin de référence à la topographie ;
- la répartition des volumes entrants sur la topographie ;
- l'utilisation de modèles numériques.

Pour réaliser les analyses mentionnées, **des données topographiques précises sont nécessaires** afin de disposer d'un modèle numérique de terrain adéquat. En effet la bande côtière principale concernée par le risque de submersion est usuellement située entre 0 et 10m d'altitude. Les cartes terrestres fournissent usuellement des données à partir de 10m d'altitude et ne renseignent donc pas la frange 0-10m.

La méthode de superposition du niveau marin à la topographie doit systématiquement être mise en œuvre. Si elle peut apparaître comme non suffisante pour aboutir à la réalisation de la cartographie fine de l'aléa submersion, elle demeure dans tous les cas une étape d'analyse et de compréhension de l'aléa indispensable.

Le choix de la méthode dépend principalement des caractéristiques du site et des données disponibles. La démarche menant à ce choix, présentée de manière simplifiée ci-après, est détaillée dans les descriptions des 3 méthodes. Notons que la connaissance des évènements historiques et géographiques (étape A) est essentielle pour effectuer ces choix. Pour chacune des méthodes, une succession d'étapes d'analyse et de mise en œuvre d'outils permet d'atteindre cet objectif.

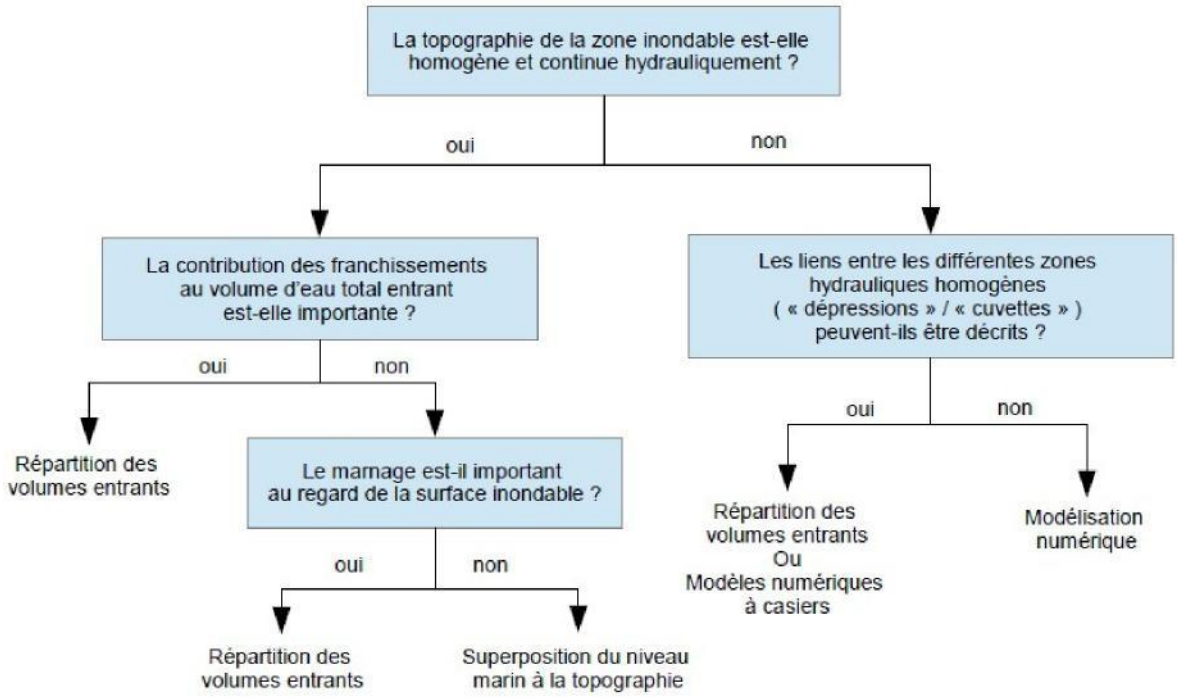


Figure 79 Démarche simplifiée de choix de la méthode de caractérisation de l'aléa submersion marine

(Source Guide méthodologique Plans de Prévention des Risques Littoraux MEDDE 2014)

5.6.2.3.2. SUPERPOSITION DU NIVEAU MARIN DE REFERENCE A LA TOPOGRAPHIE

La méthode consistant à superposer le niveau marin de référence au relevé topographique permet d'appréhender de façon simple les zones soumises à la submersion marine et suffisante pour approcher la zone soumise à l'aléa submersion marine. Cette méthode doit donc systématiquement être mise en œuvre. Elle est privilégiée sur Haïti dans toutes les zones ne présentant que des enjeux faibles (zones rurales ou semi-rurales).

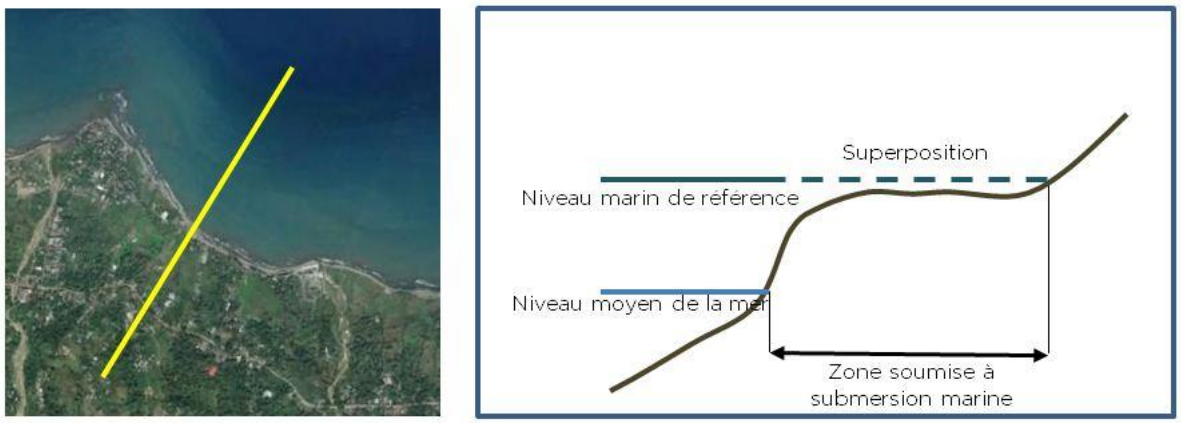


Figure 80 Exemple artificiel d'application de la méthode de superposition du niveau de référence pour déterminer la zone soumise à submersion marine sur un profil traversant la côte

(Source ARTELIA)

Elle a cependant pour inconvénient principal de majorer dans de très nombreux cas l'aléa submersion marine.

Dans les zones à enjeux (présence de bâtis ou projet de construction à venir), une analyse de la cartographie produite doit donc être réalisée pour déterminer si des études plus détaillées doivent être mises en œuvre pour prendre en compte certaines caractéristiques du site. Ainsi une étude complémentaire (soit par la méthode de répartition des volumes entrants, soit par modélisation numérique) doit être réalisée dans les cas suivants :

- comparaison de la cartographie obtenue avec les zones inondées par les événements historiques connus, les informations fournies par les cartes anciennes et les cartes géologiques, et mise en évidence de différences importantes non explicables ;
- identification des secteurs inondables par paquets de mer et mise en évidence de l'importance de ce mode de submersion au regard du débordement ou de la rupture ;
- analyse du rôle des systèmes de drainage, de stockage et d'évacuation et des obstacles à l'écoulement (topographie et structures naturelles de protection, ouvrages de protection ; remblais…) sur le volume total entrant, qui ne peuvent pas être pris en compte par la méthode de superposition du niveau marin de référence ;
- analyse de la surface de la zone potentiellement inondable au regard des variations du niveau d'eau dues à la marée.

Pour ce dernier point, qui a pour objectifs d'estimer dans quelle mesure les volumes entrants peuvent être surestimés par cette méthode et déterminer si une autre méthode de cartographie est plus appropriée, un calcul du volume représentant l'espace entre la simple projection du niveau marin de référence et la topographie peut être mené.

Ce volume peut être comparé aux potentialités d'apports d'eau sur l'ensemble du linéaire entre terre et mer lors de deux cycles de marée ou plus, selon le fonctionnement hydraulique du site. Le calcul peut mettre en œuvre une loi de seuil à partir du niveau marin de référence et du niveau altimétrique du linéaire du trait de côte (voir encart ci-après). Un niveau altimétrique moyen plutôt défavorable est à privilégier (sans ouvrage de protection par exemple).

L'analyse peut conclure que la méthode de superposition du niveau marin de référence à la topographie est suffisante pour la détermination de l'aléa submersion marine et n'appelle pas la mise en œuvre d'outils complémentaires. Dans ce cas, les zones situées sous le niveau marin de référence conduisent, sous réserve d'une analyse finale, à la détermination de la zone soumise à l'aléa submersion marine. Dans les autres cas, d'autres méthodes et outils doivent être mobilisés pour apporter les compléments nécessaires.

5.6.2.3.3. REPARTITION DES VOLUMES ENTRANTS SUR LA TOPOGRAPHIE

➢ *Volumes entrant par effet de submersion*

Lorsque les volumes entrants sont surestimés par la méthode de superposition du niveau marin à la topographie (marnage important ou obstacles à l'écoulement) et où la topographie arrière-littorale n'est pas trop complexe, c'est-à-dire s'il n'y a qu'une seule dépression, ou un nombre limité de dépressions dont les relations entre elles sont connues, une méthode simple peut être mise en œuvre.

Cette méthode consiste à déterminer les volumes entrants, par débordement (application d'une loi de seuil dénoyé, cf. encart ci-après) et par franchissement par paquets de mer, et à remplir les dépressions par les volumes correspondants.

La loi de seuil dénoyé permet de calculer simplement le volume d'eau débordant au-dessus d'une côte (niveau de la digue submergée par exemple) :

Le débit **Q** (en m3/s) sur le seuil est obtenu par la formule suivante :

$Q = C \times L \times (2g)^{0.5} \times H^{1.5}$ avec

C = coefficient du débit du seuil variant entre 0,32 et 0,5 selon que le seuil est bien ou mal profilé et pouvant être pris à 0,4 en première approche,
L= le linéaire (m) concerné par l'écoulement ou largeur du seuil,
H =la hauteur (m) comprise entre le niveau d'eau et le seuil.
g = accélération de la pesanteur= 9.81 $m.s^{-2}$

Avec un coefficient C de 0.4, on obtient la formule simplifiée suivante :

$Q = 1.77 \times L \times H^{1.5}$

Les zones inondées peuvent être déterminées via un outil SIG capable de calculer les volumes. La surface de l'eau de la zone inondée est alors considérée comme horizontale, les zones les plus basses sont considérées comme étant les premières remplies. Le volume compris entre le niveau du plan d'eau inondé et la topographie est égal aux volumes d'eau entrants. Les zones basses (« cuvettes ») les plus proches de la côte sont les premières remplies.

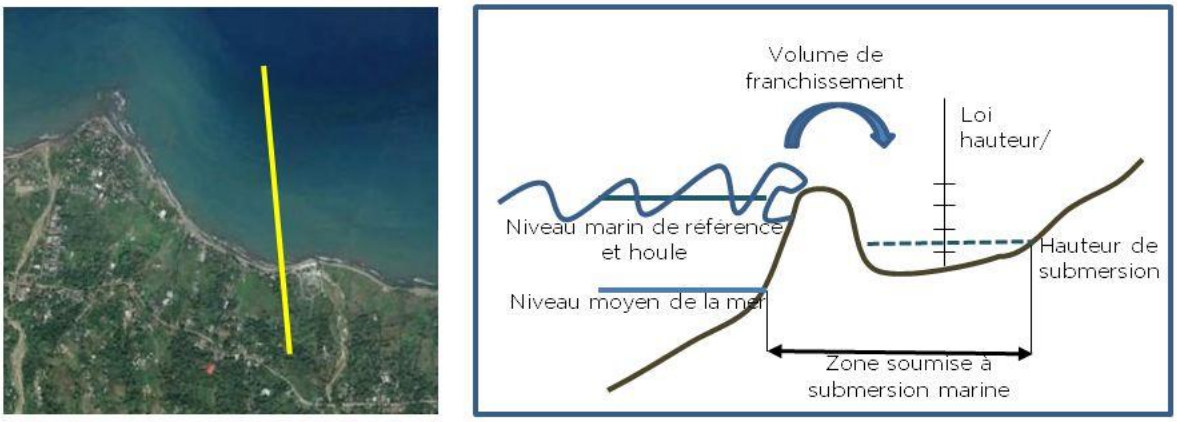


Figure 81 Exemple artificiel de la méthode des volumes entrants pour déterminer la zone soumise à submersion marine sur un profil traversant la côte
(Source ARTELIA)

➢ *Volumes entrants par paquets de mer*

Pour le territoire Haïtien, dans un contexte de climat cyclonique, les franchissements par parquets de mer sont systématiquement étudiés.

Les franchissements sont largement dépendants, d'une part, du type de côte étudié, et plus précisément du profil des fonds de l'avant-plage et du type de trait de côte et, d'autre part, de la cambrure des vagues incidentes, ces deux caractéristiques étant souvent variables dans le temps.

Il est donc recommandé de rechercher au préalable les configurations et conditions les plus défavorables avant d'appliquer les méthodes décrites ci-après.

Cas des ouvrages.

Les volumes franchissant les ouvrages côtiers ont fait l'objet de nombreuses campagnes d'essais en laboratoire et en nature en 2D et en 3D débouchant sur une méthodologie européenne d'estimation par calcul (Pullen et al. 2007). Cette approche propose deux méthodes :

- d'une part, des formules empiriques et ;
- d'autre part, un logiciel de calcul plus précis utilisant la technique des réseaux neuronaux.

Ce dernier type d'approche nécessite de connaître les conditions de houle au pied de l'ouvrage et non pas au large. Un point important dans l'application de cette approche est l'estimation du coefficient de rugosité associé à l'ouvrage franchi.

Une estimation plus précise des volumes franchissants, mais plus difficile d'emploi au regard des deux méthodes précédentes, est également possible en utilisant une modélisation numérique hydrodynamique comme celle proposée par Losada et al. (2008). Ce code de calcul résout les équations de Navier-Stokes moyennées et prend en compte les écoulements poreux non-linéaires à travers les carapaces et les sous-couches des ouvrages. Il permet de répondre à l'ensemble des besoins en fournissant la surcote et les volumes franchissants.

Cas des plages.

Laudier et al. (2011) rapportent une application des formules empiriques de l'Eurotop (Pullen et al., 2007) au calcul des débits franchissants mesurés sur une plage en nature. Un bon accord est trouvé pour un coefficient de rugosité autour de 0,65. Deux autres formules sont également comparées dont celle de Hedges et Reis (1998) mise à jour par Reis et al. (2008), qui présente l'avantage de calculer un volume franchissant nul lorsque l'affleurement maximal est inférieur à la cote de la crête de l'ouvrage ce qui n'est pas le cas des formules de l'Eurotop.

Des estimations plus ou moins fines sont possibles suivant la complexité des secteurs. Plusieurs ouvrages font des synthèses des méthodes existantes (CIRIA, CUR, CETMEF, 2009 ; Pullen et al. 2007 ; TAW, 2001). Les modèles numériques et formules empiriques peuvent en effet faire intervenir un nombre variable de paramètres. Les formules empiriques employées doivent faire l'objet d'une attention particulière afin de vérifier leur domaine de validité, en particulier en ce qui concerne le profil d'avant-côte, de l'estran, de l'éventuelle partie émergée de la plage et des ouvrages. La qualité des données, et en particulier des données bathymétriques et de vagues, et la qualité du calage contribuent à la précision des résultats.

5.6.2.3.4. UTILISATION DE MODELES NUMERIQUES

Dans les cas les plus complexes, les méthodes citées précédemment ne sont pas adaptées et le recours à la modélisation numérique peut être nécessaire. Différents types de modèles numériques existent : modèles bidimensionnels, modèles à casiers, modèles vague à vague.

L'utilisation des modèles bidimensionnels est recommandée car elle s'avère opportune dès qu'une appréciation de la dynamique est nécessaire ou lorsque le fonctionnement du site est complexe et difficile à appréhender. Ce type de modèle peut prendre en compte le vent pour les effets de gonflement ou de bascule d'un plan d'eau liée au vent. Les temps de calcul (sensiblement plus longs que pour le modèle à casiers) sont désormais très acceptables (de l'ordre de quelques heures) grâce aux puissances de calcul des ordinateurs qui ne cessent d'augmenter.

La réalisation d'un modèle numérique demande :

- une identification des points d'entrée d'eau et des conditions associées : niveaux, débits… Un niveau d'eau est appliqué en entrée de modèle. Il peut être variable dans le temps selon le marnage, la durée de la tempête et son impact sur un nombre de cycles de marée. Il est recommandé de réaliser les simulations sur deux pleines mers minimum, le niveau marin de référence étant appliqué à la première pleine mer. Lorsque des courbes intensité/durée/fréquence des données d'entrée sont disponibles, elles peuvent être utilisées.

- une identification des principaux obstacles à l'écoulement que sont les digues de premier et de second rangs, les cordons naturels, les remblais d'infrastructure (et leurs éventuelles transparences par réseau ou autre passage), etc.
- une analyse du fonctionnement du site et une déduction des lieux d'écoulements préférentiels (dans le cas d'un modèle à casiers).

La mise en œuvre de modèles numériques nécessite une phase de calage afin d'adapter l'ensemble des paramètres (frottement, résolution de la topographie, prise en compte du bâti, prise en compte des ouvrages de protection ou d'autres obstacles…) au site. Lorsque des données de calage ne sont pas disponibles et/ou lorsque les études de sensibilité ne permettent pas de se prononcer, les hypothèses qui sont faites doivent privilégier la sécurité. Cette analyse permet alors d'identifier la sensibilité des résultats aux différents paramètres et ainsi de qualifier l'incertitude associée.

NB : La modélisation bidimensionnelle peut représenter finement l'occupation du sol (bâti, cultures, zone de végétation dense) qui a un impact sur les écoulements, et notamment les zones bâties qui peuvent générer des obstacles importants vis-à-vis des écoulements.

La représentation de ces zones bâties peut être obtenue en modulant le coefficient de frottement (réduction du coefficient de Strickler sur la largeur totale d'écoulement) ou en modélisant de manière explicite chaque bâtiment (ou chaque bloc de bâtiment) à partir du Modèle Numérique d'Elévation (MNT qui intègre les différents bâtiments). Cette deuxième solution, plus précise, nécessite la mise en place d'un maillage très fin (pour pouvoir représenter les écoulements entre les bâtis ou blocs de bâtis) ce qui peut avoir une incidence non négligeable sur les temps de calculs. Le mode de prise en compte ou non des bâtiments dans le modèle doit donc être effectué au cas par cas, et peut éventuellement être différencié suivant les secteurs étudiés. Voir aussi la fiche outil n°1.6 relative à la modélisation hydraulique.

5.6.2.4. QUALIFICATION DE L'ALEA SUBMERSION MARINE

5.6.2.4.1. MODE DE QUALIFICATION

Le mode de qualification de l'aléa submersion marine reprend les principes mis en œuvre pour l'aléa inondation (rivière ou ruissellement). Le niveau d'aléa est déterminé par croisement des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement selon la grille d'aléa ci-dessous (également utilisée pour définir l'aléa inondation de rivière).

Notamment, la limite entre l'aléa moyen et l'aléa fort dépend de la capacité à se mouvoir, d'un adulte non sportif en bonne santé, lui permettant ainsi d'échapper sans assistance au phénomène en cours. L'aléa submersion marine est décliné en quatre catégories : faible, moyen, fort et très fort.

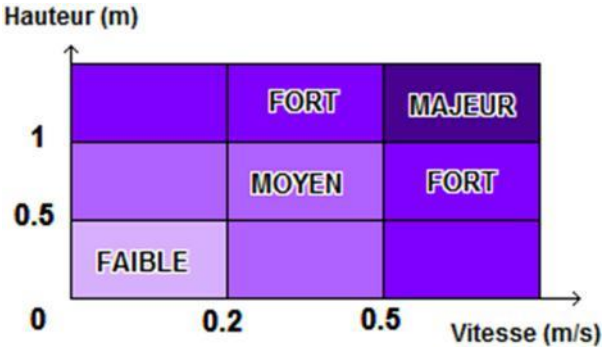


Figure 82 Définition des classes d'aléas issues de l'étude hydraulique

(Source ARTELIA à partir du « Guide méthodologique Prévention des Risques Littoraux » MEDDE France, mai 2014)

Il faut noter que les incertitudes relatives aux évaluations des vitesses d'écoulement sont souvent très importantes. De ce fait, il est difficile, dans certains cas complexes, de qualifier la vitesse et celle-ci peut ne pas être prise en compte dans l'analyse de la dynamique de submersion.

La vitesse de montée des eaux ou la durée de submersion peuvent, lorsqu'elles sont plus défavorables que la vitesse d'écoulement, venir majorer le niveau de dynamique de submersion.

Lorsque des modélisations numériques sont réalisées et que l'aléa est variable dans le temps, la cartographie de l'aléa de référence résulte de la prise en compte en tout point du territoire de l'aléa le plus pénalisant (hauteur ou couple hauteur/dynamique de submersion).

L'aléa submersion marine peut ainsi être caractérisé selon l'un des deux tableaux suivants en fonction des éléments disponibles.

		Dynamique de Submersion		
		Lente	Moyenne	Rapide
Hauteur d'eau (m)	H<0,5	Faible	Modéré	Fort
	0,5<h<1	Modéré	Modéré	Fort
	H>1	Fort	Fort	Très fort

Tableau 13 Détermination de l'aléa submersion en fonction de la dynamique de submersion, tableau à 3 classes,
(Source Guide méthodologique Plans de Prévention des Risques Littoraux, MEDDE 2014)

		Dynamique de Submersion	
		Lente	Rapide
Hauteur d'eau (m)	H<0,5	Faible	Fort
	0,5<h<1	Modéré	Fort
	H>1	Fort	Très fort

Tableau 14 Détermination de l'aléa submersion en fonction de la dynamique de submersion tableau à 2 classes,
(Source Guide méthodologique Plans de Prévention des Risques Littoraux MEDDE 2014)

Remarques spécifiques liées au niveau d'aléa très fort

Du fait de la force des phénomènes littoraux, certains secteurs, soumis à des phénomènes susceptibles de produire des dégâts majeurs et immédiats sur les enjeux rencontrés sont classés en aléa très fort, en complément des catégories prévues par le tableau précédent.

Il s'agit :

- De zones d'écoulement préférentiel.
- Des zones liées aux bandes de précaution à l'arrière d'une digue, dont la rupture peut engendrer un flot pouvant détruire très rapidement les habitations exposées.
- De zones en « cuvette » où les vitesses de montée des eaux peuvent être très rapides et les niveaux d'eau importants peuvent mettre en danger la vie des personnes.

Autres aléas liés à la submersion marine

Cette analyse peut également conduire à identifier des zones soumises à des aléas distincts de l'aléa submersion marine mais néanmoins directement liés à cet aléa. Il s'agit :

- Des zones soumises à des chocs mécaniques de vagues, en aléa fort à très fort.
- Des zones soumises à des projections, en aléa modéré à très fort.

5.6.2.4.2. RESULTATS ET CARTOGRAPHIE ATTENDUS

Les résultats obtenus par les différentes investigations réalisées sont fournis dans la note de présentation du PRRN :

- La liste des données et informations mobilisées ;
- Les méthodologies employées et la justification des hypothèses ;
- Les analyses menées ;
- Les résultats.

Les cartographies suivantes sont annexées à la note de présentation du PRRN :

- Une carte de synthèse des modes de submersion et écoulements : linéaire soumis aux franchissements, linéaire soumis aux débordements, points d'entrée ;
- Une carte de synthèse identifiant les éventuels ouvrages de protection, les cordons naturels et les remblais jouant un rôle contre la submersion marine et présentant leurs hypothèses de défaillance ;
- Une carte informative basée sur la méthode de superposition topographie/niveau marin de référence (si méthode employée pour les cartes suivantes différente de celle-ci) : carte des secteurs de dynamique forte, carte des hauteurs d'eau ;
- Une carte d'aléa basée sur l'événement de référence: carte des secteurs de dynamique forte, carte des hauteurs d'eau ;
- Une carte de l'aléa à échéance 100 ans ;
- En tant que de besoin, les cartes d'aléas chocs de vagues et projections de matériaux.

Les échelles de restitution de la cartographie doivent être *a minima* :

- Au 1/25000 pour les secteurs naturels ou ruraux sans enjeu fort (idéalement, l'échelle 1/10000 sera préférée)
- Au 1/5000 pour les secteurs urbains ou avec enjeux forts (idéalement, l'échelle 1/2000 sera préférée)

5.6.2.4.3. TRADUCTION DE L'ALEA EN REGLE DE BON USAGE DES SOLS

Les règles générales de traduction des différents aléas (inondation, mouvement de terrain, séisme et submersion marine) en bon usage du sol sont précisées dans le chapitre 7 « règles de bon usage du sol » de la présente section 1 « PRRN ».

La prise en compte, pour l'aléa submersion marine, de deux cartes d'aléa, à court terme et à échéance 100 ans (année 2115) nécessite cependant de mettre en place les règles spécifiques suivantes :

- Si une zone est soumise à un aléa de référence (faible, moyen ou fort), les règles de bon usage du sol mises en place ne sont pas modifiées par un aléa à 100 ans supérieur sur cette même zone (voir tableau ci-dessous).
- Si une zone n'est pas soumise à un aléa de référence (aléa nul pour l'aléa correspondant à l'année 2015), et que cette zone est soumise à un aléa à horizon 100 ans (aléa faible, moyen, fort ou très fort), le tableau ci-dessous s'applique (cellules en gras).

Nature de la zone	Aléa de référence	Aléa horizon 100 ans		
		Faible	Modéré	Fort/Très fort
Naturelle	**Nul**	**vert**	**Rouge**	**Rouge**
	Faible	Rouge	Rouge	Rouge
	Modéré		Rouge	Rouge
	Fort/Très fort			Rouge
Urbaine	**Nul**	**Vert**	**Vert**	**Vert**
	Faible	Vert	vert	Vert
	Modéré		orange	Rouge
	Fort/Très fort			Rouge

Tableau 15 Intégration de l'aléa horizon 100 ans dans l'urbanisme

(Source Guide méthodologique Plans de Prévention des Risques Littoraux MEDDE mai 2014)

Ainsi, une zone urbaine qui n'est soumise à aucun aléa submersion marine pour l'aléa de référence (2015) n'est soumise à aucune prescription particulière liée aux risques naturels.

Mais si cette même zone est soumise à l'horizon 100 ans à un aléa modéré, elle sera classée en zone verte (constructible sous condition).

De même, une zone rurale, non soumise à un aléa submersion marine pour l'aléa de référence mais soumise à un aléa modéré à l'horizon 100 ans, sera classée en zone rouge (non constructible).

Il est important de noter que ce tableau d'équivalence n'est qu'un exemple représentatif de ce qui est fait en France et qu'une adaptation au contexte haïtien peut être envisagée.

5.6.3. L'ALEA SUBMERSION MARINE PAR TSUNAMI

Pour rappel : Dans les cas de tsunamis, **les hauteurs d'eau atteintes se révèlent souvent très importantes** et la fréquence d'apparition de ces **phénomènes rares** reste aujourd'hui mal définie. La prise en compte de cet aléa tsunami dans des règles de bon usage du sol reste donc réservée aux bâtiments « sensibles » en projet (hôpitaux, centres de gestion de crise, écoles, etc…) dont on interdira la construction en zone d'aléa tsunami moyen ou fort.

Les actions de réduction de vulnérabilité liées au risque tsunami s'appuient davantage sur la mise en place d'un système d'alerte, de l'évacuation et de l'organisation des secours et sont traitées dans les différents plans de sauvegarde (voir la section 3).

La méthodologie retenue consiste à :

A. Comprendre et caractériser le risque

La compréhension de la source du risque sur un site donné est essentielle pour une bonne définition de ce risque et notamment de l'aléa.

- Quelles sont les sources de tsunamis pouvant impacter le site ?
- Quelle est le risque connu et constaté ?
- Quels sont les facteurs aggravants ?

Les réponses à ces trois questions vont diriger la suite de l'évaluation.

B. Déterminer les scénarios à étudier et leurs caractéristiques

Les événements Tsunamis sont caractérisés par leur intensité et probabilité. Il n'est pas tenu compte d'une échéance pour les besoins de ce type d'évènement.

La caractérisation de l'évènement Tsunami de référence sur un secteur homogène est **un événement d'occurrence centennale environ ou un événement historique si celui-ci est supérieur.**

Le retour d'expérience établie dans l'étape A) contribue sensiblement à la définition de ces scénarios.

C. Choisir la méthode de caractérisation

La méthode de caractérisation est la méthode mise en œuvre pour connaître les caractéristiques de la submersion à terre (hauteur d'eau, vitesse d'écoulement, vitesse de montée des eaux…) pour des scénarios donnés.

La compréhension des phénomènes mises en jeux sur le secteur concerné contribue fortement aux choix de caractérisation de la submersion.

D. Qualifier l'aléa Tsunami

L'aléa submersion marine est qualifié de faible à très fort selon les caractéristiques de la submersion.

La compréhension des facteurs aggravants sur le secteur concerné contribue sensiblement à cette évaluation.

5.6.3.1. COMPRENDRE ET CARACTERISER LE RISQUE

5.6.3.1.1. CONTEXTE ET SOURCE SCIENTIFIQUE

Un tsunami est une série d'ondes de très grande période se propageant en mer issues du brusque mouvement d'un grand volume d'eau, provoqué généralement par un séisme, un glissement de terrain sous-marin ou une explosion volcanique, et pouvant se transformer, en atteignant les côtes, en vagues destructrices déferlantes de très grande hauteur.

En eau profonde, les vagues du tsunami ont une période (temps séparant chaque crête) se comptant en dizaines de minutes, et peuvent voyager à plus de 800 km/h, tout en ne dépassant pas quelques décimètres de hauteur. Mais à l'approche des côtes, leur période et leur vitesse diminuent, tandis-que leur amplitude augmente, leur hauteur pouvant atteindre 10 m et plus. Elles peuvent alors submerger le rivage, inondant les terrains bas, pénétrant profondément dans les terres, en emportant tout sur leur passage, dans une succession de flux et de reflux.

Les tsunamis font partie des catastrophes les plus destructrices de l'histoire. Sur les quatre derniers millénaires, ils totalisent plus de 600 000 victimes, à travers au moins 279 évènements répertoriés.

Le tsunami de 2004 dans l'Océan Indien est la catastrophe la plus meurtrière des 30 dernières années, avec plus de 250 000 victimes.

Sur Haïti, en 1842, la côte nord, et en particulier les villes de Cap-Haïtien et Port-de-Paix, a déjà connu un tremblement de terre d'une magnitude estimée Mw 7.6 à 8.1 (Mw est la magnitude de moment). Un tsunami destructeur a également été déclenché par ce tremblement de terre. Le séisme et le tsunami ont fortement affecté la côte nord d'Hispaniola depuis Haïti jusqu'à la République Dominicaine. Environ 5 000 personnes ont été tuées par les effets de la secousse sismique et 300 par le tsunami. Le séisme de 2010 a provoqué un petit tsunami local qui a néanmoins ajouté à la destruction et aux blessés sur la côte ouest d'Haïti.

Au lendemain du tremblement de terre dévastateur de 2010 en Haïti, des efforts importants ont été consacrés à l'identification et l'atténuation des risques associés aux futurs tremblements de terre et aux tsunamis qui pourraient affecter Haïti. En plus des efforts axés sur Port-au-Prince, la recherche et les évaluations ont été effectuées pour tout le nord d'Haïti. Le 10 et 11 Juillet 2013, un panel d'experts se sont réunis à Port-au-Prince, en Haïti, dans un atelier pour évaluer ce risque : "Tremblement de terre et risque Tsunami dans le Nord de Haïti: Événements historiques et sources potentielles". Au cours de cet atelier, ils ont discuté de la source de l'événement de 1842, ainsi que celles d'autres tremblements de terre et des tsunamis qui pourraient affecter la côte nord d'Haïti et être utilisés pour les projets d'évaluation des risques liés aux séismes et aux tsunami et de réduction des risques dans ce domaine. Les emplacements possibles des séismes historiques, en particulier ceux ayant causé des tsunamis, ont été examinés et identifiés. Outre des sources distantes, selon la cartographie des failles aujourd'hui dans l'île d'Hispaniola, plusieurs failles ou segments de failles ont été identifiées qui pourraient générer d'importants tremblements de terre, et pourraient potentiellement également déclencher des tsunamis proches de l'île d'Hispaniola. Des sources non-sismiques de tsunamis dans le nord d'Haïti ont également été considérés (par exemple, les glissements de terrain sous-marins).

5.6.3.1.2. PHENOMENES NATURELS A L'ORIGINE DE LA SUBMERSION

Les mécanismes régissant le phénomène de Tsunami se décompose en trois étapes devant être étudiées séparément :

- On dénomme Source, le lieu de génération du tsunami
- On dénomme propagation, le transfert du tsunami jusqu'à la côte d'Haïti
- On dénomme aléa Tsunami la propagation et le déferlement du tsunami à terre et l'aléa qui en résulte.

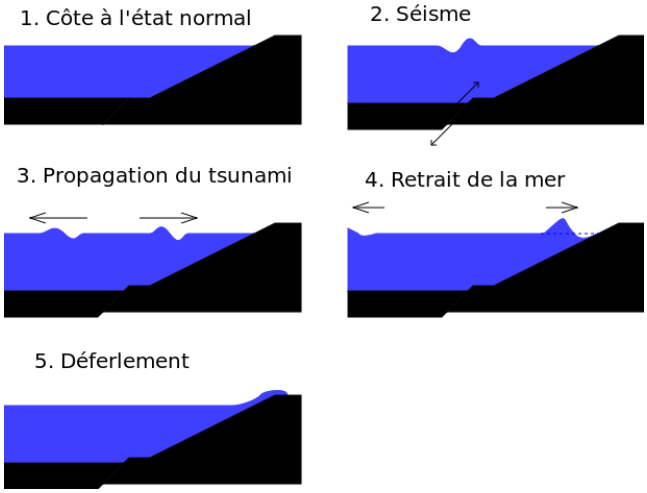


Figure 83 Schéma de principe de la création d'un Tsunami par un séisme, propagation, déferlement sur les côtes (Source ARTELIA)

<u>Détermination des sources</u>

Le phénomène naturel initiateur d'un tsunami est de trois ordres :

- Séisme sous-marin.
- Glissement de terrain sous-marin.
- Glissement de terrain côtier.

Ces sources se répartissent sur deux zones :

Zone Lointaine (Hors secteur Centre Amérique)

Les études scientifiques existantes ont permis de montrer que les sources suivantes peuvent générer des tsunamis influant la côte haïtienne :

- Une série de sources sismiques de Mw9 dans la zone de convergence des Açores constituant les sources possibles du tremblement de terre historique de 1755 à Lisbonne (LSB, qui causa un tsunami important et transocéanique mesuré à plus de 4 m dans certaines îles des Caraïbes).
- Un effondrement important (80 km^3) du flanc ouest du volcan Cumbre Vieja (CVV) sur l'île de La Palma aux Canaries. La probabilité de cet évènement est faible et sa période de retour se compte en centaines d'années voir en millénaires.
- Un effondrement en masse (475 km^3) du flanc ouest du volcan Cumbre Vieja (CVV) sur l'île de La Palma aux Canaries. La probabilité de cet évènement est très faible et sa période de retour se compte en millénaires voir en dizaine de millénaires.
- Récemment ont été identifiés des possibilités de glissement de terrain important su Sud et à L'Est de la Floride mais celles-ci n'ont pas encore été étudiées à ce jour.

Zone Régionale (secteur Centre Amérique)

Les études scientifiques existantes ont permis de montrer que les sources suivantes peuvent générer des tsunamis influant la côte haïtienne. Cette liste n'est pas exhaustive à ce jour notamment côté Ouest et Sud du pays.

Nord d'Hispaniola

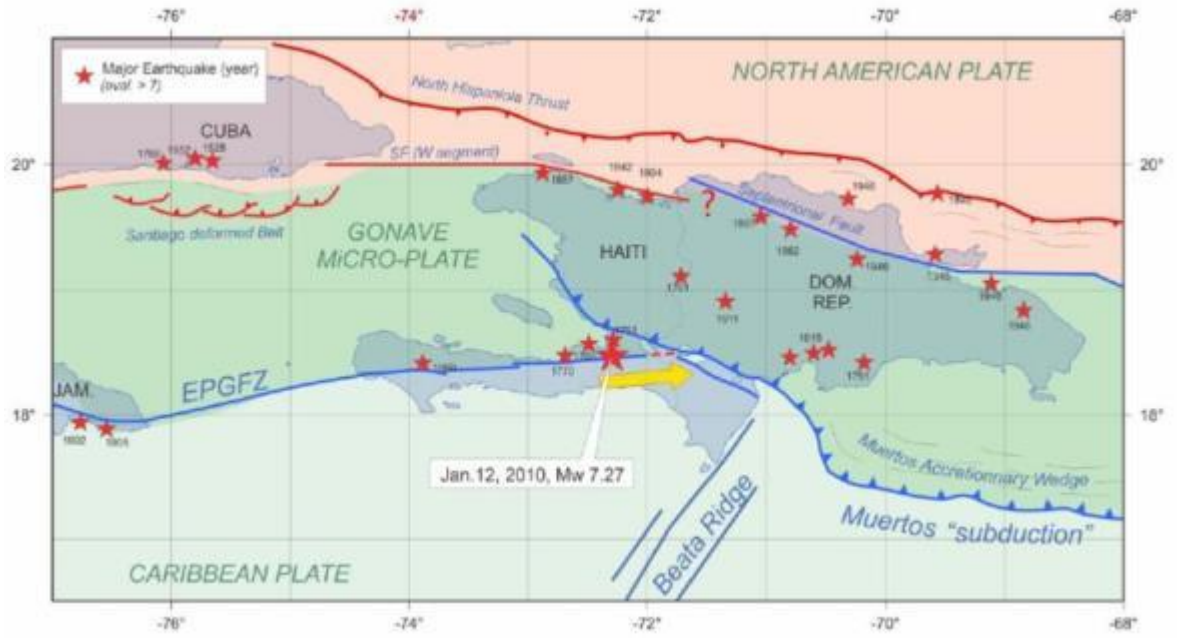


Figure 84 Plaques Nord-américaine et des Caraïbes ainsi que les principales failles correspondantes
(Source UNESCO, 2013)

- Une source sismique extrême de Mw9 dans la fosse de Puerto Rico (Puerto Rico Trench, PRT) ;
- Une rupture de de magnitude Mw = 8 le long de la partie offshore (segment ouest) de la « Septentrional Fault » (SF), supposé similaire au cas historique de 1842.
- Une rupture de Mw8 le long de la partie offshore (segment ouest) de la « Septentrional Fault » (SF), similaire au cas historique de 1842.
- Une rupture extrême de Mw8.7 le long de la « North Hispaniola Thrust fault » (NHTF), qui est composée de 3 segments, représentant un séisme plus important que le cas historique de 1946 dans la région.
- En ce qui concerne la génération possible de tsunamis par des failles situées sur terre tel que la partie est de la SF, on peut estimer a priori que ceux-ci seront beaucoup moins sévères et conduiront donc à des impacts côtiers moins importants, que les tsunamis causés par les deux sources en champ proche offshore décrites plus haut (c'est à dire NHTF et la partie offshore de la SF). Cette conclusion se base à la fois sur le fait que les séismes possibles seraient moins énergétiques et au vu des paramètres géologiques de ces failles que la génération de tsunamis ne serait pas très important.

Sud et Est du pays :

Un certain nombre d'analyse bibliographique sur des sources identifiées existe, tel que le document NRC2008, mais ne sont pas aussi exhaustive que le recensement fait par le panel d'experts de juillet 2013 pour le nord d'Hispaniola. A ce jour, on récence les sources possibles de Tsunamis suivantes sans les caractériser en détail :

- Une source sismique possible sur la Faille Nord Panama.
- Une source sismique possible sur la Faille Nord Venezula.
- Une source sismique possible sur la Faille Muertos Trough.

- Une source sismique possible sur la Faille Est Cayman.

Il n'existe pas d'étude précise sur les glissements de terrain sous-marins potentiels dans cette région excepté des études, réalisées par le CEA, autour des Antilles françaises (Pelinovsky, Hélene Hébert, etc…).

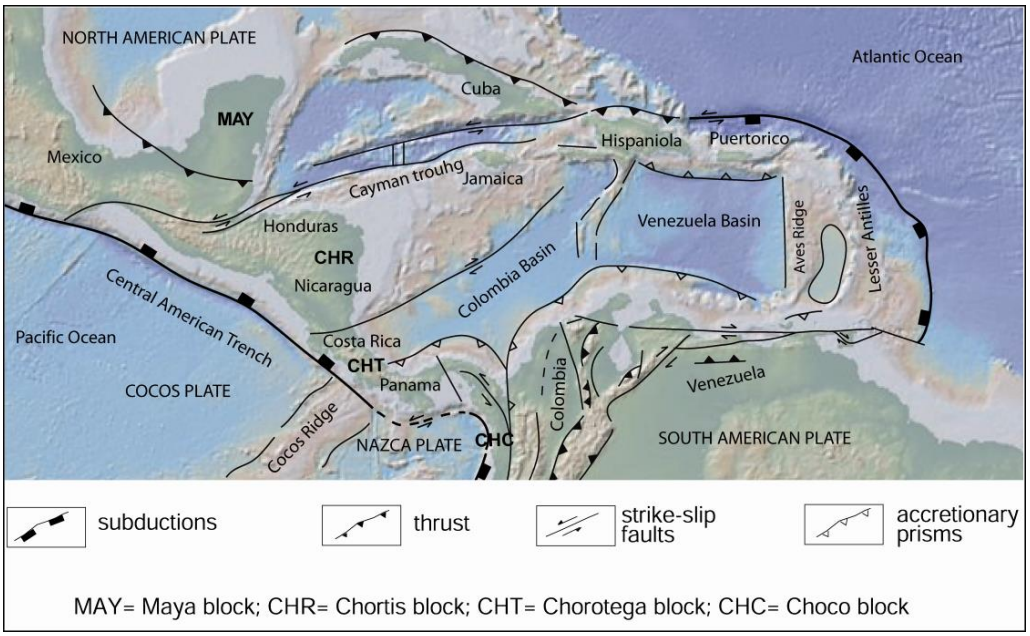


Figure 85 Failles présentes dans le secteur Amérique Centrale

(Source Giuseppe Giunta and Silvia Orioli, New Frontiers in Tectonic Research General Problems, Sedimentary Basins and Island Arcs, Ed Evgenii V. Sharkov,2011)

Analyse des sources, détermination du TMP

L'analyse des caractéristiques des sources sismiques a pour objet de déterminer leur capacité à générer un tsunami et de quelle magnitude. Cela dépend de sa géographique, sa géologie et de la caractéristique du matériau de chaque plan de faille (rigidité). La Méthode d'Okada (1985) permet ainsi de calculer la déformation du fond de l'océan causée par le séisme et l'élévation de la surface libre qui en résulte : le départ du tsunami.

Pour ce qui concerne les glissements de terrain, la méthodologie est plus complexe et utilise principalement des modélisations assez complexes car la méthode de génération peut conduire à des résultats très variables.

Comme on peut le constater, la génération de tsunami implique un grand nombre d'incertitudes. Quand un tsunami apparait, les éléments générateurs sont retrouvés par comparaison avec les observations de la génération et la propagation du tsunami ce qui permet a posteriori de décrire le phénomène survenu. Dans une démarche PRRN cette approche ne peut pas s'appliquer tel quel. En effet, même si une côte a subi un tsunami, il n'est pas dit qu'une autre source puisse générer un tsunami plus important.

On introduit alors une notion probabiliste dénommée TMP (Tsunami Maximum Probable) :

- Pour une source donnée, on définit l'ensemble des paramètres probables et leurs incertitudes selon l'état de l'art (caractéristique du matériau, orientation des plans de faille, …).
- On applique ensuite les méthodes de génération précitées et on calcule les élévations en parcourant l'ensemble des cas probables. Parmi tous les cas possibles, on identifie le cas (scénario) qui engendre le Tsunami le plus important et qui est orienté vers le site d'étude, c'est le TMP.

Cette méthode signifie que sur une même côte, selon le site d'étude, le TMP pour une faille donnée peut être différent si les sites sont un peu éloignés. C'est-à-dire que le même séisme peut engendrer par exemple un tsunami important sur Haïti mais moins important en république dominicaine que si le séisme s'était produit autrement, et inversement.
C'est sur la base des caractéristiques de la faille, du glissement de terrain et de l'historique que la période retour de l'évènement peut être estimée à dire d'expert. C'est cette période de retour qui caractérise le tsunami TMP, cette notion reste cependant très imprécise et doit être perçue comme un ordre de grandeur pour comparer les différentes sources possibles principalement (période de retour de l'ordre de 100 ans ou de l'ordre de 1000 ans, ou largement supérieure à 1000 ans).

Cette notion de TMP permet de définir le risque maximal pour une zone donnée d'être touchée par un tsunami important pour une source (faille, glissement de terrain, volcan) donnée et pour une probabilité de retour identique.

Propagation du TMP

Pour chaque source, le TMP doit être propagée jusqu'à la côte étudiée. Ceci est fait exclusivement par modélisation spécifique par des spécialistes mais les méthodes et outils sont aujourd'hui très fiables.

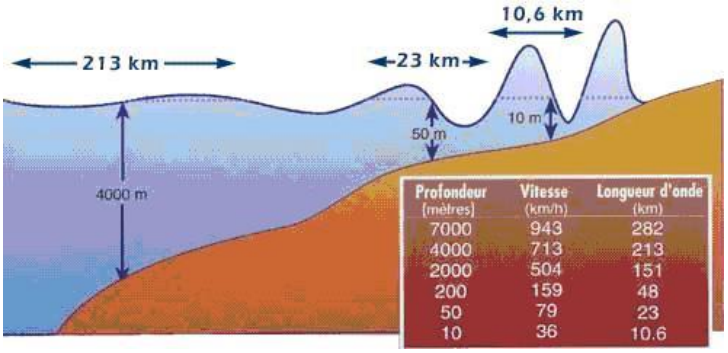


Figure 86 Modification de l'onde Tsunami au cours de sa propagation en mer jusqu'aux abords des côtes,
(Source données extraites de http://tsunami.1s4.free.fr)

Voici à titre documentaire un exemple d'une telle modélisation pour le cas extrême du volcan Cumbre Vieja (Grilli 2012)

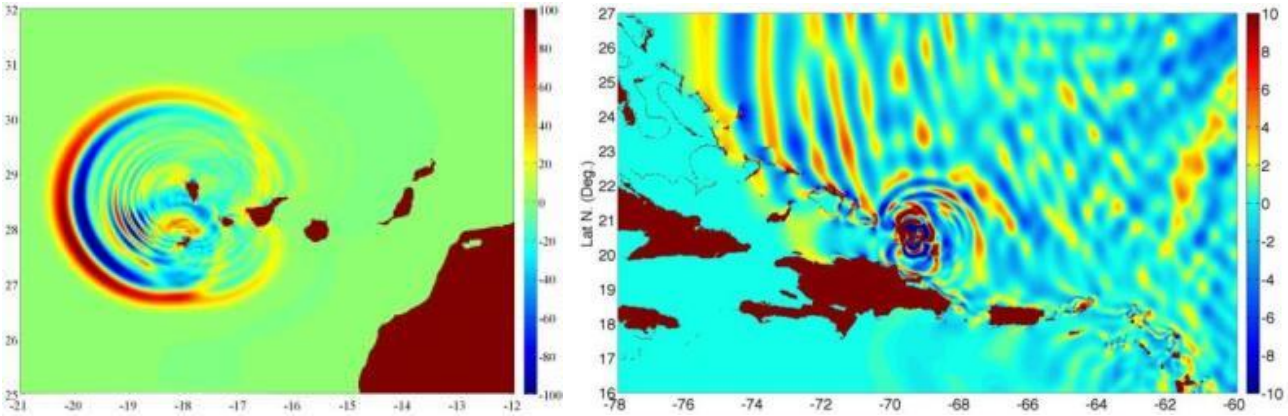


Figure 87 Propagation du tsunami issu de l'effondrement massif du volcan Cumbre Viej
(Source ARTELIA)

A Gauche autour des iles Canaries.

A Droite sur le secteur d'Hispaniola après avoir traversé l'atlantique. La hauteur des vagues sur les échelles est exprimée en mètres.

A l'arrivée sur les côtes, il est possible de définir par le résultat de la modélisation la hauteur de vague et donc la **magnitude du tsunami** selon par exemple l'échelle d'Imamura (1942). Elle est

calculée à partir de la hauteur maximum de la vague au niveau de la côte, selon la formule m = $\log_2$ (H). Ainsi un tsunami de hauteur 10 m est de magnitude 3,3 (pour mémoire, le tsunami de 2004 dans l'océan indien était de magnitude 4 à Sumatra et « seulement » de 2 en Thaïlande).

Le niveau du tsunami est la cote atteinte par la crête du Tsunami au-dessus du niveau moyen. Cette notion est différente de la hauteur de la vague qui se compte à partir du creux de vague.
Déferlement et aléa côtier du TMP

Les vagues arrivant à la côte vont déferler comme une submersion marine. Selon le tsunami et la configuration géographique du site, la première vague peut être la plus importante ou la seconde ou la troisième. Rarement les vagues suivantes sont les plus importantes.

Les méthodes préconisées pour l'évaluation de l'aléa submersion marine peuvent s'appliquer pour évaluer l'aléa Tsunami.

5.6.3.2. DETERMINER LES SCENARIOS A ETUDIER ET LEURS CARACTERISTIQUES

Dans le cadre de l'élaboration du PRRN, pour la caractérisation cartographique de l'aléa Tsunami un seul scénario est utilisé et fait l'objet de cartographies.

L'aléa de référence sert à déterminer dans les règles de bon usage du sol pour le besoin réservé des bâtiments « sensibles » en projet (hôpitaux, centres de gestion de crise, écoles, etc…) dont on interdira la construction en zone d'aléa tsunami moyen ou fort.

Ce scénario de référence est déterminé à partir du tsunami présentant la magnitude la plus importante parmi toutes les sources traitées en TMP et connues par rapport au site et dont la période de retour peut être estimée de l'ordre de la centaine d'année ou du moins inférieur au millénaire.

A titre d'exemple, l'évènement de l'effondrement massif du volcan Cumbre Vieja (Canaries) ne peut être considéré à ce stade car sa période de retour estimé est nettement supérieure au millénaire. Il peut par contre être pris en compte comme évènement extrême dans le cadre de Plans opérationnels de contingence (départementaux ou communaux).

A noter que l'aléa Tsunami est estimé à l'horizon actuel. Une évaluation à l'échelle de 100 ans ne se justifie pour l'application car :

- La méthodologie TMP (Tsunami Maximum Probable) retenue est globalement maximalisante.
- La surcote de + 40 cm liée à la prise en compte du réchauffement climatique à l'horizon 100 ans est très faible par rapport aux hauteurs engendrées par le Tsunami et très inférieure à l'imprécision globale de la méthode.
- La prise en compte d'une surcote de +40 cm apporterait une précision totalement illusoire.

5.6.3.3. CHOIX DE LA METHODE DE CARACTERISATION ET DE CARTOGRAPHIE DE L'ALEA

5.6.3.3.1. LES METHODES DE CARACTERISATION

L'objectif est de cartographier et de caractériser l'aléa de submersion par Tsunami à partir des scénarios retenus. On suppose la propagation des scénarios TMP réalisée par modélisation et on dispose donc de l'information de la magnitude du Tsunami et du niveau de Tsunami sur le site du PRRN.

Sur le bassin de risque, les hauteurs d'eau (m), les vitesses d'écoulement (m/s) et la rapidité de submersion (m/min) doivent être quantifiées ou qualifiées. Les mêmes méthodes que pour la submersion marine sont applicables pour déterminer les caractéristiques de l'aléa. Le schéma décision est cependant simplifié

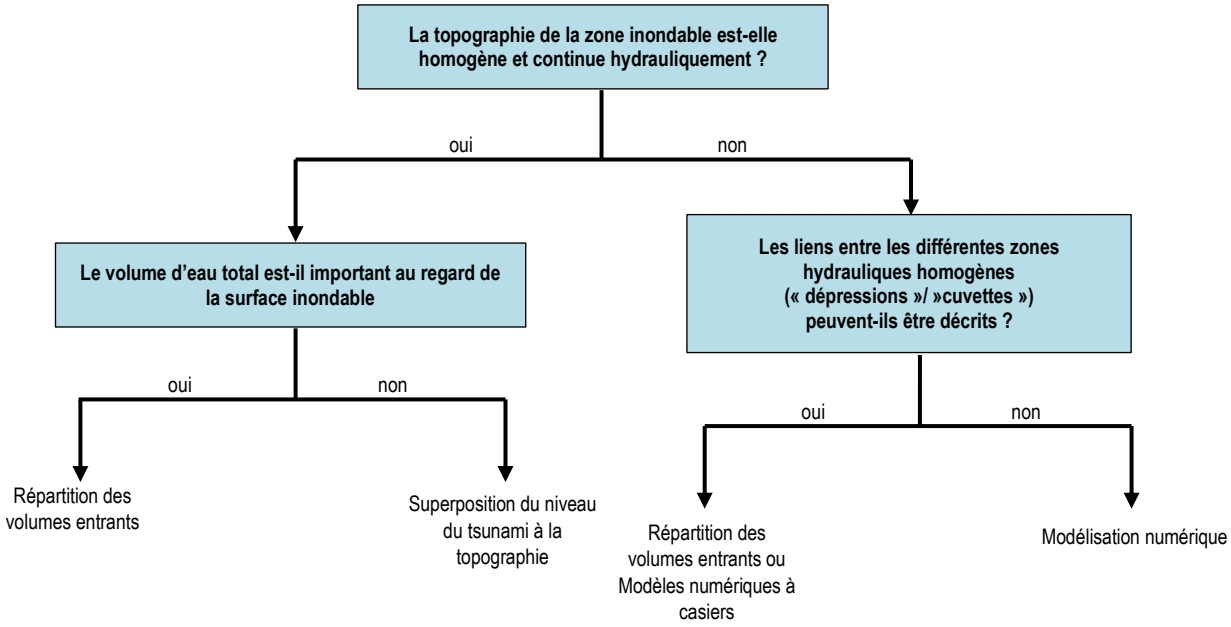


Figure 88 Adaptation au Tsunami de la démarche simplifiée de choix de la méthode de caractérisation de l'aléa submersion marine.

(Source Guide méthodologique Plans de Prévention des Risques Littoraux MEDDE 2014)

5.6.3.3.2. SUPERPOSITION DU NIVEAU DU TSUNAMI DE REFERENCE A LA TOPOGRAPHIE

La méthode consistant à superposer le niveau du tsunami de référence au relevé topographique permet d'appréhender de façon simple les zones soumises à la submersion Tsunami et suffisante pour approcher la zone soumise à l'aléa Tsunami. Cette méthode doit donc systématiquement être mise en œuvre. Elle est privilégiée sur Haïti dans toutes les zones ne présentant que des enjeux faibles (zones rurales ou semi-rurales).

Elle a cependant pour inconvénient principal de majorer dans de très nombreux cas l'aléa submersion Tsunami et dans d'autre cas de le sous-estimer.

Elle le surestime quand le Tsunami ne peut pas remplir l'ensemble de la zone inondable (c'est notamment le cas à Cap Haïtien où la large plaine côtière ne sera pas totalement remplie par les débordements générés par le Tsunami).

Elle peut le sous-estimer quand :

- la zone submersible est limitée (frange côtière). Un effet de run-up peut alors survenir, le tsunami remontant la pente par effet d'inertie. Dans ce cas, il est possible de prendre en compte comme sécurité une hauteur complémentaire de la moitié de la Hauteur du Tsunami (obtenu par transformation totale de l'énergie cinétique du Tsunami en énergie potentielle)
- par des effets urbains de concentration de l'eau dans les rues.

Dans les zones à enjeux (présence de bâtis ou projet à construction à venir), une analyse de la cartographie produite doit donc être réalisée pour déterminer si des études plus détaillées doivent être mises en œuvre pour prendre en compte certaines caractéristiques du site. Ainsi une étude complémentaire (soit par la méthode de répartition des volumes entrants, soit par modélisation numérique) doit être réalisée (voir chapitre submersion marine).

5.6.3.3.3. REPARTITION DES VOLUMES ENTRANTS SUR LA TOPOGRAPHIE

Lorsque les volumes entrants sont surestimés par la méthode de superposition du niveau du Tsunami à la topographie (marnage important ou obstacles à l'écoulement) et où la topographie arrière-littorale n'est pas trop complexe, c'est-à-dire s'il n'y a qu'une seule dépression, ou un nombre limité de dépressions dont les relations entre elles sont connues, une méthode simple peut être mise en œuvre.

Cette méthode consiste à déterminer les volumes entrants, par débordement (application d'une loi de seuil dénoyé, voir chapitre précédent sur les submersions marines d'origine cyclonique) sur l'ensemble du volume concerné par l'ensemble des vagues du Tsunami pouvant submerger.

Les zones inondées peuvent être déterminées via un outil SIG capable de calculer les volumes. La surface de l'eau de la zone inondée est alors considérée comme horizontale, les zones les plus basses sont considérées comme étant les premières remplies. Le volume compris entre le niveau du plan d'eau inondé et la topographie est égal aux volumes d'eau entrants. Les zones basses (« cuvettes ») les plus proches de la côte sont les premières remplies.

5.6.3.3.4. UTILISATION DE MODELES NUMERIQUES

Dans les cas les plus complexes, les méthodes citées précédemment ne sont pas adaptées et le recours à la modélisation numérique peut être nécessaire. Différents types de modèles numériques existent : modèles bidimensionnels, modèles à casiers, modèles vague à vague.

L'utilisation des modèles bidimensionnels est recommandée car elle s'avère opportune dès qu'une appréciation de la dynamique est nécessaire ou lorsque le fonctionnement du site est complexe et difficile à appréhender notamment zone urbaine. Ce type de modèle peut prendre en compte la résistance ou non des bâtiments. Les temps de calcul sont désormais très acceptables (de l'ordre de quelques heures) grâce aux puissances de calcul des ordinateurs qui ne cessent d'augmenter.

Voir pour plus de détail le chapitre submersion marine ainsi que la fiche outil n°1.6 relative à la modélisation hydraulique.

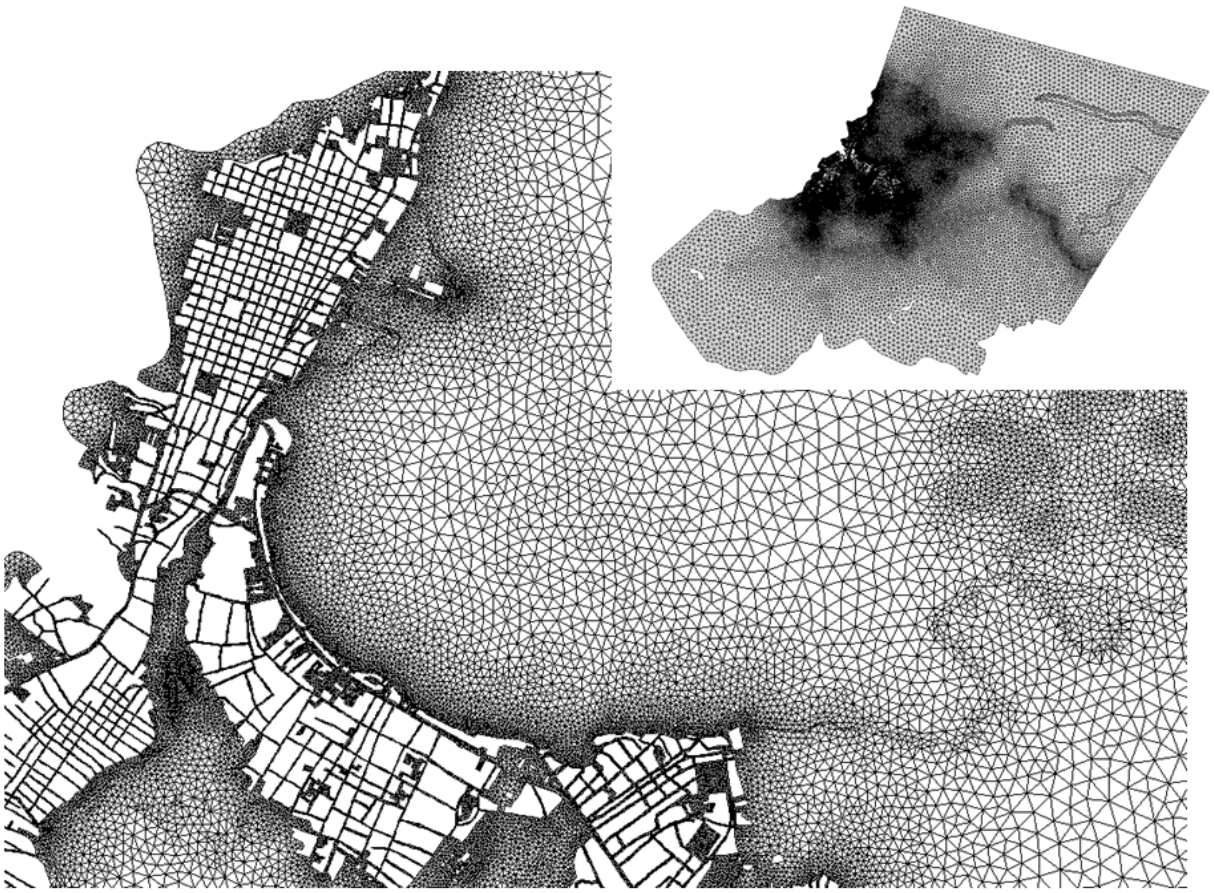


Figure 89 Exemple de modélisation 2D réalisée sur Cap Haïtien
(Source ARTELIA)

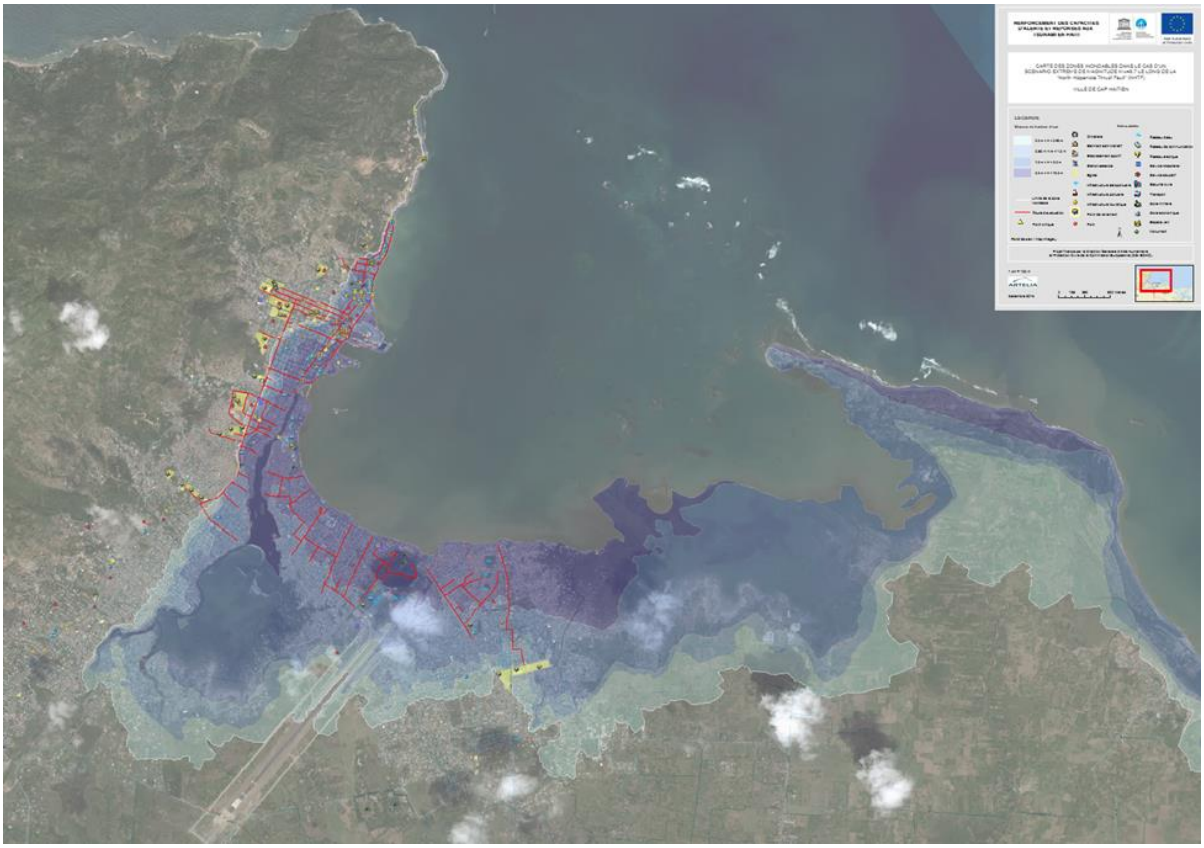


Figure 90 Exemple d'aléas Tsunami obtenu à partir d'une modélisation 2D réalisée sur Cap Haïtien
(Source ARTELIA)

5.6.3.4. QUALIFICATION DE L'ALEA SUBMERSION MARINE

5.6.3.4.1. MODE DE QUALIFICATION

Le mode de qualification de l'aléa Tsumani est identique à celui utilisé pour la submersion marine d'origine cyclonique. Il faut donc se référer au paragraphe 5.6.2.4.1 page 137 pour reprendre la démarche de qualification de l'aléa en détail.

Pour rappel :

- Le niveau d'aléa est déterminé par croisement des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement selon la grille d'aléa ci-dessous (grille également utilisée pour définir l'aléa inondation de rivière l'aléa et ruissellement urbain). A noter que cette grille est basée sur la capacité d'un adulte standard « non sportif en bonne santé » à se mouvoir, lui permettant ainsi d'échapper sans assistance au phénomène en cours. L'aléa submersion marine générée par Tsunami est décliné en quatre catégories faible, moyen, fort et très fort.

***La vitesse de montée des eaux ou la durée de submersion** peuvent, lorsqu'elles sont plus défavorables que la vitesse d'écoulement, **venir majorer le niveau de dynamique de submersion**. (voir Tableau 13 Détermination de l'aléa submersion en fonction de la dynamique de submersion, tableau à 3 classes,*

- (Source Guide méthodologique Plans de Prévention des Risques Littoraux, MEDDE 2014).

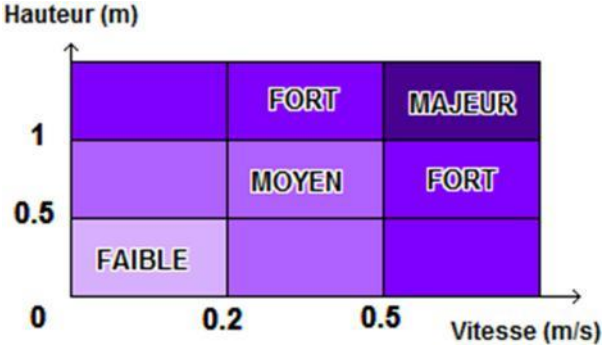


Figure 91 Définition des classes d'aléas issues de l'étude hydraulique,

(Source ARTELIA à partir du « Guide méthodologique Prévention des Risques Littoraux » MEDDE France, mai 2014)

5.6.3.4.2. RESULTATS ET CARTOGRAPHIES ATTENDUS

Les résultats obtenus par les différentes investigations réalisées sont fournis dans la note de présentation du PRRN :

- la liste des données et informations mobilisées,
- les méthodologies employées et la justification des hypothèses,
- les analyses menées,
- les résultats.
- la carte d'aléa Tsunami basée sur l'événement retenu par la méthodologie TMP (Tsunami Maximum Probable).

Les échelles de restitution de la cartographie doivent être *a minima* :

- Au 1/25000 pour les secteurs naturels ou ruraux sans enjeu fort (idéalement, l'échelle 1/10000 sera préférée)

- Au 1/5000 pour les secteurs urbains ou avec enjeux forts (idéalement, l'échelle 1/2000 sera préférée)

5.6.3.4.3. TRADUCTION DE L'ALEA EN REGLE DE BON USAGE DU SOL

Comme indiqué en introduction du chapitre « l'aléa submersion marine », la prise en compte de l'aléa tsunami dans des règles de bon usage du sol reste réservée aux bâtiments « sensibles » en projet (hôpitaux, centres de gestion de crise, écoles, etc…) dont on interdira la construction en zone d'aléa tsunami moyen ou fort.

En effet, de par les hauteurs d'eau atteintes et les fréquences d'apparition de ces phénomènes qui restent rares, il est difficile d'intégrer ces aléas Tsunami directement dans les règles de bon usage communes ce qui conduirait à supprimer toutes possibilités d'urbanisation sur une très large frange côtière.

Cependant, comme l'aléa submersion marine d'origine cyclonique intègre le changement climatique à horizon 100 ans, l'aléa Tsunami doit être pris en compte à l'aide du tableau ci-après.

Nature de la zone	Aléa de référence	Aléa TMP Tsunami		
		Faible	Modéré	Fort/Très fort
Naturelle	**Nul**	**vert**	**Rouge**	**Rouge**
	Faible	Rouge	Rouge	Rouge
	Modéré		Rouge	Rouge
	Fort/Très fort			Rouge
Urbaine (hors établissements sensibles(*) ou nécessaires à la gestion de crise)	**Nul**	**Vert**	**Vert**	**Vert**
	Faible	Vert	Vert	Vert
	Modéré		orange	Rouge
	Fort/Très fort			Rouge

Tableau 16 Intégration de l'aléa Tsunami dans l'urbanisme.

(Source Adaptation au Tsunami du Guide méthodologique « Plans de Prévention des Risques Littoraux » MEDDE mai 2014)

Ainsi, pour les parcelles destinées à recevoir des établissements sensibles (soit parce qu'ils reçoivent un public vulnérable, soit parce que ces établissements participent à la gestion de crise), les règles de bon usage du sol qui s'appliquent doivent intégrer l'aléa Tsunami.

Ainsi, une zone urbaine qui n'est soumise à aucun aléa submersion marine pour l'aléa de référence (2015) n'est soumise à aucune prescription particulière liée aux risques naturels.
Mais si cette même zone est soumise à un aléa Tsunami modéré, elle sera classée en zone verte (constructible sous condition), sauf pour les établissements sensibles qui ne seront interdits de construction (sauf dérogation spécifique).

(*) La construction d'un établissement sensible n'est pas acceptée si la zone est soumise à un aléa Tsunami modéré, fort ou très fort.

De même, une zone rurale, non soumise à un aléa submersion marine pour l'aléa de référence mais soumise à un aléa tsunami modéré, sera classée en zone rouge (non constructible).

Il est important de noter que ce tableau d'équivalence n'est qu'un exemple de ce qui peut être fait et qu'une adaptation au contexte haïtien en général, et de chaque commune en particuliers, peut être envisagée.

5.7. L'aléa cyclone vent violent

En région tropicale, des perturbations météorologiques d'origines, de dimensions et de durées de vie très variables peuvent engendrer **des vents violents, des pluies abondantes et des vagues dangereuses** parfois destructrices à la côte, surtout si elles accompagnent une onde de tempête engendrant une élévation du niveau de la mer.
L'effet de ces perturbations est souvent amplifié par le relief prononcé des îles des caraïbes et d'Haïti en particuliers.

Les cyclones sont parmi les plus dévastateurs des phénomènes météorologiques. Ils représentent un risque majeur pour l'ensemble des zones intertropicales et notamment pour le territoire haïtien.
En raison de la force du phénomène, et en dépit des progrès effectués dans sa compréhension et dans les mesures de surveillance, les cyclones sont chaque année à l'origine de bilans humains et économiques très lourds.
Les ouragans font, en moyenne et sur la planète entière, environ 6000 morts par an.

Cyclones, Ouragans et Typhons :
Il s'agit du même phénomène, nommé différemment en fonction du lieu géographique :

- **Ouragans dans les Caraïbes,** dans l'océan Atlantique Nord, le golfe du Mexique et dans l'océan Pacifique Nord-Est et Sud-Ouest.
- Typhons dans l'Océan Pacifique Nord-Ouest
- Cyclones dans l'Océan pacifique Sud-Ouest et dans l'océan indien Sud-Ouest

Le phénomène cyclonique se manifeste essentiellement par :

- Des vents d'autant plus violents que l'intensité du cyclone est forte (vents pouvant dépasser 200 km/h).
- De très fortes pluies (pouvant dépasser les 100 mm /h) entraînant des inondations avec débordement de cours d'eau et des inondations par ruissellement en fonction du relief et de la nature des sols (en pied de versant, en ville, etc…). Ces fortes pluies peuvent également entraîner des mouvements de terrain (glissements, coulée de boue …) qui peuvent, à leur tour, aggraver les problématiques d'inondations et de ruissellements.
- Une houle cyclonique importante sur le littoral (vagues de plusieurs mètres de hauteur à proximité du centre).
- Une marée cyclonique correspondant à une élévation générale du niveau de la mer pendant quelques heures, à proximité du centre du cyclone.
- Ces deux derniers points accentuent les inondations des cours d'eau à proximité de leur exutoire en mer en imposant des conditions hydrauliques aval très pénalisantes (houle et marée).

Figure 92 Dégâts dus aux rafales d'environ 200 km/h de l'ouragan Dean (Martinique, août 2007- Photo JL Vuillet)
Source DDRM Martinique

La menace est présente toute l'année mais particulièrement en saison des pluies de juin à novembre, avec un pic de risque lié aux cyclones entre juillet et octobre.
Chaque année, ces épisodes météorologiques dangereux peuvent provoquer des dégâts considérables de par leurs conséquences directes (vents violents) ou indirectes en termes d'inondations, de glissements de terrains ou coulées de boues, de submersion marine ou autres.

Face à la puissance et à l'étendue de ces phénomènes, il est toutefois possible de réduire les dégâts causés notamment grâce à la surveillance météorologique et à l'alerte de la population, ainsi que par des mesures d'ordre réglementaire et constructif.
En particuliers, l'application des consignes de mise en sécurité dans les heures qui précédent l'événement cyclonique par les populations concernées est fondamentale pour réduire les dommages aux personnes et aux biens.

Tous ces éléments sont développés dans :

- La section 2 (ouvrages de mitigation à l'échelle du bâti)
- La section 3 (la planification de la gestion des risques et désastres)
- La section 4 (information et sensibilisation)
- La section 5 (les formations techniques)

5.7.1. COMPRENDRE ET CARACTERISER LE RISQUE

Dans l'espace caraïbe, un cyclone tropical est une perturbation météorologique tourbillonnaire présentant en surface un centre de basse pression atmosphérique et des vents qui tournent autour dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Le rayon d'action des vents forts et l'étendue de la masse nuageuse et pluvieuse associée sont très variables et peuvent aller d'une centaine à plus d'un millier de kilomètres.

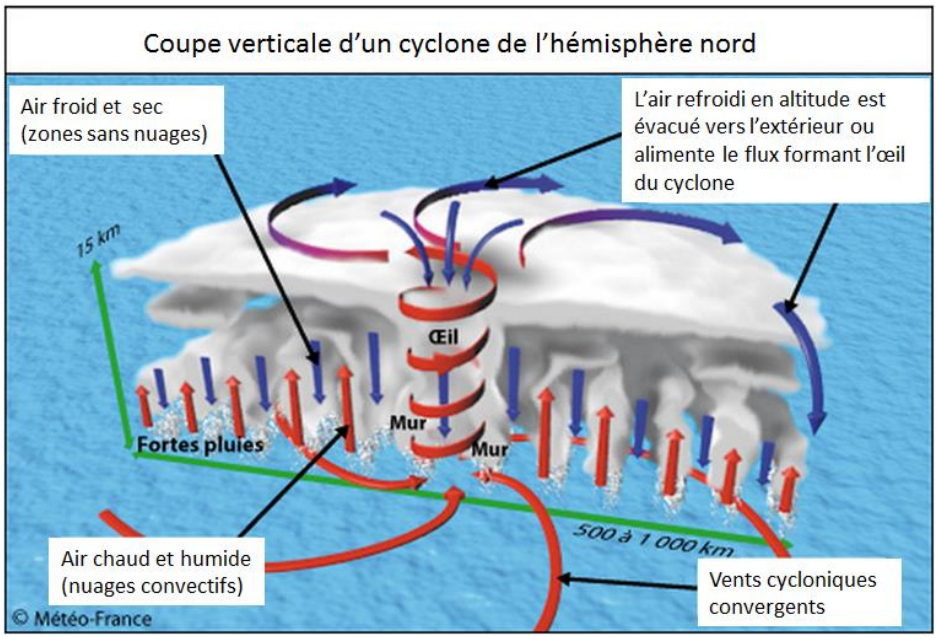


Figure 93 Coupe verticale d'un cyclone
Source Météo France

5.7.1.1. LA FORMATION D'UN CYCLONE

Un cyclone se forme toujours sur l'eau. Ils naissent donc au-dessus de l'océan près de l'équateur sous l'effet d'une forte évaporation qui déclenche des vents convergents. L'air froid s'insinue sous l'air chaud qui se soulève : la dépression se creuse. L'air chaud rentre alors en contact avec le jet stream (vents à 400 km par heure) qui accélère les vents.

Les conditions suivantes sont nécessaires à la formation d'un cyclone :

- Température de la mer supérieure à 27°C sur au moins 60 m de profondeur.
- Forte humidité et instabilité atmosphérique, faible cisaillement vertical des vents.
- Latitude supérieure à 5 degrés pour que les effets de la force de Coriolis soient sensibles.
- Une ascendance d'air humide et chaud (supérieur à 26,5°C).
- Une faible rugosité du sol donc surtout en mer et sur les côtes.

5.7.1.2. CLASSIFICATION DES CYCLONES

Les ouragans ou cyclones sont différenciés en 3 classes en fonction uniquement de la force maximale des vents moyens générés : dépressions tropicales, tempêtes tropicales et ouragans.

Types et catégories des cyclones	Vitesse maximale des vents	Pressions atmosphériques dans l'œil du cyclone en hPa.	observations
Dépression Tropicale	62 km/h et moins		

Tempête Tropicale	De 63 à 117 km/h		Pluies très abondantes
OURAGAN de catégorie 1	De 118 à 153 km/h	$P_{œil} \geq 980$ hPa	Pluies diluviennes, très forte houle, marée de tempête encore faible
OURAGAN de catégorie 2	De 154 à 177 km/h	$965 \leq P_{œil}$ (hPa) ≤ 979	Pluies diluviennes, très forte houle, marée de tempête <2.5 m
OURAGAN de catégorie 3	De 178 à 209 km/h	$945 \leq P_{œil}$ (hPa) ≤ 964	Pluies torrentielles, très forte houle, marée de tempête de plusieurs mètres par endroits
OURAGAN de catégorie 4	De 210 à 249 km/h	$920 \leq P_{œil}$ (hPa) ≤ 944	Pluies torrentielles, très forte houle, marée de tempête allant jusqu'à 4m mètres par endroits
OURAGAN de catégorie 5	250 km/h et plus	$P_{œil} < 920$ hPa	Pluies torrentielles, houle énorme, marée de tempête > 4m

Figure 94 Echelle de Saffir-Simpson pour la classification des cyclones
Source PPR de Sainte Luce - Préfecture de la Martinique - France

La Dépression Tropicale (DT) correspond à des vents moyens ne dépassant pas 62 km/h. La DT est numérotée, la première de l'année en début de saison portant le numéro 1. Les vents restant modérés, le risque est essentiellement lié aux fortes pluies et à leurs cumuls avec toutefois quelques rafales pouvant dépasser 80 km/h.

La Tempête Tropicale (TT) correspond à des vents moyens compris entre 63 et 117 km/h. Le cyclone est alors baptisé à partir de listes de prénoms préétablies par le National Hurricane Center (NHC) de Miami, responsable désigné dans la zone par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM).

2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ana	Alex	Arlene	Alberto	Andrea	Arthur
Bill	Bonnie	Bret	Beryl	Barry	Bertha
Claudette	Colin	Cindy	Chris	Chantal	Cristobal
Danny	Danielle	Don	Debby	Dorian	Dolly
Erika	Earl	Emily	Ernesto	Erin	Edouard
Fred	Fiona	Franklin	Florence	Fernand	Fay
Grace	Gaston	Gert	Gordon	Gabrielle	Gonzalo
Henri	Hermine	Harvey	Helene	Humberto	Hanna
Ida	Ian	Irma	Isaac	Imelda	Isaias
Joaquin	Julia	Jose	Joyce	Jerry	Josephine
Kate	Karl	Katia	Kirk	Karen	Kyle
Larry	Lisa	Lee	Leslie	Lorenzo	Laura
Mindy	Matthew	Maria	Michael	Melissa	Marco
Nicholas	Nicole	Nate	Nadine	Nestor	Nana
Odette	Otto	Ophelia	Oscar	Olga	Omar
Peter	Paula	Philippe	Patty	Pablo	Paulette
Rose	Richard	Rina	Rafael	Rebekah	Rene
Sam	Shary	Sean	Sara	Sebastien	Sally
Teresa	Tobias	Tammy	Tony	Tanya	Teddy
Victor	Virginie	Vince	Valerie	Van	Vicky
Wanda	Walter	Whitney	William	Wendy	Wilfred

Tableau 17 Liste des prénoms pré-établie par le National Hurricane Center
Source National Hurricane Center http://www.nhc.noaa.gov/aboutnames.shtml

L'Ouragan, si le cyclone est mature avec des vents moyens dépassant 117 km/h. Une classification, basée sur l'échelle de Saffir-Simpson, est utilisée pour une meilleure discrétisation des ouragans, uniquement en fonction de la force des vents moyens. Elle comporte 5 catégories, les trois dernières (3, 4 et 5) correspondant à des ouragans dits intenses ou majeurs.
A ce stade, le cyclone peut présenter en son centre un œil bien formé, de 30 à 60 km de diamètre en moyenne, dans lequel le ciel est souvent dégagé et les vents quasiment nuls. Toutefois, dans sa périphérie immédiate se forme la partie la plus active et dangereuse de l'ouragan, le mur de l'œil. On y trouve d'énormes nuages pluvio-orageux, se développant jusqu'à plus de 10 km d'altitude et les vents les plus forts.

Figure 95 Œil de l'ouragan ISABEL (2003) vu depuis la station spatiale internationale
(Photo NASA – Source DDRM Martinique)

Pour les cyclones nommés (tempêtes tropicales et ouragans), le vent, qui peut varier très rapidement en intensité et en direction, représente forcément un danger supplémentaire.
Il est souvent fortement amplifié par l'altitude et les effets de relief ou effet venturi et peut provoquer des dégâts considérables sur la végétation, les réseaux (électriques, téléphoniques), les habitations, etc. Il peut aussi arracher et transporter violemment des éléments transformés en projectiles très dangereux (tôles de toits par exemple).
Des vitesses supérieures à 200 km/h peuvent être observées (l'ouragan Allen a balayé la côte sud et plus particulièrement la région des Cayes avec des vents de plus de 270km/h en 1990).

Sur les vingt dernières années, Haiti a été touchée par une dizaine d'ouragans repris ci-dessous.

1994	12 et 13 octobre : l'ouragan Gordon traverse le département du Sud-Est et la péninsule du Sud provoquant des inondations et faisant environ 2000 morts et disparus.
1998	23 septembre : l'ouragan Georges dévaste les régions du Sud-Est et du Nord-Ouest d'Haïti faisant 147 morts, 34 blessés graves, 40 disparus, et 167 500 sinistrés.
2004	10 septembre : l'ouragan Ivan frappe la péninsule du Sud et la côte Ouest causant, dans diverses régions, d'importants dégâts matériels dus aux inondations. 18-19 septembre : l'ouragan Jeanne traverse la bande septentrionale d'Haïti et le Haut Artibonite causant des inondations qui ont fait 1 870 morts. Le bilan s'élève à 2 620 blessés, de 846 disparus et de 300 000 sinistrés et avec plus de 3 000 morts, Gonaïves, est la ville la plus durement frappée.
2005	6 et 7 juillet: l'ouragan Denis touche la côte sud-est d'Haïti, provoquant des inondations dans plusieurs villes du Sud (Bainet, Grand-Goave, Les Cayes…).

	17-18 octobre : l'ouragan Wilma touche l'ouest et le sud d'Haïti. 23 octobre : la tempête tropicale Alpha traverse la presqu'île du Sud dont les départements de la Grande Anse et de Nippes. 25 octobre: Inondations provoquées par des pluies torrentielles qui se sont abattues dans plusieurs régions du Nord-Ouest dont les communes de Port-de-Paix, de Bassin-Bleu, de Anse-à-Foleur et de Saint-Louis du Nord.
2008	16 août : la tempête tropicale Fay traverse tout le pays et ravage les cultures. 26 août : l'ouragan Gustav traverse la presqu'île du Sud dont les départements du Sud et de la Grande Anse faisant environ 77 morts et 8 disparus avec des dégâts matériels importants. 15 000 familles ont été affectées par la tempête qui détruisit 3 000 maisons et endommagea 11 458 autres. 1er septembre : l'ouragan Hanna ravage les départements de l'Artibonite et du Nord-Est. Plusieurs villes sont inondées dont Gonaïves. La ville est inondée et en certains endroits l'eau atteint deux mètres. De nombreux habitants sont réfugiés sur les toits des maisons depuis hier soir pour fuir la montée des eaux. Le bilan officiel fait état d'un mort. À côté des Gonaïves plusieurs villes plusieurs villes du Nord-Est, du Sud et du Sud-Est ont été inondées. 6 septembre : l'ouragan Ike, classé dans la catégorie 4, effleure les côtes septentrionales d'Haïti provoquant de fortes pluies dans les départements du Nord, de l'Ouest et du Nord-Ouest.
2012	24-25 août : l'ouragan Isaac provoque des inondations et de violents coups de vent dans les départements du Sud-Est et de l'Ouest qui avaient été touchée lors du séisme de janvier 2010 faisant 19 morts dont 6 dans le Sud-Est, 5 dans l'Ouest et 2 dans l'Artibonite. 24 octobre : Les pluies diluviennes de l'Ouragan Sandy frappent les départements de l'Ouest, du Sud et de la Grand'Anse. Au moins 200 000 personnes sont sans abri, de 60 à 100 personnes seraient mortes, une nouvelle épidémie de choléra s'est répandue, et 70 % des récoltes du sud du pays furent détruites.
2013 et 2014	Pas d'évènement cyclonique marquant ayant impacté Haïti

5.7.2. QUALIFICATION DE L'ALEA CYCLONE VENT VIOLENT

➘ **Les conséquences indirectes des ouragans** ont été traitées dans les chapitres précédents relatifs :

- aux aléas inondations (voir chapitre 5.2),
- aux ruissellements (voir chapitre 5.3),
- aux mouvements de terrain (voir chapitre 5.4),
- aux submersions marines (voir chapitre 5.6).

Ce chapitre est uniquement consacré à l'aléa généré par <u>les vents violents.</u>

Les trajectoires des ouragans sont variables avec des changements d'intensité et de direction parfois brusques et multiples. Le rayon d'actions de ces vents violents, très variable aussi, peut dépasser plusieurs centaines de kilomètres.
Il n'est donc pas possible, comme pour les autres aléas (inondation, ruissellement pluvial, submersion marine, mouvements de terrain…), d'établir une cartographie de « l'aléa vent violent » sur un territoire donné et pour un événement de référence (cyclone d'occurrence centennale par exemple) qui mettrait en évidence, « une fois pour toute », des zones particulièrement exposées aux vents violents et d'autres zones au contraire particulièrement épargnées par cet aléa.

Sur le territoire Haïtien, l'aléa vent violent (d'origine cyclonique) ne dépend pas ou très peu de la position géographique mais bien de l'événement cyclonique lui-même. **Aucun site n'est donc à l'abri et toutes les communes de l'île sont susceptibles d'être affectées par les effets dévastateurs des vents sur le bâti, les infrastructures, les cultures et l'environnement.**

L'extrait de carte ci-après permet de visualiser la formation, la trajectoire, la variation d'intensité puis l'extinction des événements cycloniques les plus marquants de l'année 2014.

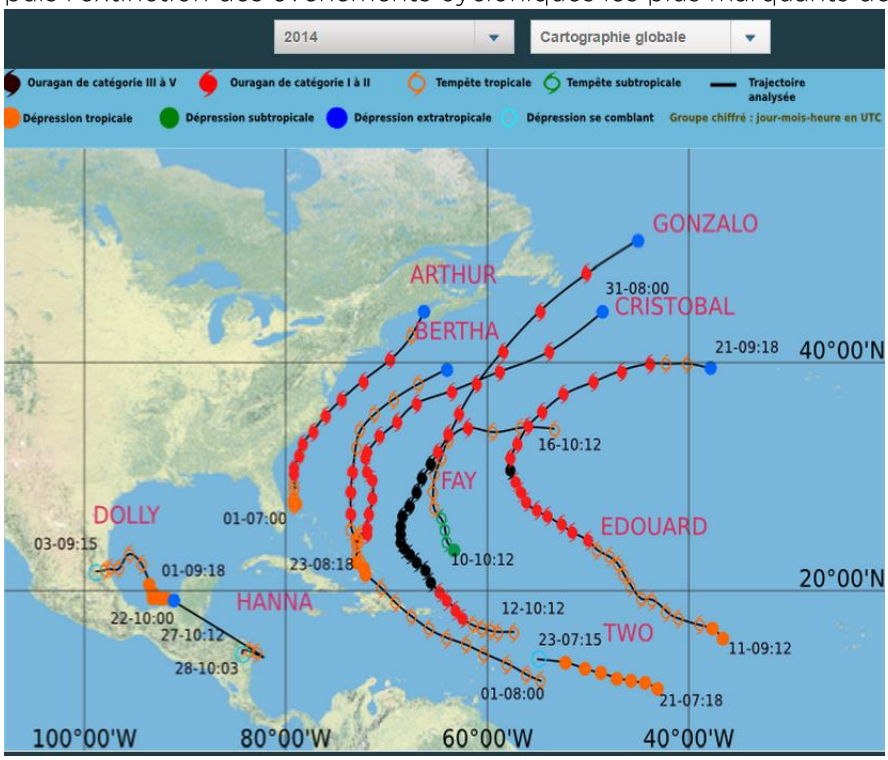


Figure 96 Saison cyclonique 2014 Caraïbe
(Source site internet METEOFRANCE)

Remarques :

La proximité de cours d'eau, de relief et de zones pentues peut accentuer le risque par rapport aux fortes pluies et aux mouvements de terrain liés au passage de l'ouragan. De même, pour les communes littorales s'ajoute le risque de houle cyclonique et de marée de tempête qui peuvent créer des surcotes engendrant des submersions marines. ***Ces éléments ont été traités dans les chapitres dédiés aux aléas inondations, ruissellements, mouvements de terrain et submersions marines et ne sont pas repris ici.***

Concernant les vents violents, certains secteurs sont plus exposés ou plus vulnérables à cet aléa que le reste du territoire (effet Venturi entre des reliefs qui se resserrent par exemple, point haut d'un relief, etc…). Des règles de bon sens sur l'usage des sols (visant à interdire ou à limiter fortement urbanisation) devront être établies (voir paragraphe 5.7.2.3.1).

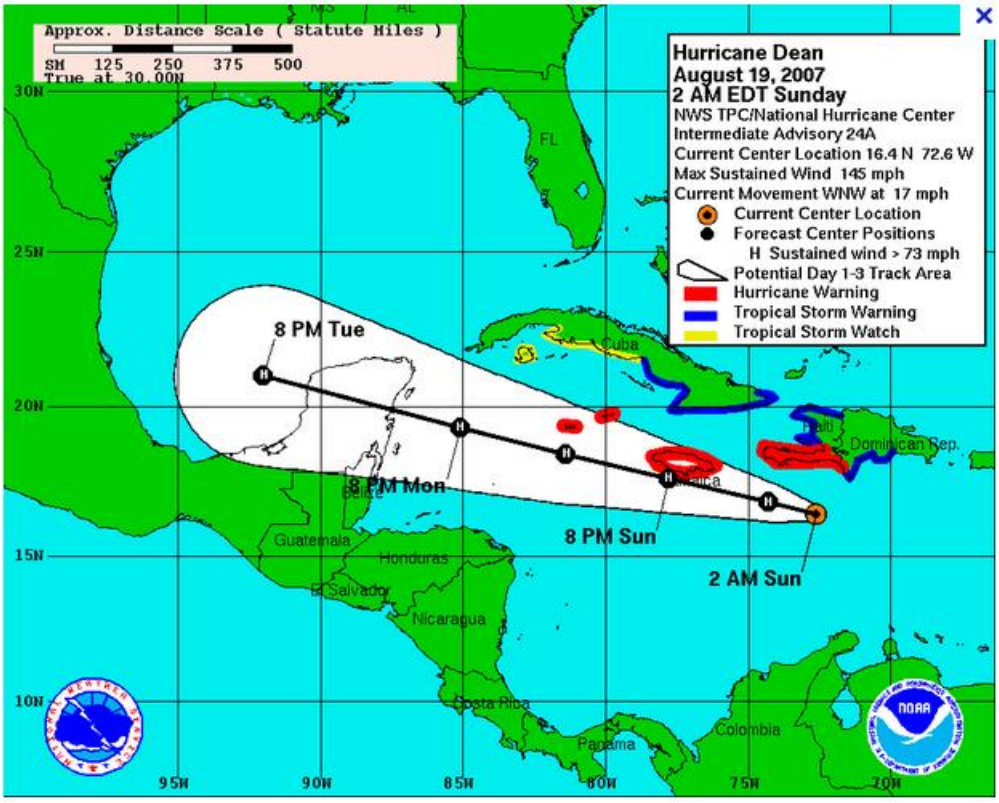
5.7.2.1. LA SURVEILLANCE ET LE CLASSEMENT DES DEPRESSIONS TROPICALES

La surveillance météorologique est une mission fondamentale dans la prévention du risque cyclonique.
La surveillance de la naissance des dépressions tropicales et de leur évolution (en trajectoire et en intensité) doit permettre d'établir, pour les dépressions tropicales ou ouragans dont la trajectoire menace Haiti, un niveau de danger relatif à chaque événement en temps réel sur tout le territoire.
Ce niveau de danger, va évoluer dans le temps en fonction de l'intensité de l'évènement et en fonction de sa trajectoire.
L'affichage et la communication de ce niveau de danger va permettre de déclencher les différentes phases d'alertes et de mise en protection des populations.

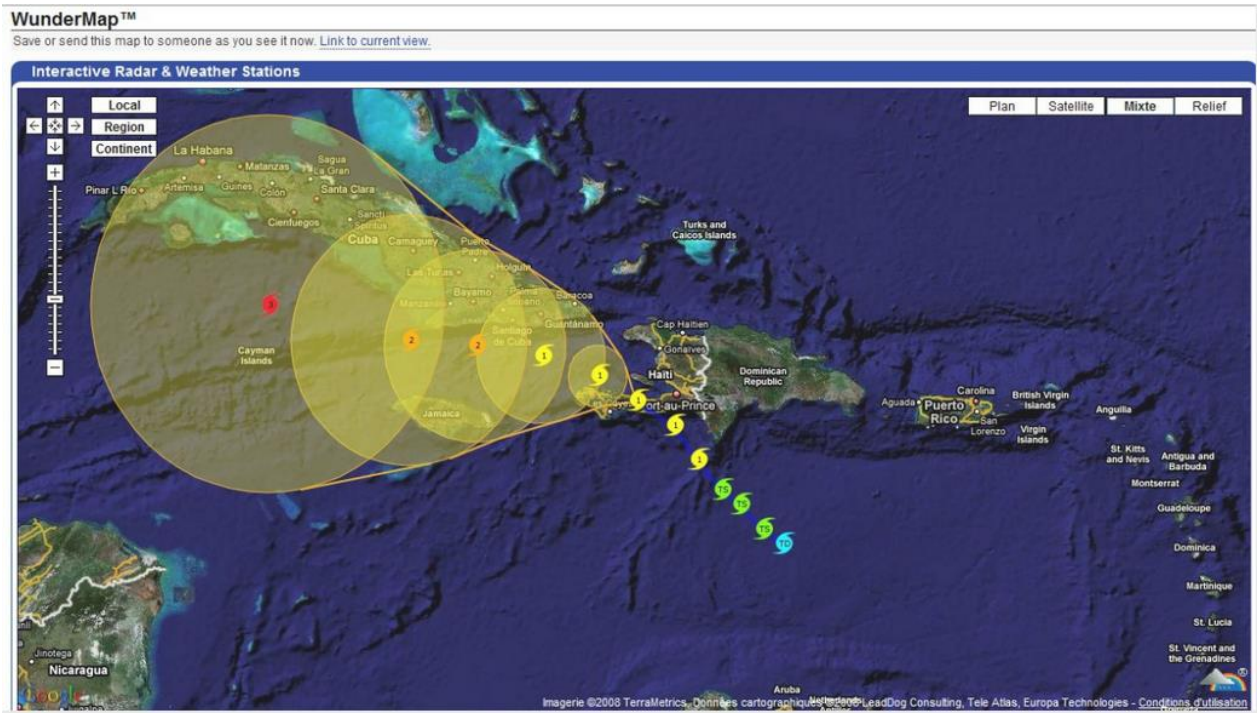
L'Organisation Météorologique Mondiale, qui coordonne la veille cyclonique au plan international, a désigné dans chaque bassin océanique un centre météorologique régional spécialisé (CMRS).

Ces centres ont pour vocation de détecter les phénomènes dès que possible, de prévoir leur évolution (intensification éventuelle, trajectoire) et de diffuser des messages à tous les centres météorologiques de la région concernée (le relais est alors donné aux services météorologiques nationaux).

Sur la mer des Caraïbes, le golfe du Mexique, l'Atlantique Nord et sur la partie orientale du Pacifique Nord, c'est le National Hurricane Center de Miami (NHC), Centre des ouragans du Service météorologique des états unis (NWS) relevant de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) qui réalise cette surveillance.
Les informations sont ensuite traitées et relayées par le Centre National de Météorologie d'Haïti (CNM). Sur la base de ces éléments, l'alerte sera donnée par le SPGRD et la DPC.
L'efficacité des mesures préventives nécessite de pouvoir répercuter, rapidement et efficacement, les informations apportées par la surveillance météorologique (évolution et intensité du phénomène) aux autorités administratives et à la population concernées.



Bulletin National Hurricane Center (NOAA)
https://planetevivante.wordpress.com/2007/08/19/suivi-du-cyclone-dean/



Suivi du cyclone Gustav
https://planetevivante.wordpress.com/2008/08/page/2/

5.7.2.2. LES DEGRES D'ALERTE

A partir des éléments communiqués par le CNM d'Haïti, l'alerte donnée par le SPGRD et la DPC est caractérisée par **deux informations** : Les niveaux de pré alertes ou d'alertes cycloniques (qui qualifient **l'imminence du danger**) et le niveau d'alerte à inondation/vent violent (qui rend compte de **l'intensité du phénomène redouté**).

Ainsi, classiquement, l'annonce faite par le SNGRD et la DPC sera du type « **une phase de pré-alerte 2 au niveau de vigilance rouge** » ce qui signifie que le cyclone est encore loin (de 36 à 48 heures environ) mais que l'intensité redoutée est très forte.

La fiche outil 4.1 détaille l'ensemble des consignes à mettre en œuvre par la population en fonction des différents degrés d'alerte.

5.7.2.2.1. LES NIVEAUX DE PRE ALERTES ET D'ALERTES CYCLONIQUES

La pré-alerte 1

La pré-alerte 1 est déclenchée dès qu'un phénomène cyclonique identifié risque de concerner Haïti et au moins 72 h avant son passage.
Cette information est destinée :

- aux autorités des ministères de l'agriculture et de l'Intérieur,
- aux Délégués,
- aux élus locaux,
- aux Comités Communaux de la Protection Civile,
- aux services et organismes opérationnels

A ce stade de pré-alerte 1, il s'agit d'une mise en garde et en vigilance des différents services et organisme de de l'état. Le public n'est pas informé.

La pré-alerte 2

La pré-alerte 2 est déclenchée 36 à 48 heures, avant le passage du phénomène.

Cette information est destinée aux mêmes acteurs que précédemment **et au grand public à travers les différents médias.** Les premières consignes de sécurité s'appliquent, visant à préparer les populations avant l'événement (sécurisation des fenêtres, rassemblement des animaux, plein d'essence…).

L'alerte 1

L'alerte 1 est déclenchée 10 à 20 heures avant le passage du phénomène.

Cette information est destinée aux mêmes acteurs que précédemment et **au grand public à travers les différents médias.** Les actions de protection avant l'événement s'intensifient (déplacement des secteurs sensibles vers les zones sécurisées, début de limitation des déplacements, mise des animaux dans les abris, déplacements des objets lourds qui pourraient tomber, enlèvement et protection des objets présents dans les maisons, …)

L'alerte 2

L'alerte 2 est la CONFIRMATION du passage du phénomène. Elle est déclenchée juste avant le passage (de 5 à 10 heures avant) et pendant le passage du cyclone

Cette information est destinée aux mêmes acteurs que précédemment et au grand public à travers les différents médias. Les consignes de confinement s'appliquent pleinement (ne pas sortir des maisons, débrancher l'électricité, ne pas faire de feu, etc…

La phase des secours

La phase des secours est déclenchée après le passage du Phénomène.
Cette information est destinée aux mêmes acteurs que précédemment et au grand public à travers les différents médias. Les différentes consignes visent à interdire (ou limiter très fortement) la circulation, à autoriser les populations à sortir uniquement aux abords de leurs habitations afin de favoriser et faciliter l'organisation des secours.

Levée du plan

Cette information, signifiant un retour à une situation normale, est destinée aux mêmes acteurs que précédemment et au grand public à travers les différents médias.

5.7.2.2.2. LES NIVEAUX D'ALERTE A L'INONDATION

L'annonce du niveau d'alerte cyclonique (voir précédemment) est complétée par l'annonce d'un niveau d'alerte à inondation qui caractérise l'intensité du phénomène redouté. Ce niveau d'alerte à l'inondation peut être jaune, orange ou rouge en fonction de l'intensité ou la durée de l'évènement pluvieux à venir.

L'alerte jaune

L'alerte jaune est déclenchée suite aux précipitations dues :

- A une perturbation de 3 à 6 heures de pluie continue, d'intensité modérée à forte 50 à 80 mm.
- A une convection locale, avec de 3 à 4 jours consécutifs de pluie modérée à forte 20-30 mm.

L'alerte orange

L'alerte jaune orange est déclenchée suite aux précipitations dues :

- A un cyclone, avec de 6 à 12 heures de pluie continue d'intensité modérée à forte, générant 80-120 mm de pluie.
- Convection locale avec 5 jours consécutifs de pluie modérée à forte.

L'alerte rouge

L'alerte rouge est déclenchée suite aux précipitations dues :

- À un front froid avec plus de 12 heures de pluie modérée à forte générant plus de 120 mm.
- À une Convection locale, avec 6 jours consécutifs de pluie modérée à forte
- À une onde d'est intense avec une Pluie abondante sous forme d'averses.

5.7.2.3. CARTOGRAPHIE DE L'ALEA VENT VIOLENT ET REGLES DE BON USAGE DES SOLS

Comme expliqué précédemment, l'aléa vent violent sur le territoire haïtien (les autres aléas générés par un événement cyclonique étant traités dans les chapitres précédents) ne dépend pas ou très peu de la position géographique mais bien de l'événement cyclonique lui-même. Aucun site n'est donc à l'abri et toutes les communes de l'île sont susceptibles d'être affectées par les effets dévastateurs des vents sur le bâti, les infrastructures, les cultures et l'environnement.

Il n'est donc pas possible d'établir, « une fois pour toute » une carte d'aléa vent violent. Des cartes avoisinantes seront établies par le CNM via le NHC plusieurs fois par jour pendant l'événement cyclonique.

En revanche, certains secteurs sont plus exposés ou plus vulnérables à cet aléa vent violent que le reste du territoire et des règles de bon sens sur l'usage des sols (visant à interdire ou à limiter fortement l'urbanisation) devront être établies :

- sur des sites présentant des caractéristiques topographiques qui leur confèrent une trop grande exposition aux vents (défilés montagneux, sommet de relief, entonnoir générant des effets venturi,...). L'identification de ces sites sera réalisée de manière empirique sur la base des témoignages recueillis lors des enquêtes de terrain (aucune modélisation n'est nécessaire).

- sous les lignes électriques haute tension (du fait du risque d'électrocution et d'incendie).

La cartographie de ces secteurs (zones prédisposées aux vents violents et zones situées sous les lignes électriques haute tension) sera réalisée, comme pour les autres cartes, avec les échelles suivantes

- Au 1/25000 pour les secteurs naturels ou ruraux sans enjeu fort (idéalement, l'échelle 1/10000 sera préférée)
- Au 1/5000 pour les secteurs urbains ou avec enjeux forts (idéalement, l'échelle 1/2000 sera préférée)

5.7.2.3.1.TRADUCTION DE CES ZONES EN REGLE DE BON USAGE DU SOL

Comme mentionné précédemment, les règles de bon usage du sol sur ces secteurs particulièrement prédisposés ou particulièrement sensibles aux vents violents viseront à interdire toute construction nouvelle (ou à limiter très fortement urbanisation).

A noter que de nombreuses mesures constructives permettent de minimiser les impacts des vents violents sur l'habitat. Ces mesures sont décrites dans la section 2 « Protection de l'existant » au chapitre 3 « les mesures de mitigation à l'échelle du bâti ».

5.8. Synthèse des aléas

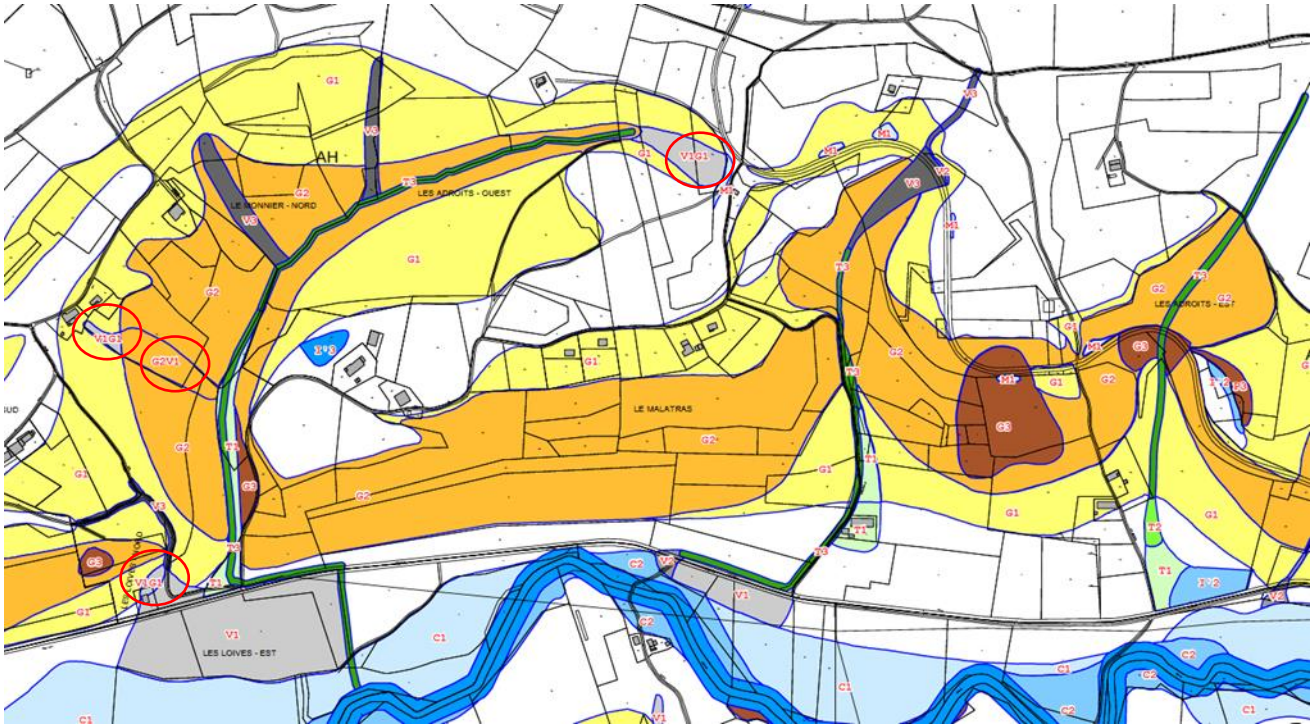
Après avoir déterminé sur l'ensemble de la zone d'étude les différents aléas (inondations, ruissellement, mouvements de terrain, submersion littorale et séisme), il est nécessaire de synthétiser toutes ces informations sur une seule carte, afin de déterminer des zones homogènes, aléas tous confondus.

Chaque aléa reste identifié sur cette cartographie par une lettre et un indice représentant respectivement le type d'aléa et son niveau, une même zone pouvant être concernée par plusieurs aléas.

A noter que comme cela a été précisé dans le chapitre précédent, l'aléa Vent Violent d'origine cyclonique n'est pas cartographiable. En effet l'aléa très fort couvre potentiellement la totalité du territoire. En revanche, les zones prédisposées aux vents violents et les zones situées sous les lignes électriques haute tension seront cartographiées.

Phénomène	Intensité du phénomène	symbole
Inondation	De faible à majeur	De I1 à I4 (i majuscule)
Ruissellement	De faible à majeur	De R1 à R4
Chute de pierres, de blocs et éboulements	De faible à majeur	De P1 à P4
Glissement de terrain	De faible à majeur	De G1 à G4
Laves torrentielles ou coulées boueuses	Fort ou majeur	L3 ou L4
Erosion / ravinement des sols	Fort ou majeur	L3 ou L4
Submersion marine	De faible à majeur	De SM1 à SM4

La superposition de toutes les tables (ou couches) relatives aux différents aléas va permettre de distinguer des zones homogènes tous aléas confondus par intersection des différents polygones avec le logiciel SIG.



Inondations :	Faible	Moyen	Fort
Crues rapides des rivières	C1	C2	C3
Inondations en pied de versant	I'1	I'2	I'3
Zones marécageuses	M1	M2	M3
Crues des torrents et des ruisseaux torrentiels	T1	T2	T3
Ravinements et ruissellements sur versant	V1	V2	V3
Mouvements de terrain :			
Glissements de terrain	G1	G2	G3
Chutes de pierres et de blocs			R3

Il faut noter que de nombreux secteurs ne sont concernés que par un seul aléa mais qu'il y a également des secteurs concernés par 2 voire 3 aléas différents (zone encerclée de rouge sur la figure ci- dessus).

Figure 97 Extrait d'une carte PPR Multi-Risques
(Source Alpgéorisques PPRN Roybon)

Il faut préciser ici que cette carte peut s'avérer complexe à lire de par les nombreux index qui la composent mais qu'il est indispensable de passer par cette étape de compilation des différents aléas avant de déterminer la carte des risques puis la carte de zonage de bon usage du sol.
Il faut également préciser que cette carte n'a pas pour vocation d'être utilisée par les communes ou par les aménageurs. Cette carte reste une carte de travail, étape intermédiaire avant la production de cartes plus simples qui seront diffusées et utilisées dans la gestion de l'urbanisme.

6. DETERMINER LES ENJEUX

6.1. Objectifs

L'évaluation des enjeux est une étape clé qui permet d'assurer la meilleure cohérence entre les objectifs de réduction des risques et les dispositions réglementaires qui seront retenues. Elle sert d'interface avec la carte des aléas **pour délimiter le plan de zonage réglementaire**, préciser le contenu du règlement, **et formuler un certain nombre de recommandations sur les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde**.

L'appréciation des enjeux sert aussi à :

- **Identifier les zones** où les aléas naturels doivent être caractérisés précisément notamment sur les secteurs présentant actuellement de nombreux enjeux ou sur lesquels des enjeux futurs sont prévus (un projet d'aménagement urbain d'intérêt communal par exemple).

- **Porter une attention aux enjeux particuliers** que sont les Etablissements Recevant du Public (ERP), les établissements recevant des personnes sensibles (hôpitaux, établissements scolaires etc…) ou les établissements stratégiques, utiles en temps de crise (centres de secours, services de police, mairies…) et nécessitant des mesures spécifiques et prioritaires au regard du règlement du PRRN et au regard de l'organisation des secours en cas de crise.

- **Comprendre le fonctionnement global du territoire** afin d'adapter les règles d'urbanisme et de construction aux réalités locales tout en respectant les principes de la politique de réduction des risques naturels : interdire les constructions en zone à risque fort, pour les biens et les personnes les plus exposées, engager si nécessaire des mesures de relocalisation, ou prescrire des mesures de réduction de la vulnérabilité dans les autres zones à risques.

L'évaluation des enjeux doit être précise car la pertinence et la mise en œuvre des mesures du règlement du PRRN en dépendent, de même qu'en dépend l'appropriation de la démarche par les acteurs locaux concernés.

6.2. Typologie de l'occupation du sol

La démarche de collecte des informations est précisée dans le chapitre3 de cette même section et dans la fiche outil n°1.3.
Les enjeux dans le cadre de l'élaboration d'un PRRN portent sur une étude détaillée de l'existant et une analyse prospective des projets d'aménagement envisagés notamment pour le développement économique local.

- **Enjeux actuels et futurs**: Il convient donc de définir les enjeux actuels, c'est-à-dire tout ce qui est déjà bâti ou en cours de construction mais aussi les enjeux « futurs ». On entend par enjeux futurs les enjeux déjà programmés (dossiers planifiés, premières études déjà réalisées) avec réalisation prévue à court terme.

- **Sur la totalité du territoire soumis au PRRN**: Les enjeux sont à identifier sur la totalité du territoire étudié (et pas seulement sur les zones touchées par les aléas).