SECTION 7

BOÎTE À OUTILS
Fiches Méthodologiques

Pour favoriser la mise en place du PRRN et accentuer ses effets positifs, un certain nombre de dispositions peuvent être prises pour qu'il devienne « imposable » en lui donnant un statut réglementaire. Ce cadre permet de passer de « règles de bon usage du sol » (bonnes pratiques recommandées), à un règlement opposable aux documents d'urbanisme.

La procédure administrative ci-après donne un exemple des différentes étapes réglementaires à suivre et des effets associés.

1.1. Première étape : La prescription

L'autorité publique compétente peut décider de la mise en œuvre d'un PRRN, de son périmètre d'application et des règles à appliquer pour élaborer un PRRN.

L'arrêté de prescription précise le contenu et les modalités suivantes :

- La nature des risques naturels pris en compte ;
- Le périmètre de l'étude (le périmètre peut être éventuellement étendu en cours de procédure par arrêté) ;
- Les modalités de la concertation durant toute la démarche PRRN ;
- Le service qui instruit la procédure du PRRN ;

1.2. Deuxième étape : L'instruction du PRRN

Une fois le PRRN prescrit, l'autorité compétente et le service instructeur disposent d'un délai de X ans (X restant à définir par exemple 3 ans) pour élaborer et approuver le document. Ce délai est éventuellement prorogeable pour prendre en compte la complexité du plan, l'ampleur et la durée des consultations.

1.3. Troisième étape : L'enquête publique

L'enquête publique est une procédure mise en œuvre, par l'autorité compétente, lors de grands projets d'aménagement du territoire.

L'enquête publique est une consultation sur le projet de PRRN : carte de zonage réglementaire et les règles d'urbanisme associées.

L'enquête publique à plusieurs objectifs :

- informer et faire participer le public ;
- Tenir compte des intérêts de tiers ;
- Tenir compte de contre-propositions ;
- Apporter des éléments d'aide à la prise de décision pour l'autorité compétente ;

Suite à l'enquête, le PRRN peut être amené à être modifié mais cela ne doit pas remettre en question le document dans son intégralité.

1.4. Quatrième étape : L'approbation du PRRN

Après relecture du dossier par les services concernés et à l'issu de l'enquête publique le PRRN est approuvé officiellement, par l'autorité compétente et devient

alors opposable.

Dans la mesure où la concertation a été régulière tout au long de l'élaboration du document, l'approbation du PRRN doit aussi marquer l'appropriation de la démarche par les communes. L'approbation du PRRN doit être accompagnée par les communes.

1.5. Cinquième étape : Les effets du PRRN approuvé

L'approbation du PRRN a les conséquences suivantes :

- Le PPRN **est annexé au document d'urbanisme**. Cela implique que les règles d'urbanisme définies dans le PRRN s'imposent à tous de manière systématique et sans exception. Par exemple : une zone précédemment urbanisable dans le document d'occupation des sols, peut être interdite à toute nouvelle construction ou peut être autorisée pour les nouvelles constructions mais sous conditions.
- Les mesures spécifiées dans le règlement du PRRN sont à mettre en œuvre dans un délai de 5 ans.
- L'approbation du PRRN entraîne des effets sur tout le territoire concerné par la prescription comme :
  - des obligations d'information : 1 réunion publique tous les 2 ans par exemple ou diffusion d'un Document d'Information sur les Risques Majeurs.
  - l'obligation de réaliser un plan d'organisation de gestion de crise sur la totalité du territoire étudié. (Plan de Sauvegarde).

FICHE OUTIL
COLLECTE DES DONNEES

Type de donnée	Liste des données à récupérer	Phase démarche	Objectif	Sources principales possibles
Bases de données numérisées et géo localisées	.topographie (plan // Lidar) .cadastre .statistiques de populations .photos aériennes	**Aléas, enjeux et règlement**	1) Définir la topographie du territoire à étudier. 2) Identifier les zones, localiser, dénombrer les enjeux ponctuels 3) Définir les fonds de plan qui seront utilisés pour les différentes cartographies	**CNIGS, services de l'Etat, IGN, ONG, PNUD …**
Données d'entrée relatives aux aléas	.chroniques de pluies maximum annuels sur 24 h .chroniques des débits maximum .hydrogrammes .sondages sols .vents .données sismiques .carte géologique .microzonage	**Aléas**	Obtenir les données d'entrée permettant de déterminer les aléas naturels sur le secteur d'étude	**CNIGS, Collectivités locales, BME, autres services de l'Etat, bureau d'études privés, universités, ONG, PNUD…**
Etudes techniques relatives à la détermination des aléas naturels.	.Etudes hydrologiques .études hydrauliques (zones inondables /aménagement) .études propagation Tsunami .études glissement de terrain	**Aléas**	Collecter toutes les études relatives aux aléas naturels pour établir les cartes d'aléas naturels dans l'état actuel.	**CNIGS, Collectivités locales, BME, autres services de l'Etat, bureau d'études privés, universités, ONG, PNUD…**
Etudes techniques relatives aux enjeux	.études de réduction de vulnérabilité .étude de risques .étude de PC d'alerte et d'évacuation	**Enjeux**	Collecter toutes les études relatives aux enjeux et aux conséquences économiques et sociales des phénomènes naturels étudiés.	**Collectivités locales, services de l'Etat, bureau d'études privés, universités, ONG, PNUD…**
Documents d'urbanisme	.schéma d'aménagement urbain .schéma d'aménagement communal	**Enjeux et règlement**	1)Connaître le dynamisme urbain au travers des diagnostics de territoires et des plans de d'aménagement. 2)Superposer de la carte réglementaire avec les cartes d'urbanisme pour identifier les secteurs à problème et engager la concertation	**Collectivités locales…, services de l'état (MTPTC/SGU, …)**
Enquêtes de terrain (relatives aux aspects aléas)	.laisses de crue .limite de la zone inondable .zone de glissement de terrain .secteurs érodés	**Aléas**	Constater sur place la réalité des aléas vécus / les dysfonctionnements d'ouvrages et les conséquences.	**populations, riverains, collectivités locales**
Enquêtes de terrain (relatives aux aspects urbanistion)	.actualisaton des documents d'urbanisme .repérage éventuelle d'urbanisation non identifiée sur les plans	**Aléas, enjeux, règlement, PCAE**	Constater sur place la réalité socio-économique qui ne serait pas prise en compte dans les bases de données et documents : zones d'urbanisation récentes…	**Collectivités locales, population, gestionnaires de réseaux**

OBJECTIF

Une structuration ordonnée et standardisée des différentes données géographiques est fondamentale pour permettre l'échange et la réutilisation des informations entre les différents acteurs de la réduction des risques naturels.

L'objectif final est un meilleur partage et une meilleure mise à disposition des données d'entrée (topographie, fonds de plans, bases de données enjeux, …) et des données de sortie (cartes d'aléa, zonage réglementaire…).

➘ Important : La structuration des données géographiques proposée dans ce guide doit :

- Etre totalement compatible avec les structurations mises en place par les différentes entités (MTPTC, MICT, CNIGS, etc…).
- Evoluer si des nouvelles normes apparaissent pour garantir une parfaite disponibilité des données.

Cette structuration concerne toutes les données géographiques qui sont traitées dans le cadre de la réduction des risques naturels en zone urbaine sur Haïti :

- Les cartes informatives
- Les cartes d'aléas (couches de données "aléa" pour les différents types d'aléa rencontrées)
- Les cartes de l'enveloppe des zones inondables (couche de données « enveloppe des zones inondables »)
- Le plan des profils en travers (couche de données « Profils ») dans le cas d'une modélisation hydraulique
- la carte des enjeux (couche de données « enjeux »)
- les cartes des risques
- Les cartes de zonage de bon usage du sol
- Etc….

METHODOLOGIE

SPECIFICATIONS TECHNIQUES DE NUMERISATION DES DONNEES

1. Positionnement planimétrique

Chaque objet géométrique géographique produit par le prestataire est géo-référencé en UTM zone 18 Nord – WGS 84.

2. Le système de nivellement général sur Haïti

Toutes les données altimétriques doivent être fournies dans un même référentiel afin que les différentes mesures soient comparables et compatibles entre elles.

Le système de nivellement général sur Haïti est le système orthométrique de Helmet avec une surface de référence prise au niveau moyen des mers de Port-au-Prince défini par observations marégraphiques de Mai 1949 à Mars1950 [Alain Harmel, 1997].

3. Environnement SIG

Dans l'objectif de pouvoir réutiliser les données facilement, celles-ci sont géoréférencées et enregistrées avec les logiciels suivants : Arcview®, Mapinfo®, Quantum Gis (SIG libre) et tout logiciel compatible avec l'un des deux logiciels cités précédemment.

A noter que les tables (ou shape) créées avec une version donnée peuvent toujours s'ouvrir et être utilisées avec des versions différentes du même logiciel ou importées sous des logiciels différents alors que cela n'est souvent pas possible pour les fichiers documents qui permettent de sauvegarder tout l'environnement de travail. (fichier Wor sous Mapinfo®, fichier mxd sous Arcview).

4. Saisie des données graphiques

Les données graphiques sont de 3 types différents (symbole ponctuel, ligne et polygone).

Chaque table (ou couche ou shape) ne devra contenir qu'un seul type de données graphiques.

4.1. Objet graphique de type symbole ponctuel

Ce type d'objet graphique ne pose pas de problème en particuliers. Il faut cependant vérifier que deux objets graphiques de la même table ne sont pas strictement confondus.

4.2. Objet graphique de type ligne

Les polylignes seront préférées aux lignes définies par deux points uniquement.

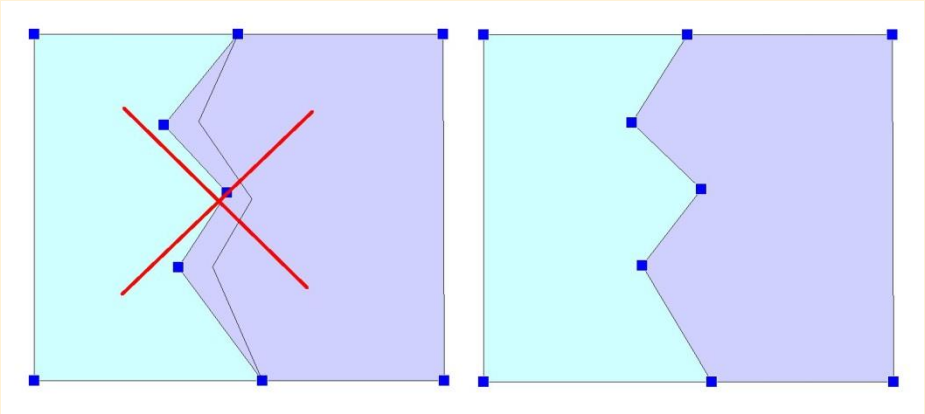
Deux lignes différentes devront être soit nettement discontinues (écarts suffisants entre les deux points d'extrémité) soit continues en ayant un point et un seul en commun.

4.3. Objet graphique de type polygone

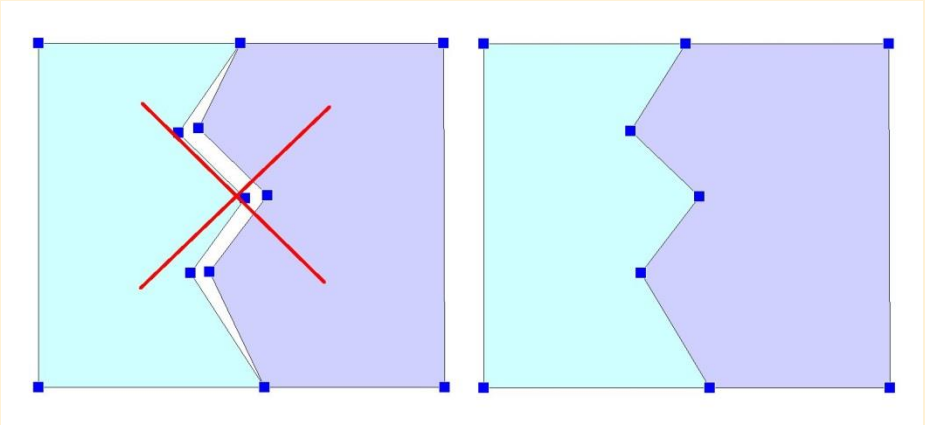
Chaque surface (aire) est décrite par un polygone fermé.

Les polygones contiguës doivent s'appuyer sur leurs limites respectives (les sommets sont confondus), <u>sans recouvrement, ni vide entre zones contiguës</u> (sous Mapinfo® : commande F pour fusion lors de la digitalisation).

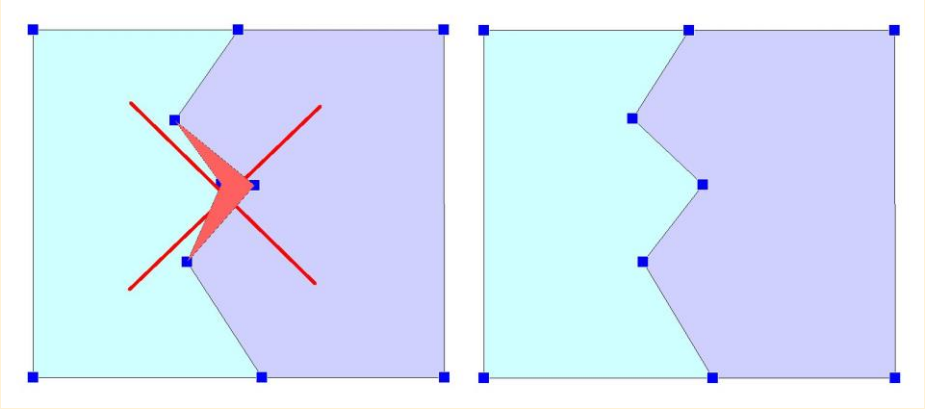
La présence de zones de recouvrement entre polygones et/ou de vides entre des zones contiguës rend impossible le travail de croisement de tables (ou couches).



Exemple de recouvrement entre deux zones.



Exemple de vide laissé entre deux zones.



Les vides et les superpositions laissés génèrent des zones dites de « lacune » lors de la réalisation des différents croisements de tables ou de couche. Ces zones ne correspondent à aucune réalité physique.

5. Nature des métadonnées à produire (champs associés à l'objet graphique).

Les champs associés à chaque objet graphique dépendent entièrement du type de données graphiques saisies (aléas, enjeux, observations historiques, zonage de bon usage du sol).

Cependant, afin de permettre une réutilisation aisée des données, il est nécessaire de faire apparaitre systématiquement :

4.1 Des champs permettant l'identification de l'origine de la donnée :

_ champ relatif au nom du prestataire qui a établi ces données.

_ champ relatif à la date d'établissement de la donnée (date de l'étude).

_ champ relatif au nom de l'étude qui a permis l'établissement de la donnée.

_ etc…

4.2 Des champs permettant de qualifier la valeur de la donnée:

_Quelle fiabilité est attribuée à la donnée (« mauvaise », « moyenne », « bonne », « très bonne», « inconnue »)

_Année de validation de ces données (le cas échéant, sinon « Non validée » ou « information non disponible »)

_ étude et cadre ayant permis la validation (nom de l'étude le cas échant, sinon « Non validée » ou « information non disponible »)

_Quels types de données (quel aléa, quel enjeu)

4.3 Des champs spécifiques à chaque type de données :

_Hauteur d'eau

_Vitesse d'écoulement

_ Type d'aléa (inondation / ruissellement / mouvements de terrain / submersion marine / séisme

_ Degré de l'aléa (faible / moyen / fort / majeur)

Attention : Ne jamais utiliser les caractères spéciaux du genre é,è,à,ç, … et symboles dans les champs de métadonnées.

5. Cas particuliers des photographies et documents écrits recueillis afin de constituer une base documentaire :

L'ensemble des photographies et documents écrits fait l'objet d'une numérisation et d'une indexation facilitant sa recherche et sa réutilisation. Ainsi, une base de données ou un tableau de données est créé. Il précise les points suivants:

- le type de documents,
- la date,
- l'auteur du document,
- le lieu-dit, le territoire et/ou la commune concernée par le document,
- les mots clés permettant de préciser les informations contenues dans le document (titre d'article, objets de la photographie, éléments la composant),
- un lien hypertexte vers le document concerné,
- pour les photos, une position géographique avec les coordonnées de la prise de vue lorsque cela est possible.

OBJECTIF

La concertation doit se mettre en œuvre le plus tôt possible et tout au long des étapes amenant à l'approbation du PRRN. C'est le moyen d'encourager le dialogue local et la participation active des acteurs locaux, pour une acceptation du risque, dans une approche soutenable par l'Etat et les collectivités locales.

L'Etat doit s'adapter aux modes de prise de décision locale. Les acteurs à associer sont, au premier chef, les maires puis les techniciens, les représentants de la population (surtout quand cela concerne des quartiers d'habitat exposés au risque), les représentants d'activités socio-économiques etc… Les services de l'Etat peuvent également solliciter la participation d'experts sur les aléas.

Le travail de la concertation est essentiellement ciblé sur la connaissance partagée du risque acceptable et sur les grandes orientations de la réduction du risque au niveau local.

Les réunions de concertation doivent être organisées autant de fois que nécessaire. Néanmoins, 4 réunions à minima sont indispensables dont 3 réunions techniques (regroupant maires et services de l'Etat) et une réunion publique (en fin de procédure PRRN pour informer la population).

Ces réunions doivent être conçues comme des instances de partage d'informations sous forme de groupe de travail permettant des analyses et des constructions communes.

METHODOLOGIE

Etapes élaboration PRRN	Actions de concertation	Objectifs	Organisation possible
Prescription Lancement du projet de PRRN	• Informer les élus du projet de PRRN et de la mise en place d'une stratégie locale de réduction des risques. • Faire un état des lieux des problématiques associées à la réduction des risques et des perspectives de développement envisagées par les élus. • Mettre au point une organisation de travail concertée (missions de chacun et calendrier).	**Apprécier** ensemble l'état de connaissance des uns et des autres sur les risques naturels. **Questionner** ensemble les problématiques associées aux risques et qu'implique l'élaboration du PRRN. **Partager** la même compréhension des enjeux de la démarche.	Comité technique de démarrage. _Réunions préliminaires avec les élus. _Réunion d'organisation de la concertation : quels acteurs mobiliser ? quelle démarche de travail ? quelles contributions attendues ? **A minima : une réunion de démarrage avec tous les acteurs concernés (état, communes) pour informer sur la démarche.**
Connaissance du risque	• Etablir ensemble le niveau de connaissances nécessaire pour une approche partagée du risque • Valider la qualification de l'aléa et des enjeux	**Aboutir à une connaissance collective et partagée** de la qualification de l'aléa et des enjeux	Réunions de présentation et de validation des aléas et des enjeux. Concertation sur les enjeux futurs à prendre en compte. _Présentation de la démarche réglementaire et concertation sur les principes à mettre place. **A minima : une réunion technique de restitution des aléas, et des enjeux avec concertation sur les enjeux futurs à prendre en compte et d'ébauche des principes de la stratégie urbaine.** *En fonction des éléments à présenter, il sera nécessaire de scinder cette réunion en deux (validation des aléas et enjeux d'une part) puis ébauche des principes de la stratégie urbaine dans un deuxième temps.*

Etapes élaboration PRRN	Actions de concertation	Objectifs	Organisation possible
Elaboration de la stratégie de réduction et approbation du PRRN	• Définir les orientations de la stratégie de réduction des risques : principes de zonage, dispositifs de protection, dispositifs de prévention, alerte, gestion de crise etc… • Etablir la stratégie locale : élaborer le règlement • Consulter les élus et la population sur le projet de PRRN.	Valider une stratégie de réduction locale des risques partagée (dont le règlement du PRRN) Faciliter la consultation des élus locaux et de la population dans le cadre de l'enquête publique précédant l'approbation du PRRN.	_Réunions de concertation. Réunions de validation de la carte réglementaire et du règlement. Moyens de consultation adaptés à la situation locale : réunions publiques, médias TV, journaux… A minima : Une réunion technique de restitution de la carte réglementaire et du règlement. Une présentation publique de restitution de la procédure PRRN (des aléas jusqu'à la carte réglementaire et du règlement). *En fonction de l'étendue du territoire et/ou des enjeux présents, il sera nécessaire de réaliser plusieurs réunions publiques (en différents lieux) pour présenter le PRRN.*

OBJECTIF

Le but d'une analyse hydrologique est la détermination des pluies et débits caractéristiques c'est-à-dire de périodes de retour particulières.

L'objectif de cette fiche outil est de présenter les grandes familles de méthodes de calcul hydrologiques :

- Statistiques
- Déterministes
- Probabilistes
- Probabilistes et déterministes
- Empiriques

PREAMBULE

En préambule, sont rappelées quelques notions comme :

- Notion de période de retour
- Notion de hasard d'échantillonnage
- Notion de relation probabiliste

Notion de période de retour

La période de retour (T) est égale à la moyenne à long terme du temps ou du nombre d'années séparant un événement de grandeur donnée d'un second événement d'une grandeur égale ou supérieure.
La fréquence (F) ou « probabilité de dépassement » est égale à l'inverse de **la période de retour (F=1/T)**

Ceci ne signifie pas qu'une crue de période de retour T se produit exactement toutes les T années.
On a pu observer 3 crues centennales en vingt ans et rien pendant 150 ans sur des fleuves dont les débits sont mesurés depuis 200 ans) ou 3 crues de période de retour 40 ans en 5 mois.

La probabilité qu'il y ait une crue **de probabilité T en T années est de $1 - (1-1/T)^T$.**
Ainsi, la probabilité qu'il y ait une crue décennale en 10 ans est de 65%.
La probabilité qu'il y ait **une crue centennale en 100 ans est de 63%.**

Notion de hasard d'échantillonnage

C'est le hasard de la nature qui conduit à cette répartition des crues dans le temps.

Toutes les mesures que l'on effectue ne le sont que sur une période limitée.
On extrait donc de la série naturelle (appelée « la population mère ») ce qu'on appelle « un échantillon ». Les caractéristiques de cet échantillon (moyenne, écart-type …) peuvent différer ou correspondre à celles de la série complète de la nature (considérée sur une durée telle que le climat général n'est pas modifié).
Ceci est lié au hasard de l'échantillonnage.

Notion de relation probabiliste

Un événement donné peut produire un résultat particulier du fait d'une succession d'actions consécutives. Par exemple, une quantité d'eau tombée sur une surface donnée pendant un temps donné va produire un certain débit à l'exutoire de cette surface.
Ce débit va dépendre des différents phénomènes (ou actions) intervenant pendant la

concentration des écoulements :

- Etat du sol (l'eau sera plus ou moins retenue dans des flaques)
- Etat du sous-sol (une portion plus ou moins grande de l'eau tombée va s'infiltrer)
- Température (une quantité variable de l'eau tombée va s'évaporer ou transpirer via la végétation)
- Relief et pente (la vitesse de ruissellement sera plus ou moins grande selon le relief de la surface réceptrice)
- La quantité d'eau tombée peut se répartir de façon hétérogène tant spatialement que temporellement.

On conçoit donc qu'une même quantité d'eau tombée dans le même temps peut produire des débits complètement différents selon les situations présentes relatives aux paramètres précédemment cités.

Mais chacun de ces paramètres varie autour d'une position ou valeur moyenne ce qui fait qu'au final, si l'on considère un grand nombre de « tirages » de pluies on obtiendra des débits qui seront reliés aux pluies par une relation dont les paramètres seront des variables aléatoires dont la moyenne peut être connue.

C'est ce genre de relation que l'on nomme relation probabiliste : pour un événement donné le résultat est complètement aléatoire mais pour un ensemble d'évènements on peut connaître la répartition probable des résultats.

METHODE STATISTIQUE

La méthode statistique s'applique à un échantillon de données (par exemple les maxima annuels des pluies journalières).
Cette méthode consiste à rechercher la loi statistique qui s'ajuste le mieux à l'échantillon.
Chaque point (ou valeur) de l'échantillon est positionné au préalable sur un graphique en tenant compte d'une loi de répartition empirique. Par exemple, on peut considérer que la probabilité P associée à la valeur la plus forte d'un échantillon de N valeurs est de 1/N ; celle de la deuxième valeur est de 2/N etc… pour la valeur de rang r, P=r/N. Pour éviter d'obtenir des impossibilité de calcul (Log(0) par exemple), on utilise souvent P=r/(N+1).

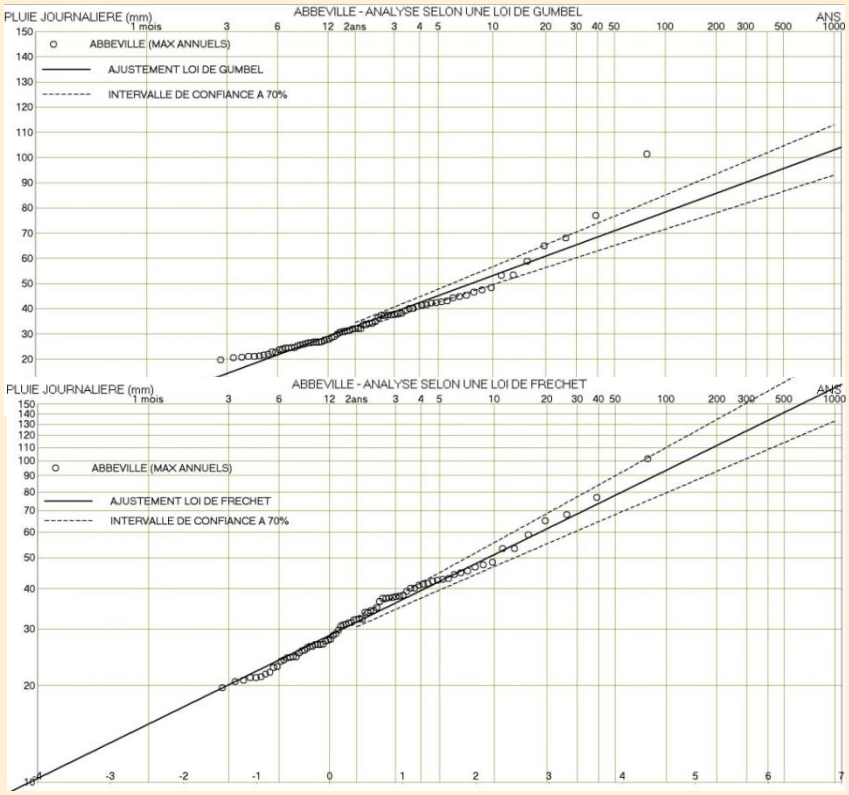
L'inconvénient de cette méthode réside dans deux points particuliers :

- Elle est très dépendante du hasard d'échantillonnage
- La loi adoptée peut être adaptée à l'échantillon mais pas à la population mère

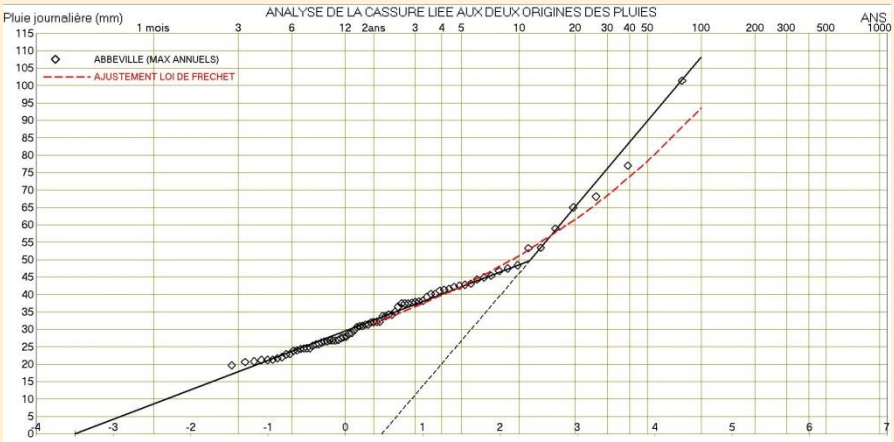
L'utilisation de lois à 3 paramètres permet de s'adapter systématiquement à l'échantillon mais ne garantit pas une bonne extrapolation (ex. : loi Log-Pearson-III).

L'exemple ci-contre montre ce que l'on peut obtenir avec un échantillon de pluies en considérant deux lois : Gumbel et Fréchet (Gumbel sur les Log des valeurs).

On constate qu'une loi de Gumbel simple n'explique pas les fortes valeurs : elles sortent de l'intervalle d'incertitude à 70%.



La loi de Fréchet semble plus satisfaisante. Les points sont situés dans l'intervalle de confiance à 70%.



En fait, des analyses plus poussées ont montré que l'échantillon est une combinaison de deux populations de pluies (cyclonique – flux d'Ouest et convectif – orages).

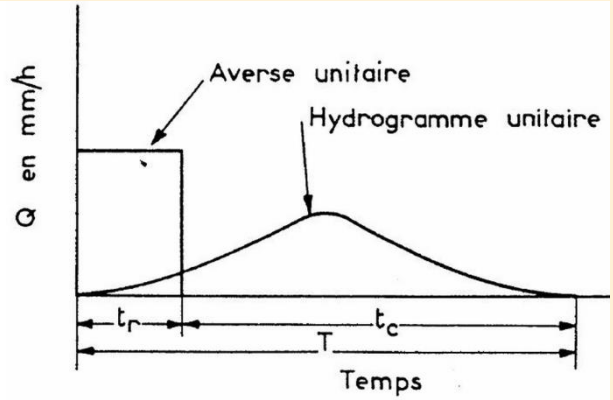
L'ajustement finalement adopté est le suivant.

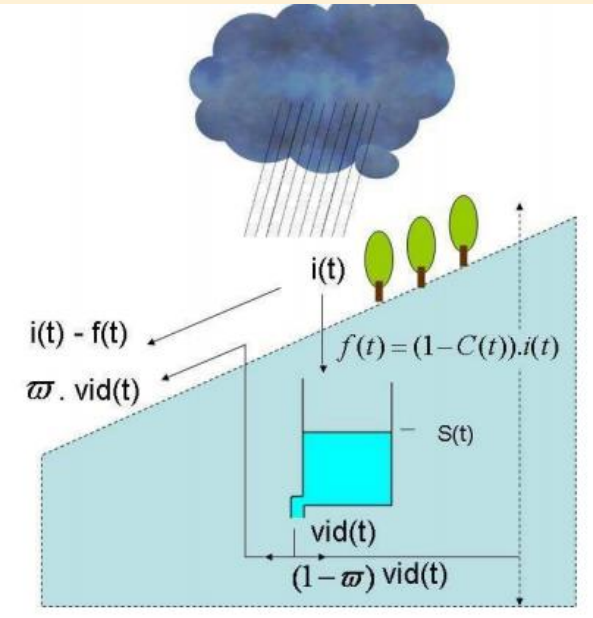
Il faut donc distinguer deux branches.

On voit que, dans ce cas, un ajustement selon une loi de Fréchet conduirait à une sous-estimation des valeurs rares.

METHODES DETERMINISTES - ANALYTIQUES

Le principe de ces méthodes est de modéliser la transformation pluie-débit par l'utilisation de fonctions de transfert.
Ainsi, les différents phénomènes (infiltration, évaporation, résurgence…) sont représentés par des fonctions (ex./ hydrogramme unitaire) et/ou des réservoirs.





Les outils exploitant ce type de méthodes (on parle de « modèles conceptuels ») sont nombreux, chaque bureau d'étude de renom ayant développé le sien propre.

Nous citerons simplement le logiciel très complet développé par les ingénieurs des Etats Unis d'Amérique : HEC-HMS (USA), logiciel gratuit disponible sur leur site internet.

Ces modèles requièrent des données de pluie et, pour leur réglage éventuel, de débit.

L'intérêt de cette méthodologie est de réduire le nombre de paramètres à considérer, seuls les paramètres fondamentaux étant retenus.

En revanche, la simplification de la réalité impose la nécessité d'un réglage. Or, les

paramètres issus du réglage sont associés aux événements particuliers exploités pour ce réglage et ne peuvent pas correspondre aux grandeurs moyennes des relations probabilistes effectives.

Par ailleurs, si le phénomène de saturation du bassin n'est pas intervenu lors des épisodes servant au réglage, les paramètres associés à ce phénomène (par exemple le volume de réservoirs) ne peuvent être précisés.

Il y a de ce fait un risque d'erreurs importantes lors de l'extrapolation aux valeurs rares.

METHODE DETERMINISTE RATIONNELLE

Elle réside dans l'application de la formule suivante :

$$Qmax(T) = \frac{C.\ I_{tc}(T).A}{3.6}$$

Avec :

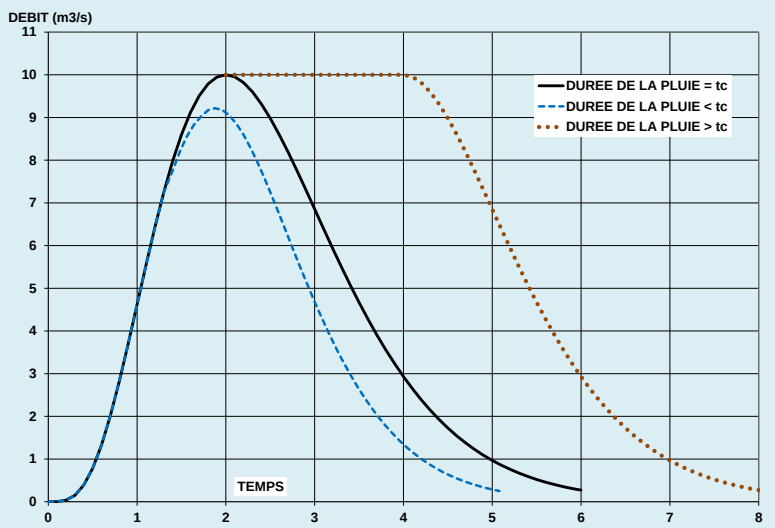
- Qmax(T) = débit de pointe de période de retour T (en m^3/s)
- C = coefficient de ruissellement
- $I_{tc}(T)$ = Intensité de la pluie durant le temps de concentration et de période de retour T (en mm/h)
- A = superficie du bassin versant (en km²)

Les hypothèses sont :

- Pluie constante et uniforme sur le bassin
- Pas de saturation du bassin

Elle provient de la simple considération que :

- Si la durée de la pluie est inférieure au temps de concentration du bassin, le débit optimal n'est pas atteint.
- Si la durée de la pluie est supérieure au temps de concentration du bassin, le débit reste constant ;
- C'est donc, logiquement, la pluie (ou l'intensité de pluie) durant le temps de concentration qui détermine le débit de pointe de crue.



Elle est valable pour des bassins versants de superficie limitée à 2,5 km² (250 ha) voire 5 km² et ayant une pente moyenne supérieure à 5/1000.

Le coefficient de ruissellement est déduit de tableaux disponibles dans la littérature spécialisée. Ils sont fonction de la couverture du bassin et de la pente. Pour chaque catégorie de sol ou de couverture, ils sont fournis en général sous la forme d'intervalles dont les valeurs vont du simple au quintuple. Le résultat est donc très incertain, susceptible de varier du simple au quintuple.

Du fait de la non prise en compte du phénomène de saturation, il est fortement déconseillé d'utiliser cette formule pour des périodes de retour supérieures à 10 ans.

La méthode rationnelle n'est également pas applicable sur les bassins karstiques ou à fortes pertes initiales.

METHODES PROBABILISTES

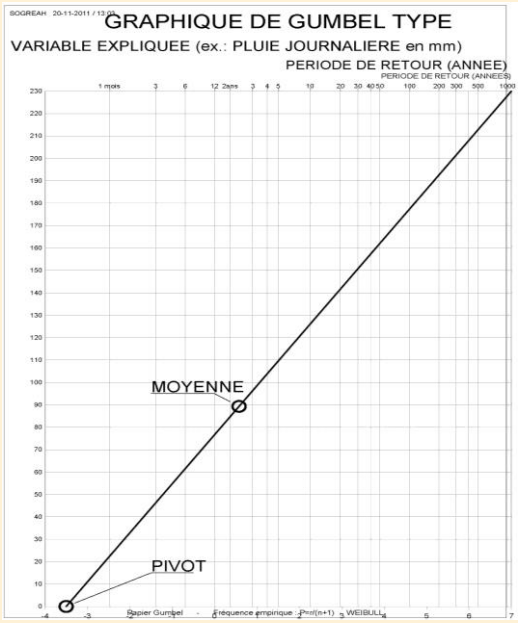
Pour ces méthodes, on connaît la loi d'ajustement ou la relation probabiliste et on détermine les paramètres de la loi ou de la relation.

Ce type de méthode est encore peu courant. La méthode SPEED[1], développée par ARTELIA depuis une vingtaine d'années et vérifiée dans un grand nombre de pays dans le monde[2], en est un bon exemple. Elle s'articule sur une analyse régionale des pluies et la recherche des paramètres d'une relation probabiliste entre pluies journalières et débits de pointe de crue. Ces deux aspects ont fait l'objet de publications récentes à la SHF (Société Hydrotechnique de France).

ANALYSE REGIONALE DES PLUIES

Elle est fondée sur le fait que, si l'on fait l'hypothèse que les pluies suivent un processus de Poisson :

- ⇨ Les maximas annuels suivent une loi de Gumbel (à 2 paramètres : le pivot et la moyenne par exemple)
- ⇨ Les valeurs supérieures à un seuil suivent une loi exponentielle
- ⇨ On démontre que le pivot est lié au nombre moyen de perturbations qui génèrent les maximas annuels



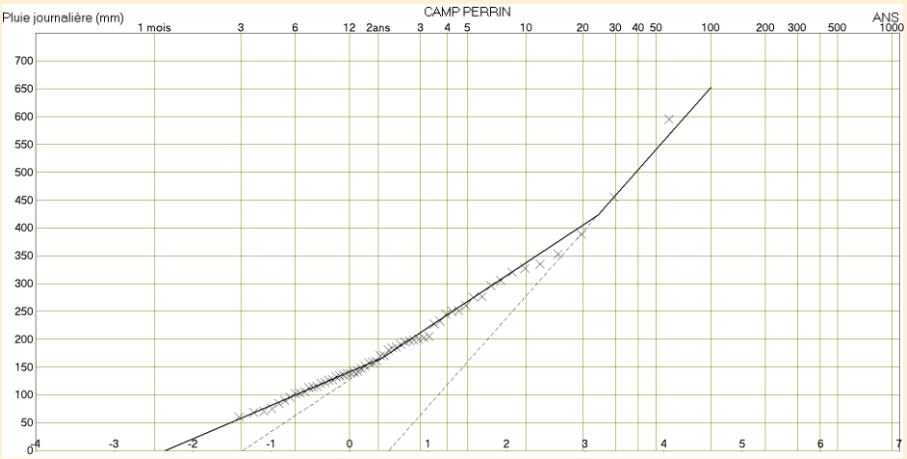
Ce dernier point implique que le pivot est constant régionalement (par exemple, un régime d'Ouest ne touche pas une bande étroite de quelques kilomètres mais plutôt une bande de plusieurs centaines de kilomètres).
Une analyse régionale (conduite sur un ensemble de pluviomètres d'une région donnée) doit donc permettre de déterminer le pivot propre à la région. Il en découle une diminution de l'incertitude sur l'ajustement statistique des points de mesure de chaque station.

Par exemple, l'analyse des données de pluies journalières (maxima annuels) sur la région sud de Haïti a permis de dégager deux à trois pivots :

- -2.35 et -1.36 pour les phénomènes courants associés aux deux saisons humides
- 0.5 pour les cyclones

[1] Système Probabiliste d'Etudes par Evénements Discrets
[2] Albanie, Algérie, Colombie britannique, Equateur, France, Guinée, Indonésie, Italie, Laos, Liban, Malawi, Nouvelle Calédonie, Philippines, Thaïlande…

On voit ainsi que l'ajustement n'est pas systématiquement une simple droite de Gumbel mais une polyligne constituée éventuellement de plusieurs segments alignés chacun sur un pivot particulier.



RELATIONS PROBABILISTES PLUIE-DEBIT

Ces relations résultent des observations, constats et vérifications effectués sur une centaine de projets en France et autant dans le monde.

- ✓ Elles intègrent la relation de Myer : $\boldsymbol{Q(T) = C(T).A^{\alpha}}$ avec A = aire (km²) et T = période de retour

  Dès le début du XXème siècle, Fuller[3] proposait une formule en S^n où n était compris entre 0,67 et 0,83 (moyenne = 0,75). Il présentait d'autres estimations de collègues dans sa réponse à l'article de Jarvis[4], toutes proches de 0,75.

  Nous avons retenu cette valeur de $\boldsymbol{\alpha}$ de 0,75

- ✓ Elles intègrent également **la théorie du Gradex** qui exprime le fait que, lorsque le **bassin versant est saturé, tout supplément de pluie ruisselle intégralement**. Il en découle alors une évolution du débit de pointe directement liée au Gradex des pluies (pente de l'ajustement sur un graphique de Gumbel).

Elles s'expriment comme suit :

$$Q_{RET} = C_0(P_T - P_{0i}) \quad si\ T < T_0$$

$$Q_{RET} = P_T - P_0 \quad si\ T > T_0$$

$$Q_{ixT} = \frac{S^{0,75}}{K} Q_{RET}$$

Qix_T : le quantile de débit de pointe (débit maximum instantané en m^3/s), de temps de retour T

S : la surface du bassin versant (en km²)

P_T : le quantile de pluie journalière de temps de retour T (en mm)

P_{0i} : la perte initiale (en mm)

C_0 : le coefficient empirique de proportionnalité pluie-débit avant saturation

P_0 : le seuil probabiliste de ruissellement intégral (en mm)

T_0 : la période de retour de saturation (très variable)

Q_{RET} : variable de travail dénommée débit réduit (en mm)

K : coefficient à la dimension de $s.m^{-0.5}$

Dans la majorité des pays étudiés (en particulier France, Algérie, Albanie etc…) le coefficient

[3] Fuller W.-E (1914). – Flood flows, *Trans. A.S.C.E. LXXVII*, p564

[4] Jarvis C-S. (1926). – Flood flow characteristics. *Trans. A.S.C.E,* **Vol 89**, p1073

k prend la valeur 12. Nous avons pu établir une explication théorique à ces formulations et à cette valeur de 12 à l'aide de 4 relations probabilistes entre : volume de crue, temps de concentration, superficie du bassin, intensité de la pluie, pluie journalière (relation de Montana).

Dans quelques autres pays, nous avons pu constater, sans pouvoir l'expliquer, des valeurs différentes :

K = 9,1 au Burundi et au Rwanda pour S < 50 à 100 km²

K = 5,5 au Burkina Faso (région de Bagré) toujours pour S < 50 à 100 km²

K = 6 en Nouvelle-Calédonie, soumise aux cyclones

P_0 est le paramètre physique décrivant la globalité du bassin versant. Il est relié à l'épaisseur de manteau d'altération sur roche-mère supposée imperméable (à l'échelle de l'événement pluvieux) et, en cas de roche mère perméable inclut les pertes initiales (P_{0i}) correspondant à la quantité de pluie qui ne participe pas à la formation des crues (karsts par exemple).

- En France, pour bassins sur massif sein, on trouve souvent P_0 = 50 à 70 mm ; sur bassins karstiques ou fortement dégradés, P_0 atteint 100 à 110 mm voire 140 mm.
- Pour les marnes d'Algérie, surmontées d'un sol très mince, P_0 vaut 20 mm.
- Pour certains pays tropicaux, où la roche altérée représente une « éponge » de 10 à 20 m d'épaisseur, P_0 vaut souvent 100 mm et peut atteindre 140 mm (aux Philippines par exemple).

Ces deux lois se représentent graphiquement comme suit :

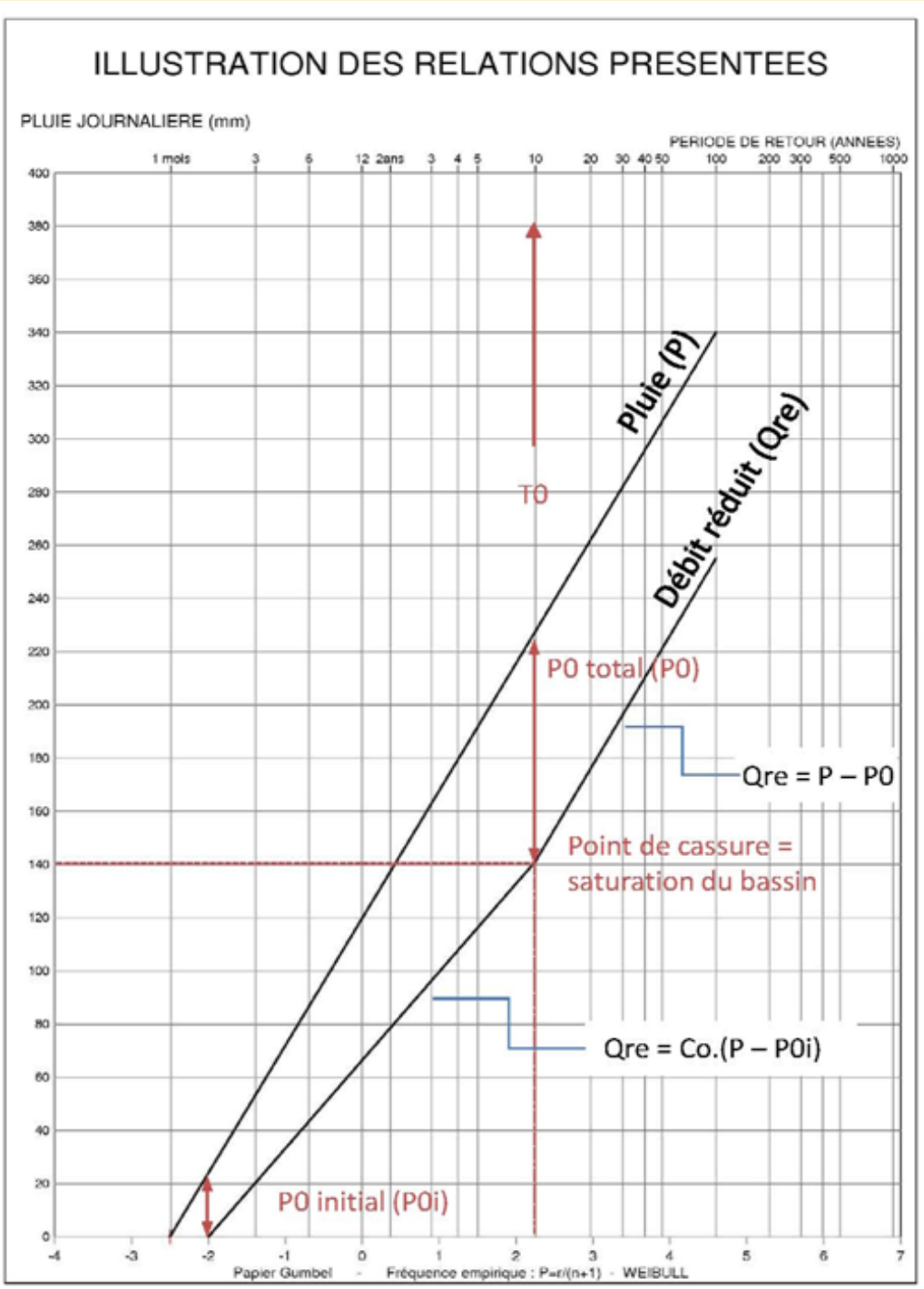


ILLUSTRATION DES RELATIONS PRESENTEES
PLUIE JOURNALIERE (mm)
PERIODE DE RETOUR (ANNEES)
1 mois
3
6
12
2ans
3
4
5
10
20
30
40
50
100
200
300
500
1000
400
380
360
340
320
300
280
260
240
220
200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5
6
7
Pluie (P)
Débit réduit (Qre)
T0
P0 total (P0)
Qre = P – P0
Point de cassure =
saturation du bassin
Qre = Co.(P – P0i)
P0 initial (P0i)
Papier Gumbel - Fréquence empirique : P=r/(n+1) - WEIBULL

Détermination des coefficients de corrélation probabiliste

La détermination des coefficients P_{0i}, C_0 et P_0 s'effectue à partir de données de débits de pointe de crue (maxima annuel) et des pluies journalières sur la même période d'exploitation.
Les opérations à effectuer sont les suivantes :

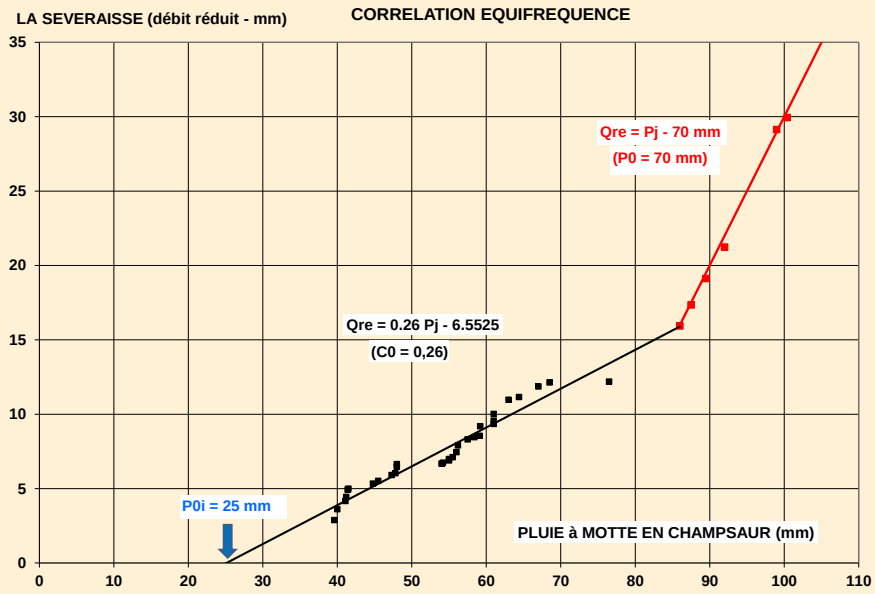
➔Extraire les échantillons de débits et de pluies sur une période commune
Ne resteront, dans l'exemple suivant, que les périodes en rouge et bleu intenses.

➔Trier les données extraites dans l'ordre croissant ou décroissant :

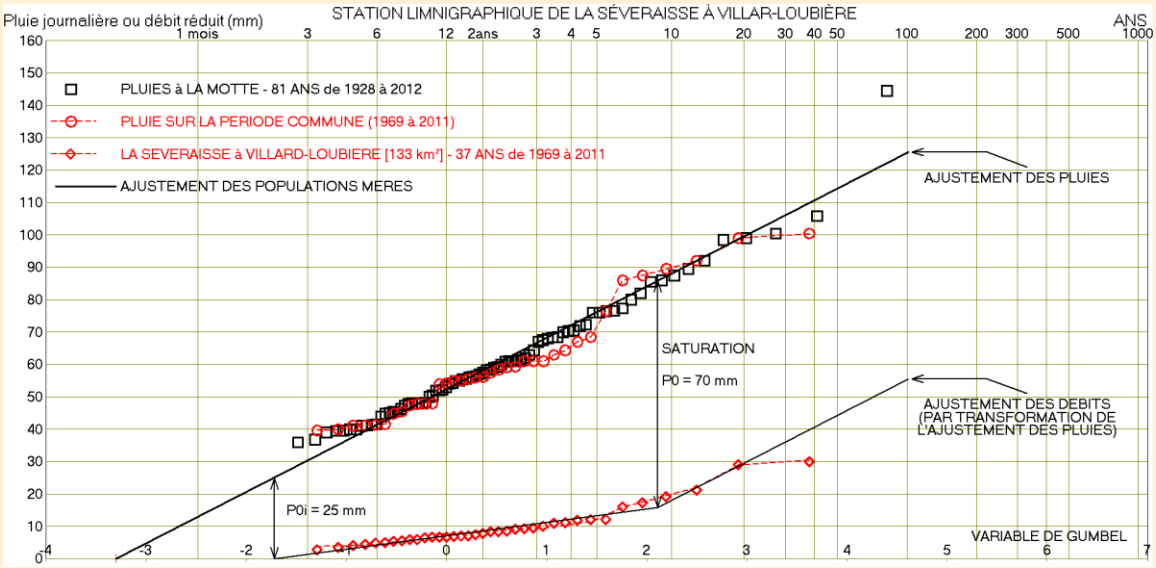
DEBITS	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	- - - - - - - -	Qn-1	Qn
PLUIES	Pj1	Pj2	Pj3	Pj4	Pj5	- - - - - - - -	Pjn-1	Pjn

➔ Transformer les débits (m^3/s) en débits réduits (mm)

➔ Représenter graphiquement les couples (Qre1,Pj1),...'Qren, Pjn)



➔ Appliquer les relations probabilistes à la population mère des pluies



En l'absence de données de débit

Si on ne dispose pas de données de débit, ce genre de graphique avec la représentation des pluies et des débits réduits peut être utilisé pour :

- Apprécier les coefficients C0 et P0 résultants des valeurs de débits obtenues par d'autres méthodes ou issus d'études antérieures
- Estimer les débits caractéristiques à partir des estimations de débit associées à des événements observés.

La façon de procéder sera la suivante :

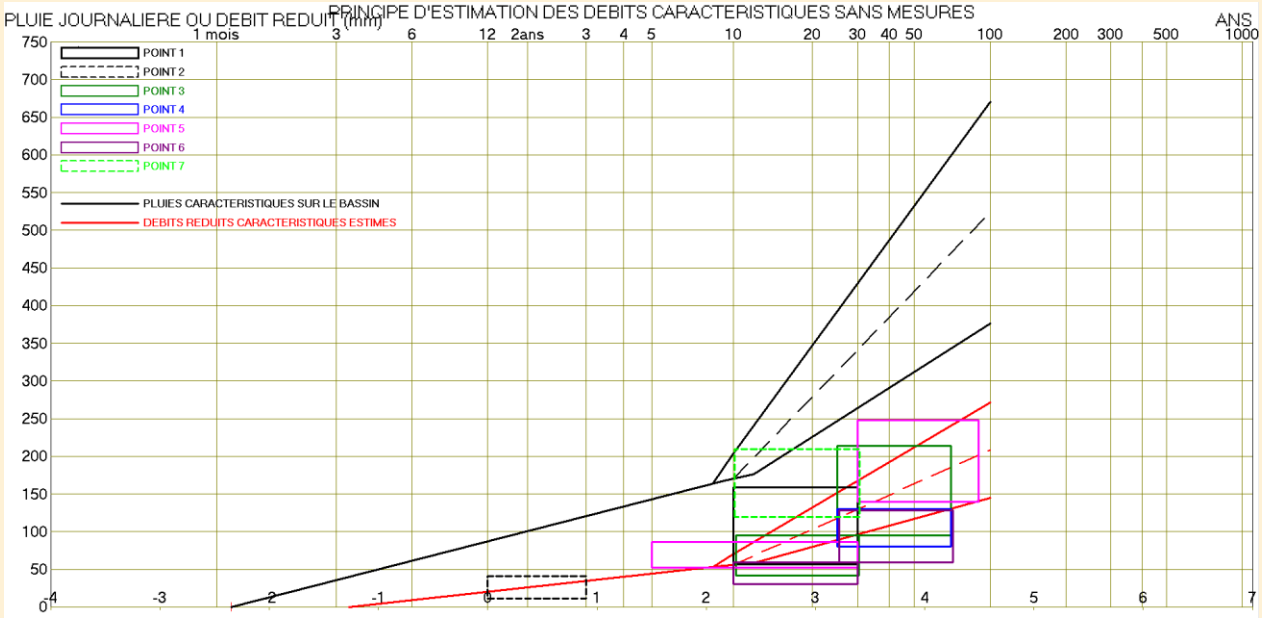
➔ Estimer la période de retour des différents événements avec un intervalle d'incertitude

➔ Déterminer les débits associés à ces événements en différents endroits du bassin versant étudié en y associant également un intervalle d'incertitude

➔ Transformer ces débits en débits réduits

➔ Reporter ces valeurs sur un graphique de Gumbel comparativement aux pluies sur le bassin

On peut en ressortir un ajustement des débits qui intercepte l'ensemble des rectangles d'incertitude.



METHODES PROBABILISTES-DETERMINISTES

Ces méthodes intègrent :

- ✓ une analyse probabiliste des pluies
  - ⇨ l'analyse probabiliste permet de décrire les pluies sur le bassin versant (mensuelles, journalières)
  - ⇨ on génère ensuite au hasard une série de pluies sur une très longue durée (1000 ans ou plus), de même caractéristiques

- ✓ une modélisation déterministe de la relation pluie-débit.
  - ⇨ Réglage du modèle sur la période des données de débit
  - ⇨ Simulation des 1000 ans ou plus de pluies de façon à calculer les hydrogrammes résultants
  - ⇨ Traitement statistique des maximas annuels des débits résultants

Ce type d'outils constitue la référence des calculs hydrologiques de deux organismes fondamentaux français :

- EDF, avec la méthode du SCHADEX[5,6] (Simulation Climato-Hydrologique pour l'Appréciation des Débits Extrêmes), décompose et analyse les pluies par types de temps. Le modèle pluie-débit MORDOR est ensuite utilisé pour le calcul des hydrogrammes résultants.

- IRSTEA (ex CEMAGREF) avec la méthode SHYPRE[7] (Simulation d'Hydrogrammes pour la PREdétermination des crues), établit les paramètres caractéristiques de la pluie au moyen d'une étude régionale des pluies. La réponse du bassin versant à ces pluies est produite par une modélisation pluie-débit à l'aide de modèle GR3 au pas de temps horaire.

L'avantage de ces méthodes est de déterminer des débits pour des périodes de retour élevées (1000 ans, 10000 ans…).

Elles nécessitent cependant de disposer de très nombreuses données tant pluviométriques (pluies journalières, pluies horaires) que débit-métriques.

La durée des analyses est longue (plusieurs mois) et les résultats sont fortement dépendants de la qualité du réglage des modèles pluie-débit.

METHODES EMPIRIQUES

Ces méthodes font appel à des formules ou abaques basés sur le débit des grandes crues historiques ou une analyse régionale de grande ampleur des pluies et des débits.

La méthode SPEED précédemment décrite est en partie de ce type car elle résulte de l'expérience. Mais une recherche théorique a permis d'expliciter les paramètres fondamentaux ($S^{0.75}$, K=12) et elle a été classée dans les méthodes probabilistes.

On peut citer d'autres formules entrant dans cette classe des méthodes empiriques :

Formule de MYER (déjà mentionnée plus haut) : $\boldsymbol{Q(T) = C(T).A^{\alpha}}$
A = aire du bassin versant en km² T = période de retour
$\boldsymbol{\alpha}$ souvent proche de 0,75 (cf partie SPEED)

Pour les régions arides et semi-arides (pluie annuelle inférieure à 300 mm environ), on trouve $\boldsymbol{\alpha}$=0.5

Formule de DURET :

$$\boldsymbol{Q(T) = K.A^{0,8}.I_P{}^{0,32}.H(24,T).(1-36/H_{24})^2}$$

K = coefficient régional à déterminer par recoupement avec la méthode du SCS (voir ci-après)
A = superficie du bassin versant, en km²
I_P = Pente globale de la rivière, en %
H(24,T) = pluie journalière, en mm

Elle résulte d'une analyse statistique conduite sur plus d'une cinquantaine de bassins dans le Tropique Sud (Madagascar…).
Elle s'applique à des grands bassins versants et semble marcher jusque vers 50 000 km².
La difficulté réside dans l'estimation du coefficient K :
Il faut noter que l'expression $H_{24}.(1\text{-}36/H_{24})^2$ s'approxime par H_{24} – P0 avec

[5] Paquet, E., Gailhard, J., and Garçon, R.: Evolution de la méthode du GRADEX: approche par type de temps et modélisation hydrologique, La Houille Blanche., 5, 80–90, 2006
[6] Garavaglia, F : Méthode SCHADEX de prédétermination des crues extrêmes, Thèse de doctorat de l'université de Grenoble., Février 2011
[7] Arnaud, P. & Lavabre, J. (2002) Coupled rainfall model and discharge model for flood frequency estimation. Water Resour. Res. 38(6), 1075–1085.

P0 = 59 mm pour H_{24} = 100 mm
P0 tend vers 72 mm quand H_{24} augmente
On retrouve ainsi l'expression Pj – P_O de la formule SPEED après saturation.

Méthode SCS :

Cette méthode a été initialement établie par le Soil Conservation Service (SCS - Etat Unis) en 1954, reprise ultérieurement et développée par le USDA Natural Resources Conservation Service.

On en trouve la description en anglais dans le document accessible via internet :
http://www.cpesc.org/reference/tr55.pdf
Une feuille de calcul internet est également disponible sur :
http://www.lmnoeng.com/Hydrology/hydrology.php

C'est un modèle empirique pour déterminer le ruissellement basé sur le potentiel d'absorption du sol d'une certaine quantité d'humidité.
Sur la base des observations de terrain, ce potentiel de stockage S (ou capacité total d'infiltration), a été lié à un «numéro de courbe » CN (curve number), qui est une caractéristique du type de sol (géologie), de l'utilisation des terres (couvert végétal) et de son état d'humectation initial.

La valeur de S est définie par l'expression empirique suivante :

$$S = 254.\left(\frac{100}{CN} - 1\right)$$

Les valeurs typiques pour le CN peuvent être trouvées dans le document cité plus haut.

Le ruissellement est calculé par la formule suivante:

$$\mathrm{R}(\mathrm{t}) = \frac{(P(t) - AS)^2}{\mathrm{P}(\mathrm{t}) + (1 - A)S}$$

Où :

- R(t) = ruissellement cumulé au temps t (mm),
- P(t) = pluie brute au temps t (mm),
- A = coefficient d'interception,
- S = capacité totale d'infiltration (mm).

La méthode est valable pour de petits bassins versants (temps de concentration = 0,1 à 10 h).

OBJECTIF

L'objectif de cette fiche outil est de présenter les grandes familles de modèles de simulation des écoulements à surface libre :

- Modèle une dimension (1D) unifilaire.
- Modèle 1D maillé.
- Modèle 2D

Le choix du modèle numérique doit être conditionné en priorité par la pré-analyse des écoulements en crue qui a été réalisée lors des reconnaissances de terrain et/ou l'analyse hydrogéomorphologique afin d'utiliser l'outil capable de reproduire le plus fidèlement possible la réalité des écoulements du cours d'eau. Il est donc nécessaire, avant de choisir le type de modélisation à réaliser, de bien comprendre les phénomènes hydrauliques en jeu (écoulements unifilaires ou divergents, échanges latéraux, présence de phénomènes bidimensionnels prépondérants).
Le tableau ci-dessous synthétise les différents cas d'utilisation :

METHODE	ANALYSE
Calculs simples	A effectuer lorsque l'on ne dispose pas de données topographiques, à partir des levés terrain. Permettent de vérifier des résultats de modèles (ordre de grandeur).
Modélisation unifilaire	Dès que des données topographiques existent ou ont été levées sur le terrain. Lorsque le réseau d'écoulement du cours d'eau en crue n'est pas maillé (non divergent)
Modèle maillé	Si les données topographiques existent ou ont été levées sur le terrain. Lorsque le réseau d'écoulement du cours d'eau en crue est complexe (notamment si les écoulements dans le lit majeur sont dissociés des écoulements dans le lit mineur). Ce type de modèle sera préféré à un modèle 2D si la donnée topographique n'est pas suffisamment dense ou est trop hétérogène.
Modèle bi-dimensionnel	Pourra être mis en œuvre dans le futur moyennant une topographie fine (de type LIDAR par exemple). Permet la prise en compte de phénomènes très complexes notamment en milieu urbain. Et également affaitement adapté pour la détermination de l'aléa submersion littorale sur la bande côtière.

La modélisation 1D unifilaire

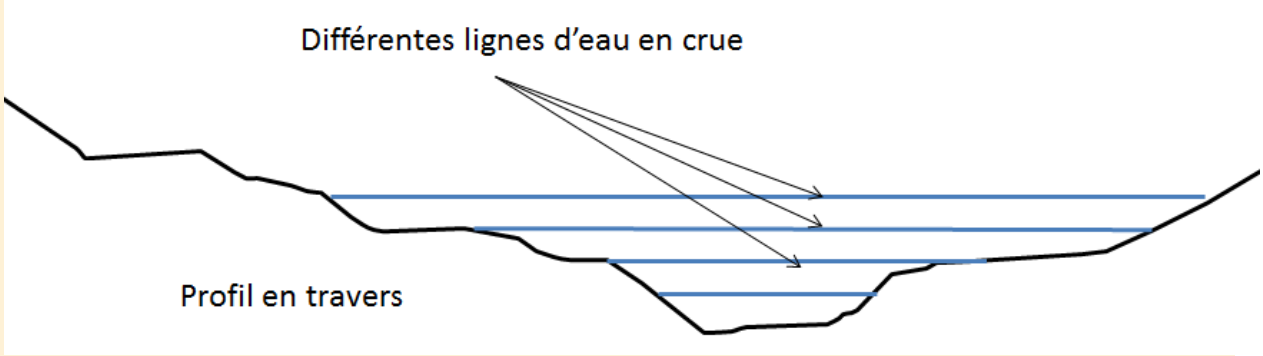


Figure a : exemple d'écoulement non divergent source ARTELIA

Dans le cas présenté ci-dessus, un seul niveau calculé sur le profil en travers est suffisant. Le niveau en crue est identique sur toute la largeur du profil. Un modèle unifilaire est donc utilisable dans cette configuration.

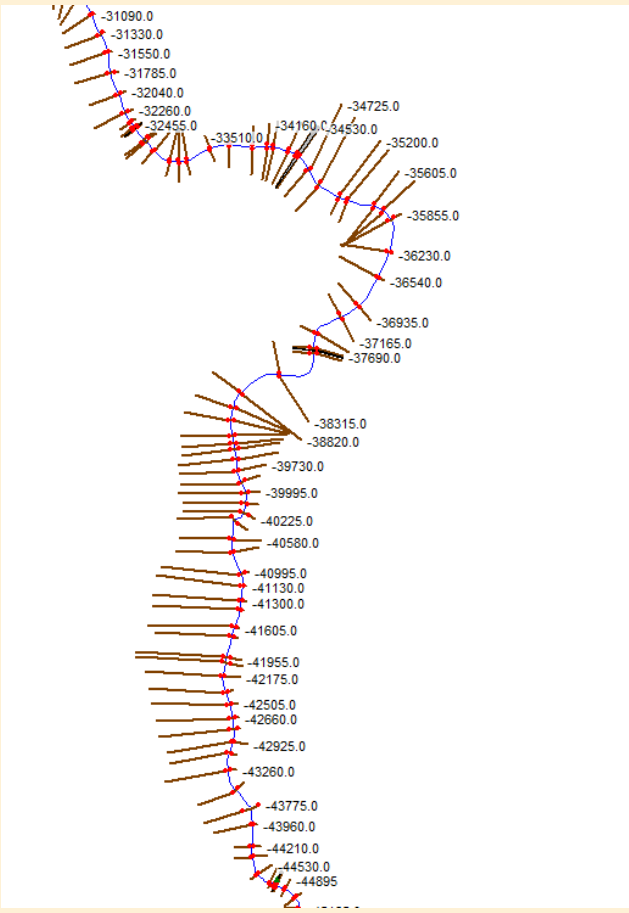


Figure b : exemple du schéma d'écoulement obtenu avec un modèle unifilaire HECRAS source ARTELIA

Avec un modèle unifilaire (un point de calcul par section d'écoulement), un seul niveau sera calculé sur toute la largeur du profil en travers.

La modélisation 1D maillé

Ce type de modélisation permet de reproduire des Écoulements unidimensionnels divergents (représentation de plusieurs lits mineurs ou représentation des écoulements dans le lit mineur et dans les lits majeurs).
Dans le schéma ci-dessous, le niveau d'eau dans le lit majeur rive gauche n'est pas identique au niveau d'eau observé dans le lit majeur rive droite. Un modèle unifilaire ne peut pas représenter cette différence. Il faut utiliser un modèle 1D maillé qui permettra de positionner plusieurs points de calcul dans un même profil en travers.

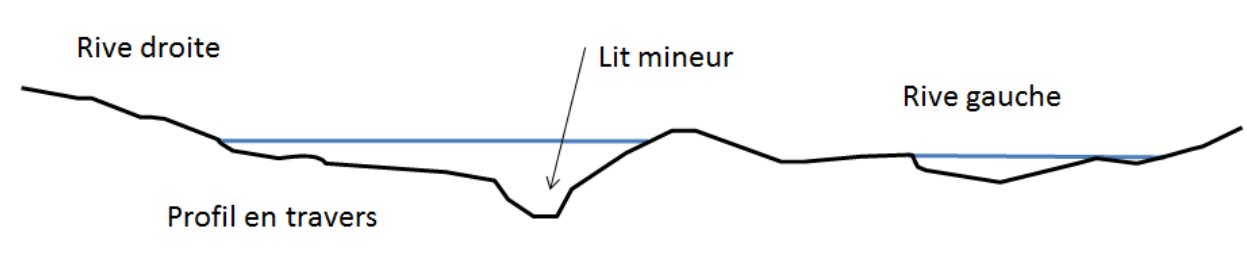


Figure c : exemple d'écoulement divergent source ARTELIA

Chaque point de calcul correspond à un profil en travers dont la géométrie a été relevée ou estimée. Ces points sont reliés par des tronçons de calcul unidimensionnels. Ces tronçons peuvent constituer un réseau maillé, par exemple dans le cas de la séparation de l'écoulement en deux bras de part et d'autre d'une île importante, dans le cas d'une coupure de boucle ou dans celui des différents bras d'un delta qui s'interconnectent. La figure a donne un exemple d'un réseau unidimensionnel maillé.

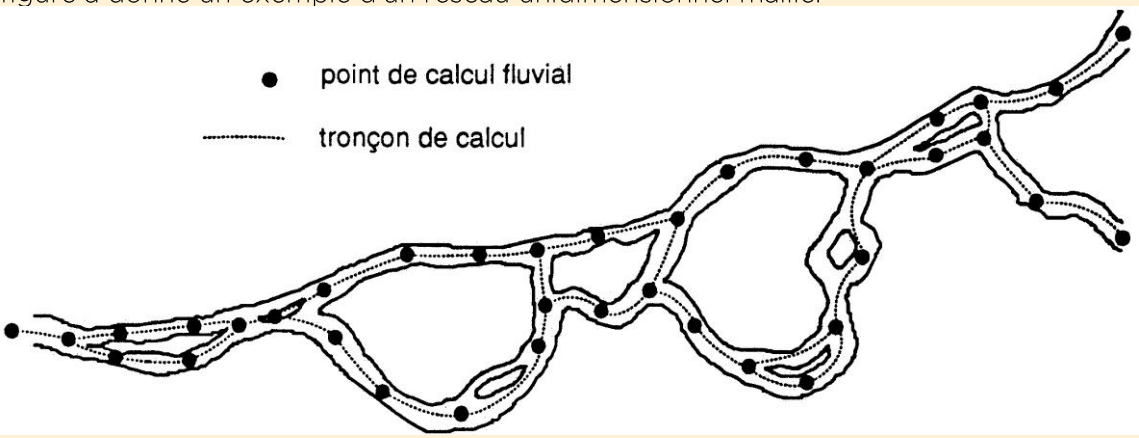


Figure d : exemple de réseau unidimensionnel (1D) maillé source SOGREAH

Les pertes de charges régulières sont déterminées à parti des équations complètes de Barré de Saint-Venant.
Des relations particulières expriment les pertes de charge singulières et les lois d'écoulement en cas de singularités (seuils, vannes, orifices, etc.)..

Écoulement dans le champ d'inondation

L'écoulement bidimensionnel dans le champ d'inondation est simulé par des points de calcul positionnés dans le lit majeur. L'écoulement entre les points du lit majeur obéit soit à une loi de résistance (perte de charge par frottement), soit à une loi de type ouvrage (déversoir, orifice, etc.). L'emplacement des casiers et des liaisons entre les casiers est choisi, dans la mesure du possible, en fonction des limites naturelles telles que routes, digues, etc... La relation entre le volume de stockage et la cote du plan d'eau pour chaque casier est déterminée à partir des données topographiques.
La figure ci-dessous montre le cas schématique d'une zone d'écoulement bidimensionnel sur le champ d'inondation adjacent au lit mineur ; les flèches suggèrent des chemins d'écoulement possible entre les points de calcul dans le lit majeur et le lit de la rivière.

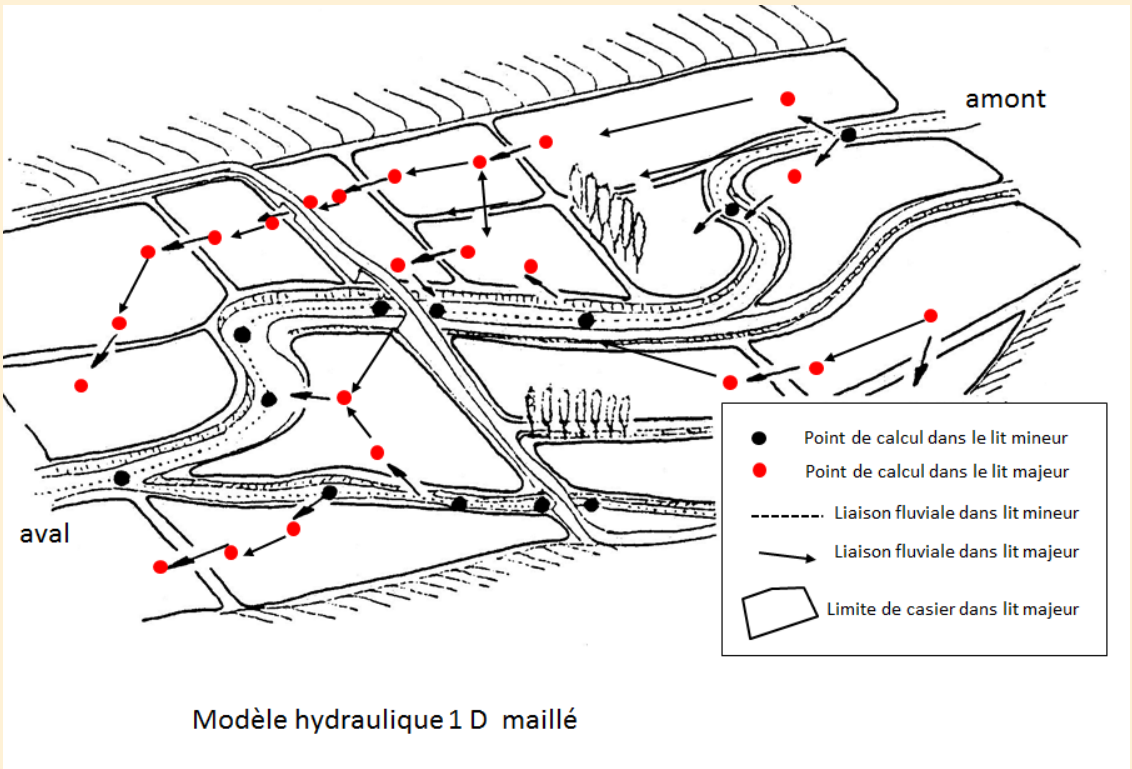


Figure e : exemple de réseau 1D maillé (lit mineur et lits majeurs) source SOGREAH

Avec un modèle 1D maillé, un niveau d'eau et un débit sont calculés au droit de chaque point de calcul. Dans une même largeur d'écoulement, des niveaux d'eau différents vont pouvoir être déterminés entre le lit mineur, le lit majeur rive gauche et le lit majeur rive droite. La répartition des débits se fait en chaque point de calcul, en fonction de la topographie.

La modélisation 2D

La modélisation 2D permet, par l'intégration directe d'une topographie fine, d'obtenir une vraie prise en compte des phénomènes bidimensionnels.
Sur ce type de maillage 2D (voir figures ci-après), le logiciel 2D calcule en tout point de la zone d'étude (aussi bien dans le lit ordinaire que dans la plaine inondable) les évolutions au cours du temps du niveau d'eau et de la vitesse de l'écoulement, à la fois en direction et en intensité. Les parties du modèle parfois inondées et parfois découvertes au cours de la simulation sont gérées automatiquement.
La force de l'approche bidimensionnelle réside dans le découpage très fin de la topographie par le modèle numérique de terrain (MNT), et dans la possibilité de calculer la vitesse de l'écoulement en chaque point du maillage (au sommet des triangles), aussi bien dans le lit ordinaire des rivières que dans les plaines inondables.
La taille de la maille est adaptée aux variations topographiques (mailles larges sur une plaine quasiment plate et petites mailles serrées autour d'un bâtiment, remblai créant obstacle aux écoulements).
A chaque sommet de triangles du maillage correspond un point de calcul.

Ce type de modèle est également très utilisé pour représenter tous les aspects maritimes (propagation de la houle au large jusqu'au littoral).

La modélisation 2D peut s'avérer relativement facile à mettre en œuvre si la zone à étudier est couverte par un relevé LIDAR.
Les temps de calcul restent cependant directement corrélés aux nombres de points de calculs (donc au nombre de triangles) présents dans le modèle.

Ces modèles sont donc *a priori* réservés sur des secteurs restreints à enjeux forts ou sur la bande côtière pour tous les calculs liés aux submersions marines (cycloniques ou tsunamis).

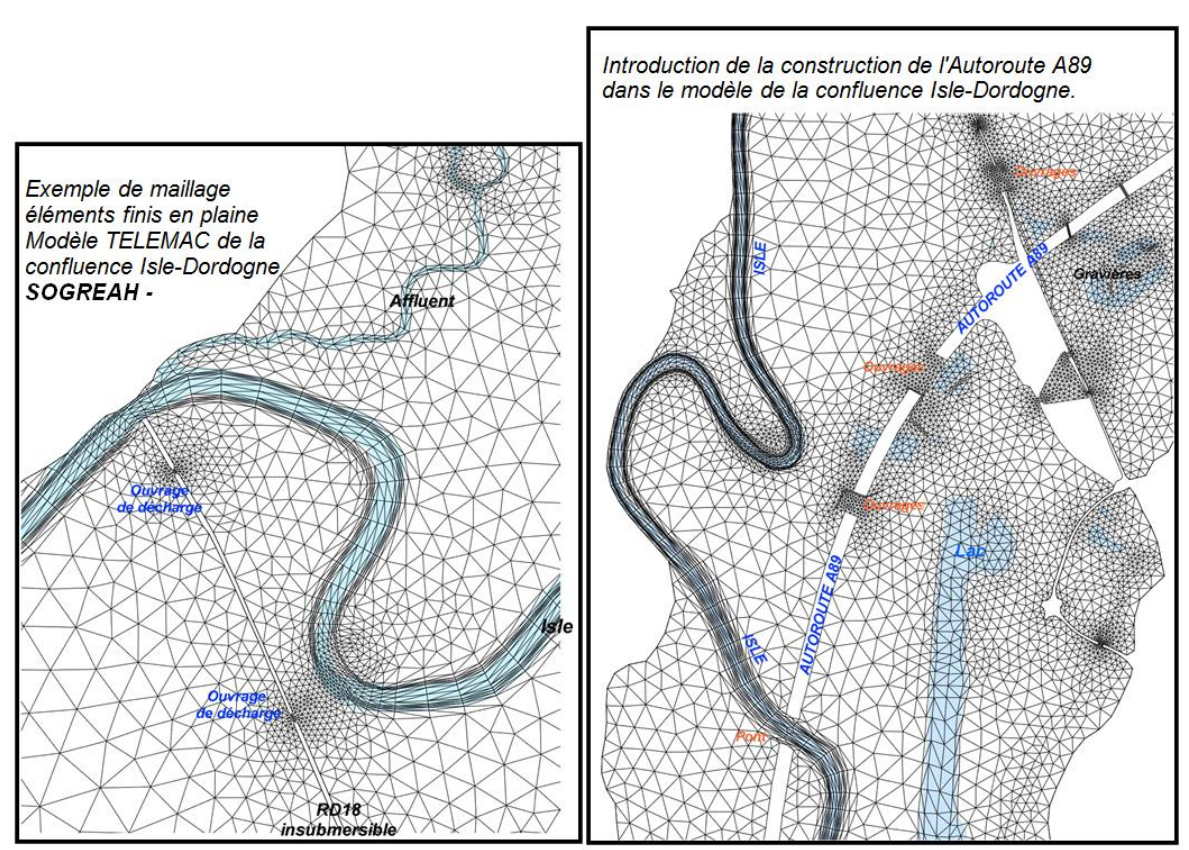


Figure f : exemples de maillage réalisés avec un logiciel 2D (lit mineur et lits majeurs) source SOGREAH

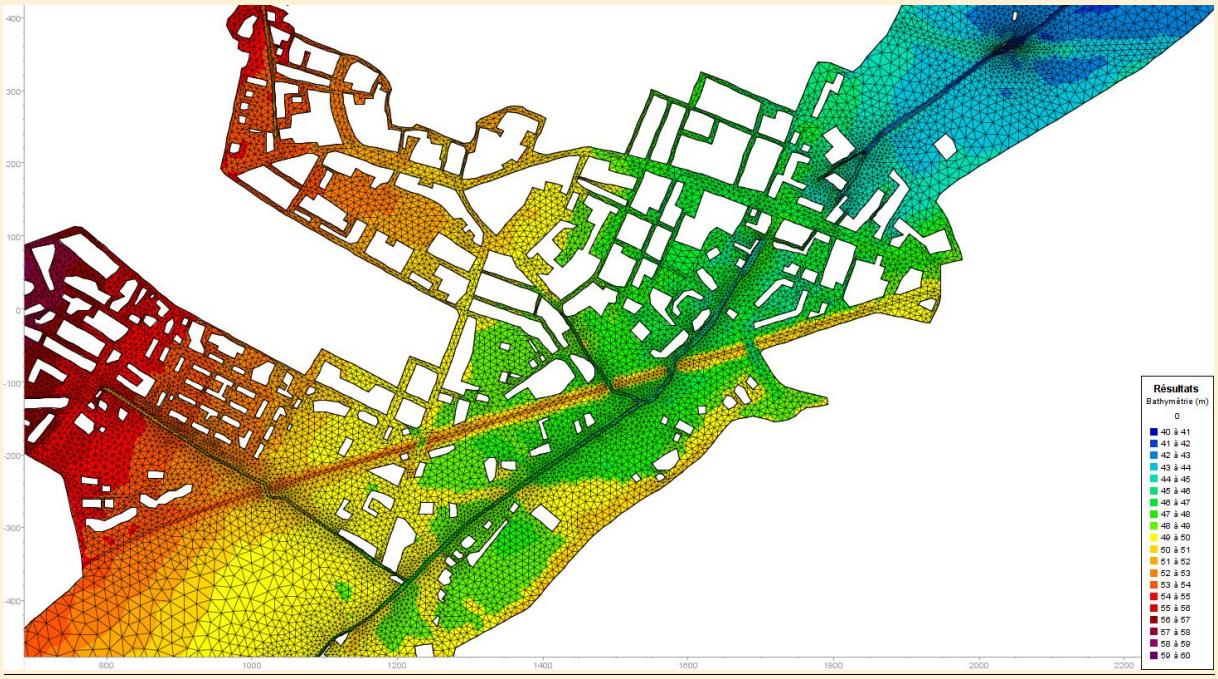


Figure g : exemple de maillage en zone urbaine source SOGREAH

Les exemples de maillage ci-dessus montrent la prise en compte dans le modèle des principaux axes d'écoulement (routes entre les blocs de bâtiments).

Il faut noter que la représentation des 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 (voir figures g,f et i), 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.

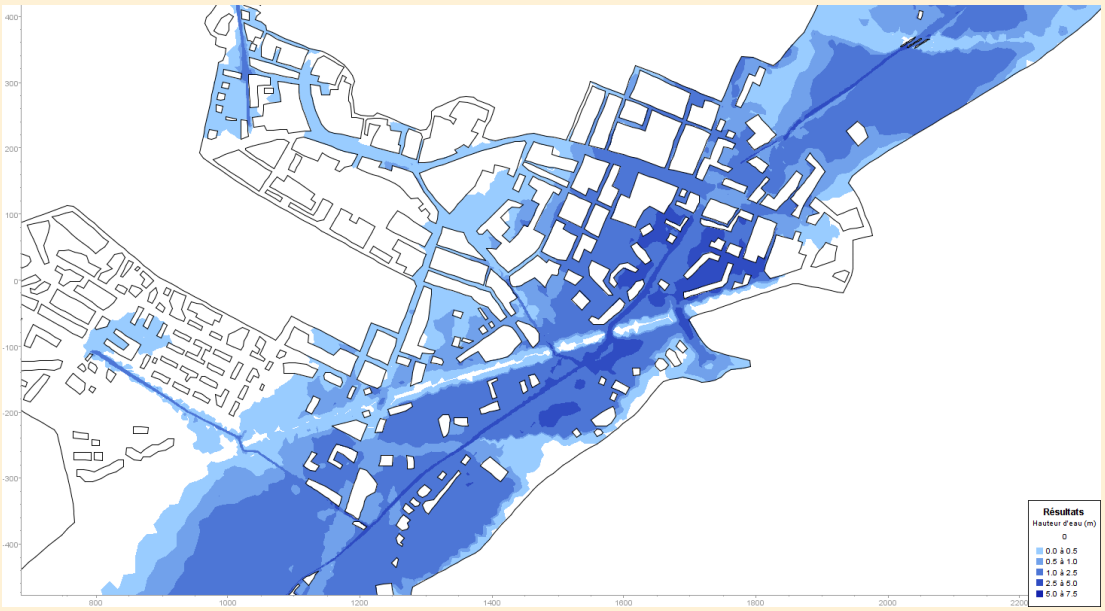


Figure h : exemple de cartographie des hauteurs d'eau en zone urbaine source SOGREAH

Figure i: exemple de cartographie des vitesses (intensités et vecteurs) en zone urbaine source SOGREAH

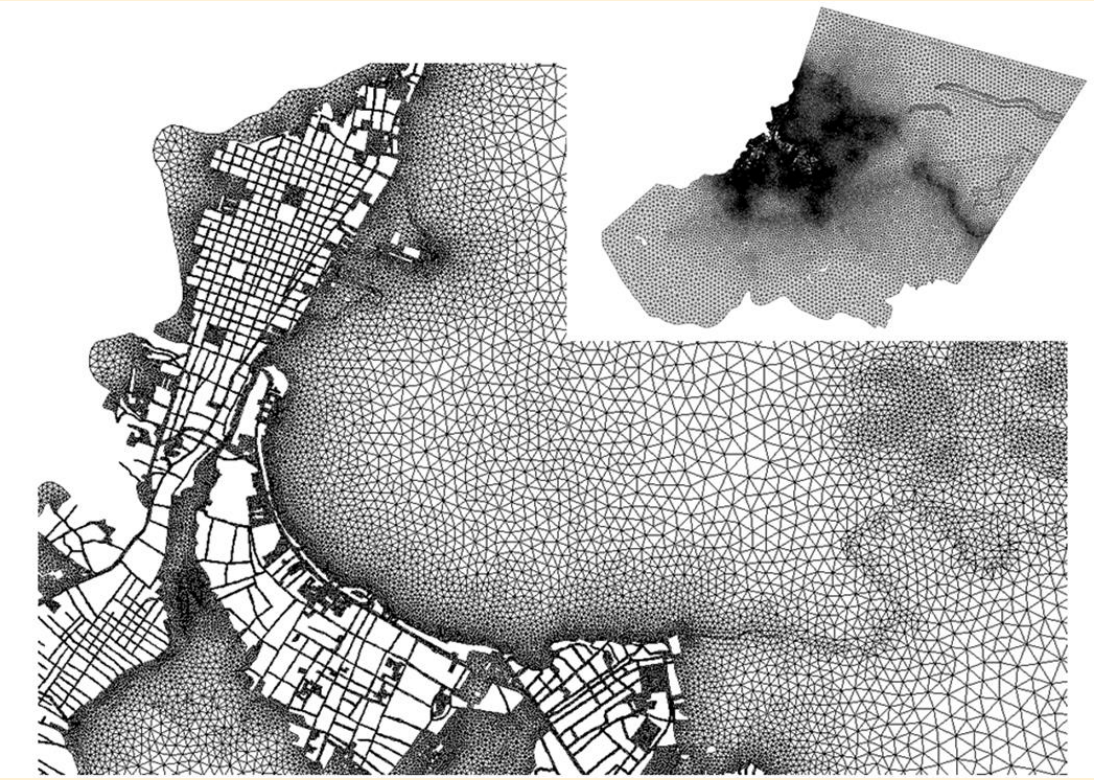


Figure j: exemple de modélisation 2D réalisée sur Cap Haïtien pour déterminer les effets de Tsunami sur la côte (source ARTELIA)

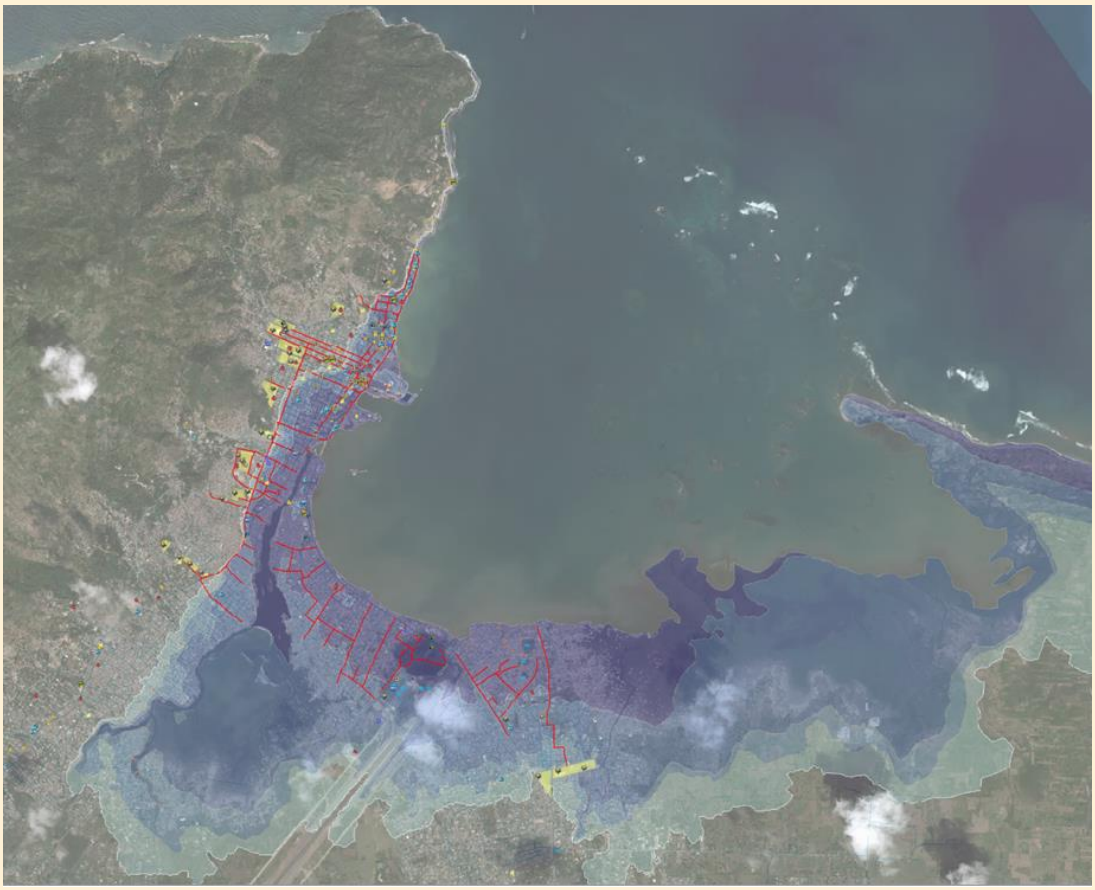


Figure k: exemple de résultats « aléas Tsunami » obtenus avec un modèle 2D réalisé sur Cap Haïtien (source ARTELIA)

La magnitude est une mesure instrumentale qui a été introduite en 1935 par C.F. Richter, en vue de comparer entre eux les séismes locaux de Californie.
Il existe une corrélation entre la magnitude et l'énergie libérée au foyer[1] du séisme. L'échelle ouverte de Richter (tableau ci-après) varie de magnitudes négatives (micro secousses) aux magnitudes supérieures à 8, comme au Chili en 1960 (8,5), en Alaska en 1964 (8,4), ou à Mexico en 1985 (8,1).
Les séismes d'Izmit, dit d'Izmit-Kocaeli, en Turquie (17 août 1999, plus de 17 000 morts, entre 3 et 7 milliards d'Euros de dégâts) et de Taïwan (21 septembre 1999, au moins 2 400 morts, dommages estimés à 15milliards d'Euros) sont de magnitude plus faible, respectivement 7,4 et 7,3. Les deux séismes du Salvador des 13 janvier et 13 février 2001, de magnitudes 7,6 et 6,6 ont provoqué la mort d'au moins 1200 personnes et 1,5 million de sinistrés, soit le 1/5 de la population.

Magnitude	Effets engendrés
9	Destruction totale à l'épicentre, et possible sur plusieurs milliers de km
8	Dégâts majeurs à l'épicentre, et sur plusieurs centaines de km
7	Importants dégâts à l'épicentre, secousse ressentie à plusieurs centaines de km
6	Dégâts à l'épicentre dont l'ampleur dépend de la qualité des constructions
5	Tremblement fortement ressenti, dommages mineurs près de l'épicentre
4	Secousse sensible, mais pas de dégâts
3	Seuil à partir duquel la secousse devient sensible pour la plupart des gens
2	Secousse ressentie uniquement par des gens au repos
1	Secousse imperceptible

Plus récemment :

- Le séisme du Gujarat en Inde (2001), de magnitude 7,7 a fait plus de 20 000 victimes et au moins 3 milliards d'Euros de dégâts.
- le séisme de Sumatra, en Indonésie (2004), de magnitude de 9,1 à 9,3, a fait environ 230000 victimes dont la plupart imputables au tsunami qui a suivi ;
- Le séisme d'Haïti, en janvier 2010, de magnitude de 7.2, a fait plus de 240.000 morts ;
- Le séisme de CHILI en février 2010 ; de magnitude 8.8 et un tsunami touchent le centre du Chili et font 523 morts
- Le séisme de Tohoku, en mars 2011, de magnitude de 8.9 à 9,0, a fait environ 18 079 morts et disparus dont la plupart imputables au tsunami qui a suivi.

Il est donc important de noter à ce niveau que les séismes les plus puissants ne sont pas forcément les plus meurtriers (figure ci-après). En effet, celui d'Haïti, en janvier 2010, a fait plus de 240.000 morts avec une magnitude de 7 alors que celui du Chili de la même année, n'a fait que 523 (soit 600 fois plus victimes pour une magnitude 8.8 (soit 100 plus puissant). Par ailleurs le séisme du Japon 2011 de magnitude 9, n'est cependant responsable que de peu de victimes et dégâts grâce à la qualité des constructions parasismiques2 japonaises.

[1] Lieu origine dans la lithosphère d'un tremblement de terre. Il est également appelé hypocentre (zone où s'est initialisée la rupture de la croûte à l'origine du séisme).
[2] Regroupe l'étude du comportement des bâtiments et structures sujets à un chargement dynamique du type sismique et la réalisation de bâtiments et infrastructures résistant aux séismes.

L'ampleur de cette catastrophe résulte essentiellement du tsunami[3], qui s'ensuivit et qui est à l'origine de plus de 90 % des 18 079 morts et disparus, des destructions et des blessés.
Ce tsunami a également entraîné l'accident nucléaire de Fukushima placé au niveau 7, le plus élevé sur l'échelle internationale des évènements nucléaires[4] (INES) des accidents nucléaires[5] et radiologiques.

L'ampleur inégale du nombre des victimes traduit des différences de contextes géologiques et de distance à l'épicentre[6], ainsi que des disparités dans les matériaux de construction et l'application des règles de construction parasismique.

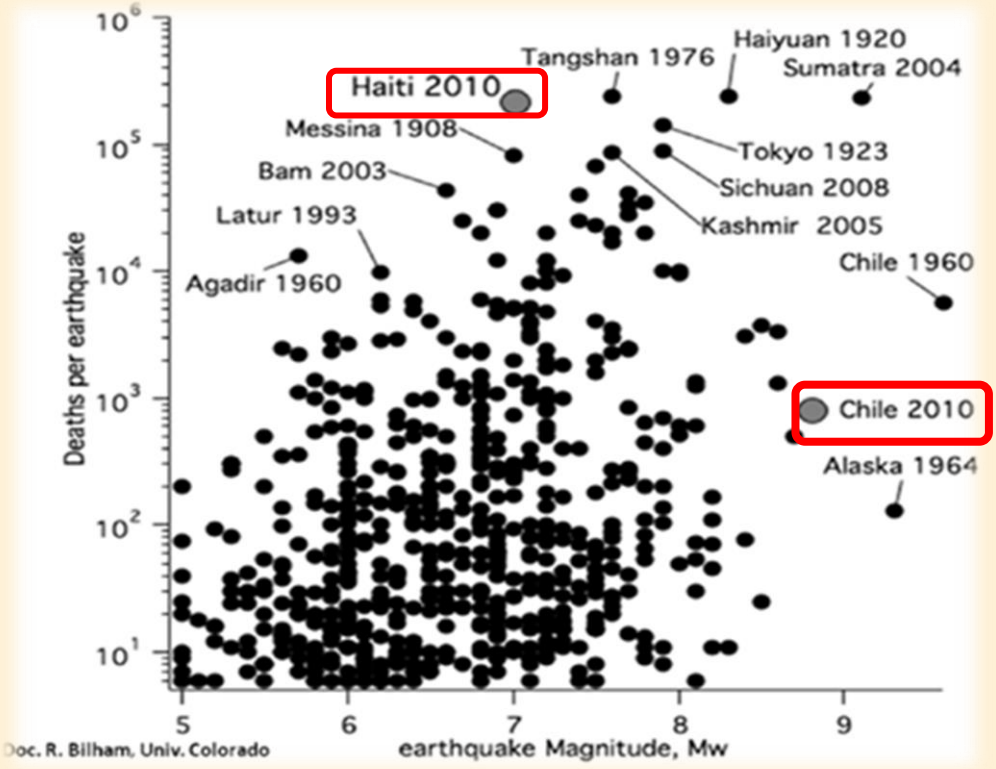


Figure a: Proportion des victimes en fonction de la magnitude des séismes (Bilham, 2010).

Le séisme d'Haïti du 12 janvier, 2010 a fait plus de 240.000 morts avec une magnitude de 7 alors que celui du Chili de la même année, n'a fait que seulement 523 pour une magnitude 8.8 (soit 100 plus puissant). L'ampleur inégale du nombre des victimes s'explique par des disparités dans les matériaux de construction et l'application des règles de construction parasismique. En effet, depuis le séisme catastrophique de 1960, le Chili a travaillé sans relâche pour réduire sa vulnérabilité face à ce risque.

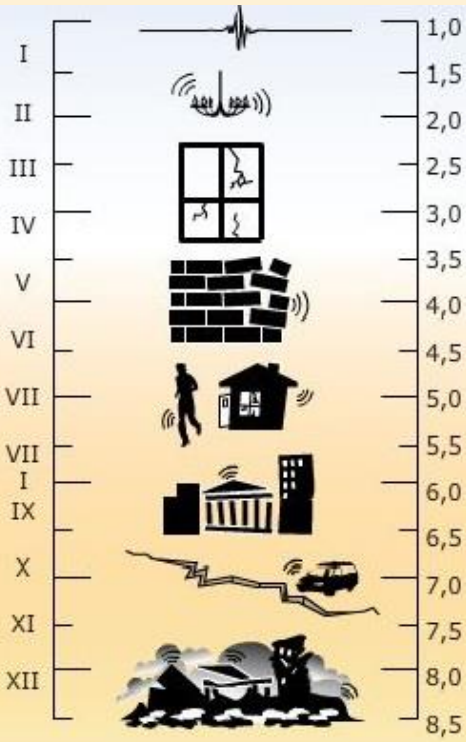
[3] C'est une série d'ondes de très grande période se propageant à travers un milieu aquatique (océan, mer ou lac), issues du brusque mouvement d'un grand volume d'eau, provoqué généralement par un séisme, un glissement de terrain sous-marin ou une explosion volcanique, et pouvant se transformer, en atteignant les côtes, en vagues destructrices déferlantes de très grande hauteur.
[4] Dite échelle INES (de l'anglais International Nuclear Event Scale) sert à mesurer la gravité d'un incident ou d'un accident nucléaire civil
[5] Ou accident radiologique, est un événement industriel accidentel grave, dont les conséquences potentielles ou actuelles sont liées à la présence de matières.
[6] Point de la surface du globe situé à la verticale du foyer d'un séisme. En général, il est au barycentre de la zone où les dégâts sont les plus importants (aire de plus forte intensité macrosismique).

L'intensité correspond à l'évaluation conventionnelle des effets du séisme sur un site donné en tenant compte des dommages observés. (Voir tableaux ci-après).

I	secousse non ressentie, mais enregistrée par les instruments
II	secousse partiellement ressentie, notamment par des personnes au repos et aux étages
III	secousse faiblement ressentie, balancement des objets suspendus
IV	secousse largement ressentie dans et hors les habitations, tremblement des objets
V	secousse forte, réveil des dormeurs, chûte d'objets, parfois légères fissures dans les plâtres
VI	légers dommages, parfois fissures dans les murs, frayeur de nombreuses personnes
VII	dégâts, larges lézardes dans les murs de nombreuses habitations, chûtes de cheminées
VIII	dégâts massifs, les habitations les plus vulnérables sont détruites, presque toutes subissent des dégats importants
IX	destructions de nombreuses constructions, quelquefois de bonne qualité, chûte de monuments et de colonnes
X	destruction générale des constructions, même les moins vulnérables (non parasismiques)
XI	catastrophe, toutes les constructions sont détruites (ponts, barrages, canalisations enterrées...)
XII	changement de paysage, énormes crevasses dans le sol, vallées barrées, rivières déplacées...

Mercalli
Intensité des dégâts observés

- C'est une échelle de classification des séismes.
- Elle est subjective car fondée sur l'étendue des dégâts observés : elle va de I (ressenti uniquement par quelques personnes dans des conditions particulièrement favorables) à XII (destruction totale).



Richter
Quantité d'énergie dégagée

- Elle évalue l'amplitude des ondes sismiques enregistrées et est calculée à partir de la quantité d'énergie dégagée au point d'origine du tremblement de terre.
- **Chaque degré de l'échelle représente une magnitude 10 fois plus élevée que le degré précédent.**

I. Classification des sols

Pour l'IBC (2009), la réponse d'un site est établie de manière forfaitaire en fonction de la catégorie de sol selon la classification établie dans le NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program). Dans cette classification, le paramètre principal permettant de différencier les sols est basé sur la vitesse moyenne de propagation des ondes de cisaillement (V_S) dans les 30 premiers mètres (paramètre $V_{s,30}$). N_{SPT} est le nombre de coups au pénétromètre dynamique SPT (Standard Penetration Test) ; C_u est la cohésion non drainée. Le Tableau 1 résume cette classification.

		Paramètres		
Classe de sol	**Description du profil stratigraphique**	$V_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (cps/30cm)	c_u (kPa)
A	Rocher « dur »	> 1500	-	-
B	Rocher	760 - 1500	-	-
C	Rocher « mou » ou sol ferme	360 – 760	> 50	> 250
D	Sol « mou »	180 – 360	15 - 50	70 - 250
E	Sol « très mou »	< 180	< 15	< 70

Tableau 1 : Classification des classes de sol selon le NEHRP.

II. Calcul des spectres de réponse

Le calcul des spectres de réponse élastiques à prendre en compte pour le dimensionnement des bâtiments s'appuie sur la norme ASCE 7-05 préconisée par l'IBC, et par extension par le CNBH (2012). À chaque classe de sol de la classification NEHRP correspond un spectre forfaitaire. Le spectre de référence au rocher est celui correspondant à un sol de type B. Rappelons par ailleurs que pour obtenir les valeurs des charges de séisme à appliquer aux bâtiments, il convient d'associer à chaque bâtiment une catégorie de risque basée sur l'usage prévu, conformément au tableau 0.4.1 du CNBH (2012).

La forme des spectres de réponse est définie ci-dessous et illustrée en Figure 1. Un spectre d'une classe de sol est construit à partir de deux paramètres S_{DS} et S_{D1} calculés à partir, d'une part des paramètres S_S et S_1 calculés à partir des valeurs d'accélération aux périodes 0,2s et 1,0s de l'aléa au rocher (période de retour 2475 ans), et d'autre part de coefficients d'amplification Fa (pour S_{DS}) et Fv (pour S_{D1}). Ces coefficients quantifient l'amplification en accélération spectrale par rapport à un sol rocheux (classe B) pour les périodes 0,2s (Fa) et 1,0s (Fv).

Les périodes du plateau T_0 et T_S sont déduites de ces deux valeurs. Le rapport Plateau/PGA est fixe et égal à 2,5. Entre T_S et T_L, le spectre décroit en 1/T. Au-delà de T_L le spectre décroit en $1/T^2$. La valeur de T_L est imposée régionalement et ne varie pas en fonction du type de sol. Cette valeur T_L n'a pas été évaluée par Frankel et al. (2010). Elle est indiquée comme étant au moins égale à 4 secondes.

Le spectre est donc défini de la façon suivante. Comme pour le code IBC, on calcule :

S_{DS} = 2/3 Fa S_S
S_{D1} = 2/3 Fv S_1
T_0 = 0,2 (S_{D1}/S_{DS})
T_S = (S_{D1}/S_{DS})

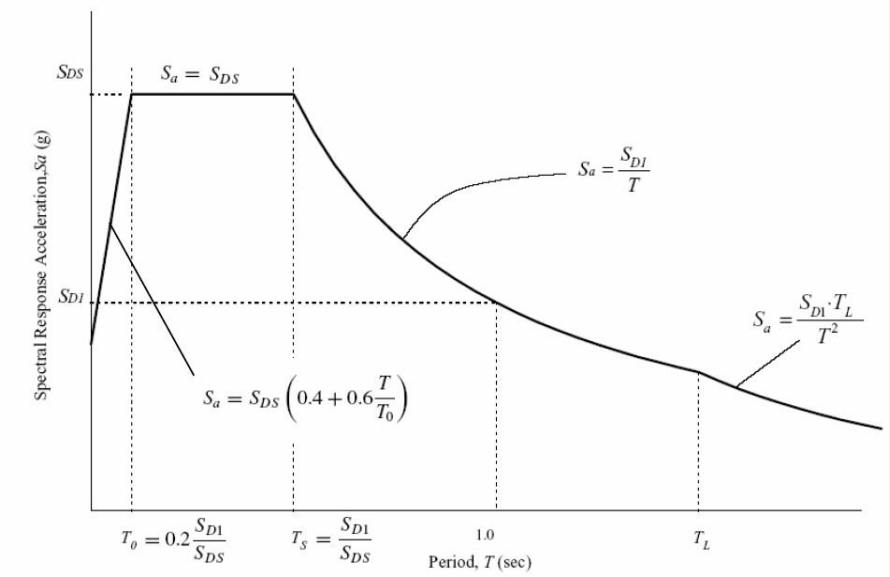


Figure 1 : Représentation de spectre forfaitaire selon le code IBC

De 0 à T_0 :	Sa = S_{DS} (0,4 + 0,6 T/T_0)
De T_0 à T_S	Sa = S_{DS}
De T_S à T_L	Sa = S_{D1} / T
Au-delà de T_L	Sa = S_{D1} T_L / T^2

Les spectres de réponse sont calculés à 5% d'amortissement (amortissement préconisé pour le bâti courant dans les règles parasismiques IBC).

Compte tenu des niveaux d'aléa sur la zone du Cap haïtien par exemple, les facteurs d'amplification à prendre en compte selon le code IBC 2009 sont reportés sur le Tableau 2. Un exemple de spectres de réponse pour les différentes classes de sol est illustré sur la Figure 2 pour la région nord d'Haiti Tableau 3.

Classe de site NEHRP (IBC 2009)	Fa	Fv
A	0,8	0,8
B	1	1
C	1	1,3
D	1	1,5
E	0,9	2,4

Tableau 2: Valeur des facteurs de site Fa et Fv sur la zone d'étude pour les classes de site du code IBC 2009.

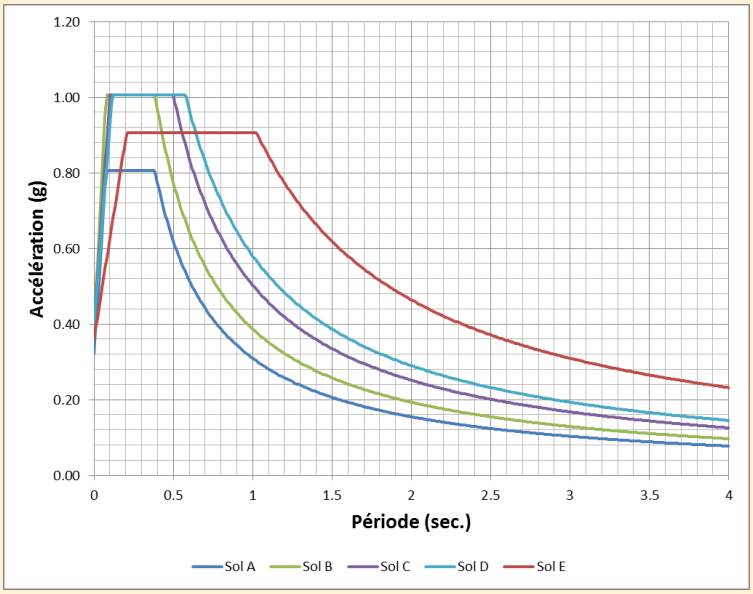


Figure 2 : Spectres de réponse en accélération à prendre en compte pour des classes de sol A à E sur la commune de Cap-Haïtien

III. Spectre de référence au rocher de la zone Cap Haïtien

Les spectres de référence sont dérivés des différentes cartes d'aléa sismique (Frankel *et al.*, 2010,Figure 3). La position des villes étudiées dans le Plan Séisme Nord est représentée sur la carte des accélérations spectrales à 0,2 seconde de l'USGS (Figure 3). On considère que la variation d'accélération au rocher à l'intérieur de chaque zone d'étude est négligeable. Pour chaque commune concernée et dans les limites de la zone d'étude, les valeurs des accélérations de référence sont reportées sur le Tableau 3 et les spectres de réponse correspondants sont reportés sur la Figure 4.

Commune	S_S (g)	S_1 (g)	T_0 (s)	T_S (s)	S_{DS} (g)	S_{D1} (g)	PGA (g)
Cap-Haïtien	1.51	0.58	0.08	0.38	1.01	0.39	0.40
Fort Liberté	1.50	0.59	0.08	0.42	1.00	0.39	0.40
Ouanaminthe	1.20	0.50	0.08	0.32	0.80	0.30	0.32
Port-de-Paix	1.54	0.59	0.08	0.38	1.03	0.41	0.39
Saint-Louis-du-Nord	1.54	0.59	0.08	0.38	1.03	0.41	0.39

Tableau 3 : Valeurs d'accélérations spectrales S_S (0.2 seconde) et S_1 (une seconde) pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans et principales caractéristiques (T_0, T_S, S_{DS}, S_{D1}, PGA) des spectres de dimensionnement ASCE 7-05 (IBC 2009) pour un sol de type B.

IV. Sélection d'accélérogrammes

Une fois le spectre de référence au rocher construit, il est nécessaire de choisir des accélérogrammes réels ou synthétiques représentant au mieux ce spectre de référence pour le calcul des effets de site lithologiques. Ces accélérogrammes sont ensuite utilisés comme mouvement sismique d'entrée dans les simulations numériques 1D. Pour cette

étude, quatre accélérogrammes ont été choisis : deux naturels et deux synthétiques.

Pour l'agglomération de Cap-Haïtien, le séisme de référence choisi pour la recherche d'accélérogrammes au rocher est un séisme de magnitude 7.5, localisé sur la faille Septentrionale en face de la ville de Cap Haïtien à une profondeur focale de 10 km (Tableau 4). Il s'agit d'un séisme de même type que celui de 1842, avec une magnitude légèrement inférieure, pour être en adéquation avec les accélérations de référence du Tableau 3.

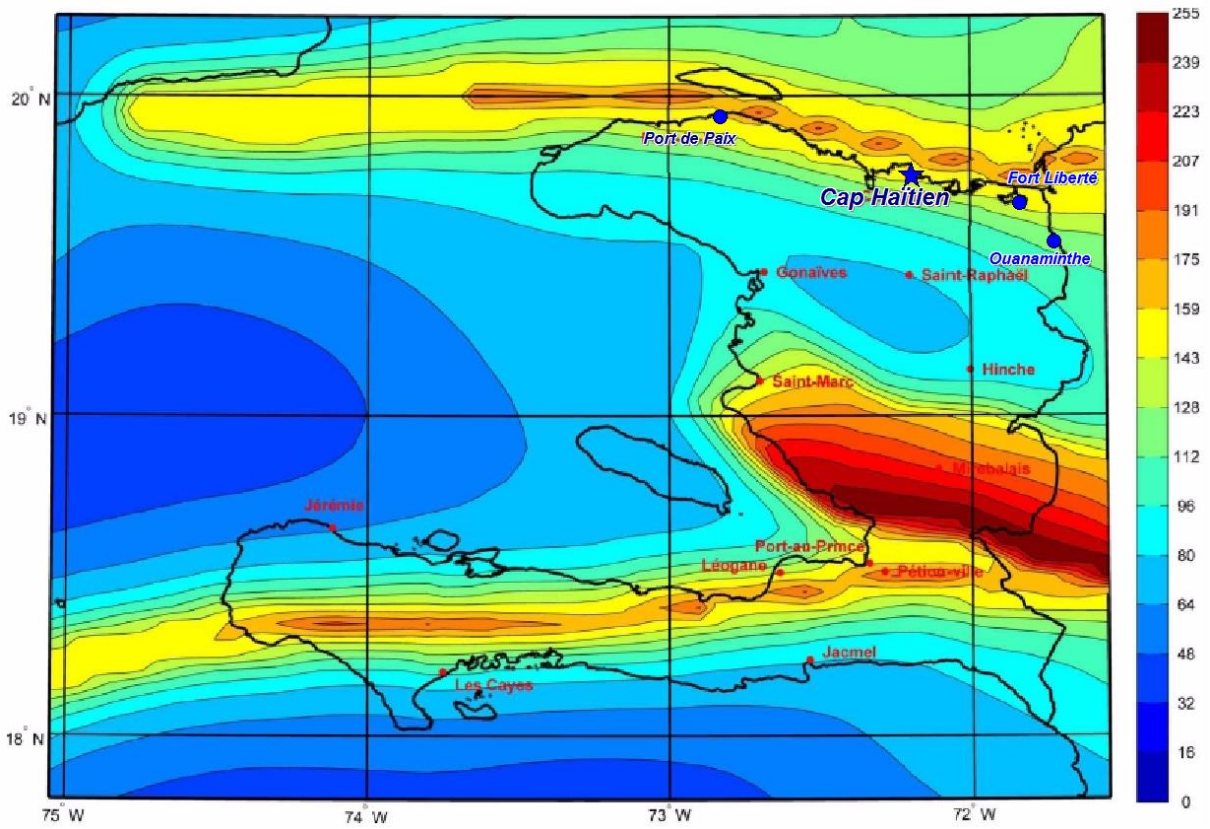


Figure 3 : Carte d'accélération spectrale S_S pour une période de 0,2 seconde et pour 2% de probabilité de dépassement en 50 ans. Valeurs de dimensionnement (USGS) en %g.

Séisme de référence	Séisme type 1842
Intensité épicentrale I_0 (MSK)	**IX**
Magnitude	**7,5**
Profondeur focale (km)	**10**
Distance épicentrale (km)	**10**
Distance focale (km)	**15**
Intensité estimée sur Cap Haïtien	**IX**

Tableau 4 : Séisme de référence pour Cap-Haïtien.

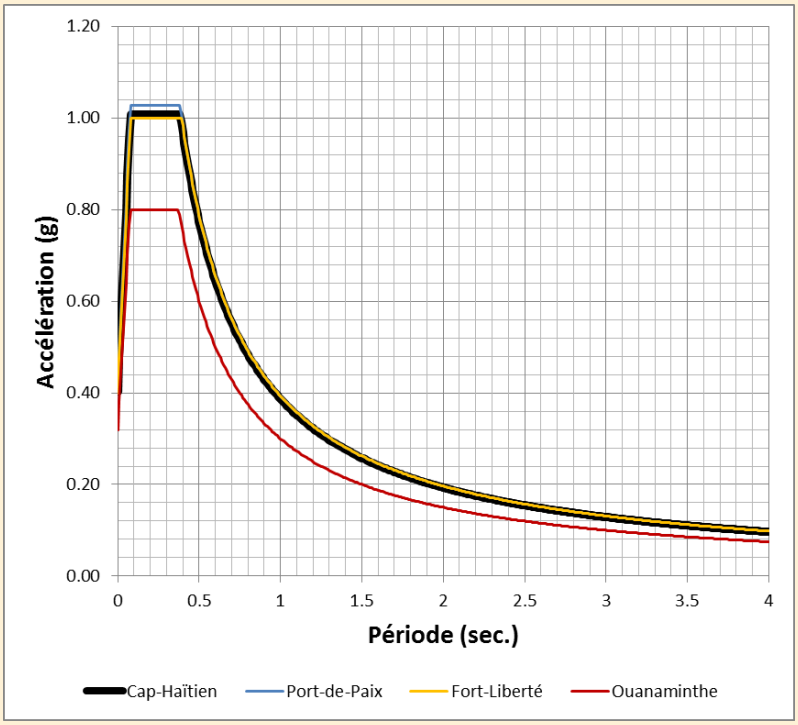


Figure 4 : Spectres de réponse en accélération au rocher pour les villes de Cap-Haïtien, Fort-Liberté, Ouanaminthe, Port-de-Paix d'après la norme ASCE 7-05 et le code IBC 2009.

➔ Choix de deux accélérogrammes naturels

La recherche d'accélérogrammes réels consiste à sélectionner des signaux dans des bases de données de mouvements forts, qui présentent des caractéristiques physiques (mécanisme au foyer, magnitude et distance focale) proches de celles du séisme de référence pour Cap-Haïtien. Les accélérogrammes sont alors choisis selon les critères suivants ($M = M_w$; $d = d_{focale}$) :

- magnitude telle que $M_{séisme\ cible}-1{,}0 < M < M_{séisme\ cible}+1{,}0$;
- distance telle que $d_{séisme\ cible}/2 < d < d_{séisme\ cible}*2$;
- PGA le plus proche possible du PGA du spectre au rocher CNBH(2012) (Figure 4) ;
- spectre de réponse le plus proche possible du spectre au rocher CNBH(2012).

Les critères retenus pour cette recherche sont reportés dans le Tableau 5.

Source : M_w = 7,5 ; dist. focale = 15 km
$6{,}5 \leq M_w \leq 8{,}5$
$7.5\ km \leq d_{focale} \leq 30\ km$
$0{,}15\ g \leq PGA_{cible} \leq 0{,}40\ g$

Tableau 5 : Critères retenus pour la sélection des accélérogrammes.

En l'absence de réseau sismologique en Haïti, nous ne disposons d'aucun enregistrement dans le pays répondant aux critères du Tableau 5. Deux accélérogrammes réels issus de séismes répondant à ces critères, ont été recherchés, dans les bases de données mondiales. Les caractéristiques des séismes réels ainsi retenus

sont décrites dans le Tableau 6. Cette sélection a été réalisée avec le site web du Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) Ground Motion Database.

Un facteur multiplicatif est ensuite appliqué pour normaliser les accélérogrammes naturels aux valeurs des PGA des spectres au rocher pour chaque commune de la zone d'étude du Nord d'Haïti, c'est-à-dire 0,32 g, 0,39 g, et 0,40 g (Tableau 3). Ces accélérogrammes sont représentés sur la Figure 5, pour un PGA_{cible} de 0,40 g à Cap-Haïtien.

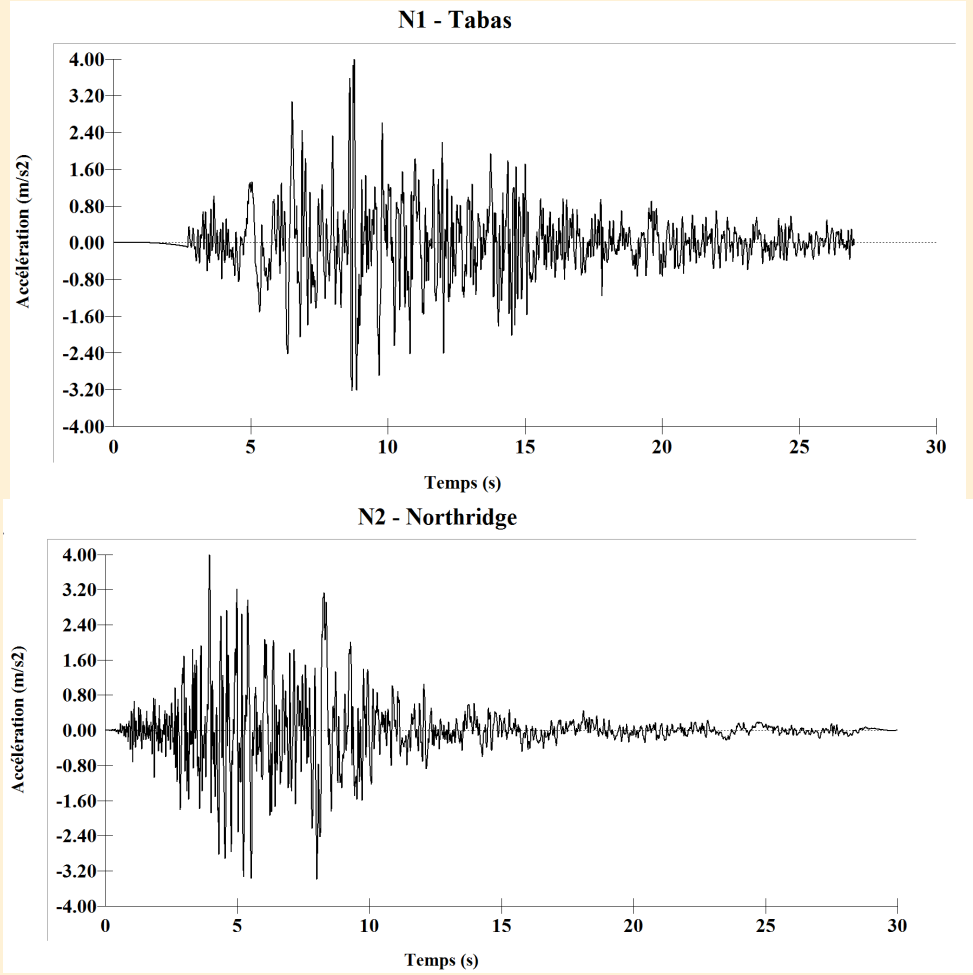


Figure 5 : Accélérogrammes naturels sélectionnés et normalisés par rapport au PGA de 0,40 g (cas de Cap Haïtien).

	Date	Séisme	Jeu	Mw	d_{focale} (km)	Station	$V_{S,30}$ (m/s)	PGA (g)
N1	16/09/1978	Tabas (Iran)	inverse	7,35	13	Dayhook	826	0,38
N2	17/01/1994	Northridge (USA)	inverse	6,7	20	LA Wonderland	1222	0,17

Tableau 6 : Caractéristiques des séismes correspondant aux accélérogrammes réels choisis pour le calcul des spectres tenant compte des effets de site.

➔ Modification de deux accélérogrammes naturels

En complément de ces accélérogrammes, deux accélérogrammes naturels ont été modifiés à l'aide du logiciel *RspMatch 2005* (Hancock *et al.*, 2006).

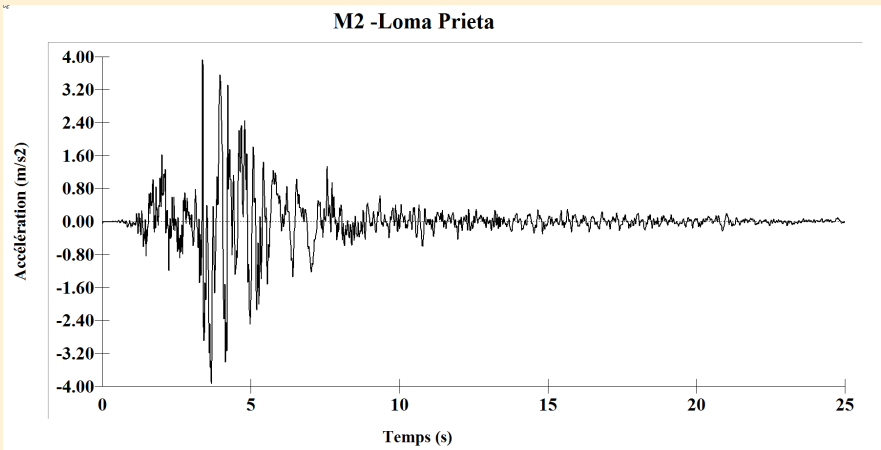
Pour cela, la recherche précédente a tout d'abord été réitérée de manière à extraire deux nouveaux accélérogrammes naturels : les caractéristiques de ces séismes sont décrites dans le Tableau 7. Le logiciel *RspMatch 2005* procède ensuite à leur modification pour que leurs spectres de réponse soient compatibles avec le spectre au rocher CNBH(2012).

Cette méthode basée sur les travaux de Lilhanand et Tseng (1988) permet, dans la plupart des cas, de préserver le caractère non-stationnaire de l'accélérogramme de référence. Elle consiste à ajuster l'accélérogramme dans le domaine temporel en lui ajoutant des ondelettes de manière à ce que le spectre ainsi calculé respecte le spectre « cible » pour toute la gamme de fréquence considérée en maintenant des séries temporelles réalistes en vitesse et en déplacement.

Les accélérogrammes naturels modifiés déterminés grâce à *RspMatch 2005* sont présentés sur la Figure 6.

	Date	Séisme	Jeu	Mw	d_{focale} (km)	Station	$V_{S,30}$ (m/s)	PGA (g)
M2	17/10/1989	Loma Prieta (USA)	inverse oblique	6,9	11	Gilroy array #1	1428	0,44
M3	17/08/1999	Kocaeli (Turquie)	décrochant	7,5	7	Izmit	811	0,15

Tableau 7 : Caractéristiques des séismes correspondant aux accélérogrammes réels-modifiés choisis pour le calcul des spectres tenant compte des effets de site.



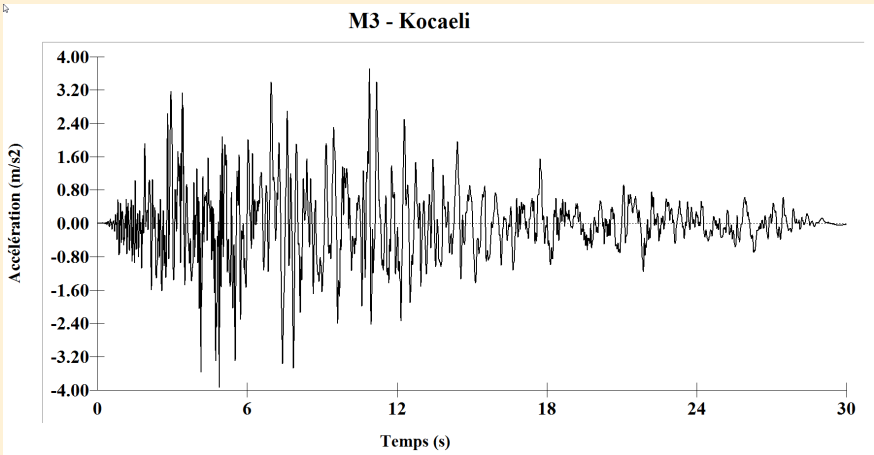


Figure 6 : Accélérogrammes réels modifiés correspondant au spectre au rocher CNBH2012 pour un PGA de 0,40 g (cas de Cap Haïtien).

➔ Comparaison avec le spectre au rocher CNBH2012

Les spectres de réponse des deux accélérogrammes naturels normalisés et des deux accélérogrammes naturels modifiés, sont comparés avec le spectre de réponse CNBH(2012) (spectre de référence retenu au rocher) sur la Figure 7 pour validation.

Même si les formes spectrales réelles coïncident de façon satisfaisante avec le spectre au rocher CNBH(2012), on peut noter des déficits à certaines périodes ou des pics notables comme celui à 0,2 seconde pour le séisme de Tabas (Figure 7). Ces variations de contenus fréquentiels sont inhérentes aux signaux naturels, car ils traduisent la complexité du phénomène, depuis l'émission des ondes sismiques jusqu'à leur enregistrement en surface. C'est d'ailleurs là tout l'intérêt d'utiliser des sollicitations les plus réalistes possibles. Par contre, il est certain que ces signaux ne représentent que de façon imparfaite le contexte sismique propre à Haïti. C'est pourquoi il est important de combiner des accélérogrammes des deux origines : synthétique et naturelle.

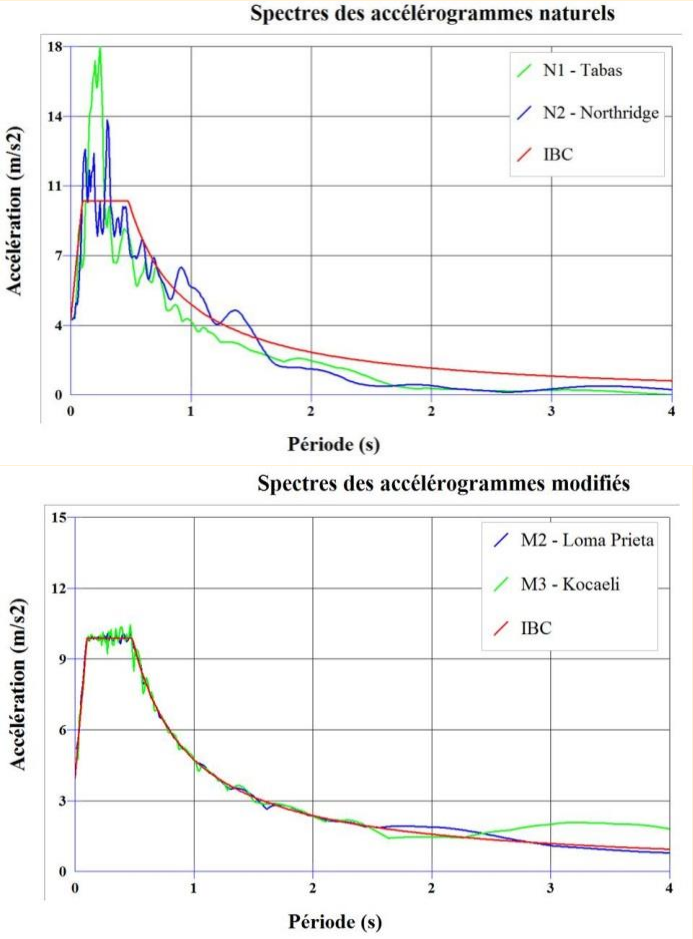


Figure 7 : Comparaison des spectres des accélérogrammes naturels normalisés (à gauche) et naturels modifiés (à droite) avec le spectre au rocher CNBH(2012).

oOo

Effets de site topographiques et approche forfaitaire empirique

(D'après RPS92, Eurocode8 et Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013)

I. Principe de l'approche forfaitaire empirique

Le coefficient d'amplification topographique τ (Tau) varie entre 1 (pas d'augmentation des accélérations des spectres de dimensionnement) et 1,4 (majoration de 40 % des accélérations). Indépendant de la fréquence, il est obtenu à l'aide de formules empiriques basées sur l'analyse de profils topographiques bidimensionnels.

Le principe du calcul du coefficient τ est le suivant (d'après les règles PS92).

Si l'on considère une arête B délimitant un versant aval de pente I (tangente de l'angle de pente) et un versant amont de pente i (Figure 1), et si :

- H 10 m (H étant la hauteur de l'arête au-dessus de la base du relief) ;
- i I/3 ;

alors le coefficient τ prend la valeur **:**

- **$\tau = 1$ pour I-i $\leq$ 0,40 ;**
- **$\tau = 1+0,8\ (I-i-0,4)$ pour 0,40 $\leq$ I-i $\leq$ 0,90 ;**
- **$\tau = 1,40$ pour I-i $\geq$ 0,90.**

I et i sont pris en valeur algébrique.

Sur le tronçon BC du versant amont défini par la longueur b de sa projection horizontale (exprimée en mètres) :

b = minimum de 20xI ou de (H+4)/10

La valeur de τ fait l'objet d'un raccordement linéaire entre les valeurs 1 et le long des tronçons AB et CD de longueur :

- a = AB = H/3 ;
- c = CD = H/4.

Enfin, τ prend la valeur 1 à l'aval du point A et à l'amont du point D.

La détermination de H laisse une certaine part à l'appréciation. À titre indicatif, on peut considérer comme base du relief le point en dessous duquel la pente générale du site devient inférieure à 0,4.

Lorsque la pente d'une colline ou d'un talus est variable, c'est le profil le plus défavorable qui doit être utilisé pour le calcul (Figure2).

L'Eurocode 8 a repris en partie ce mode de calcul (le coefficient τ est renommé S_T).

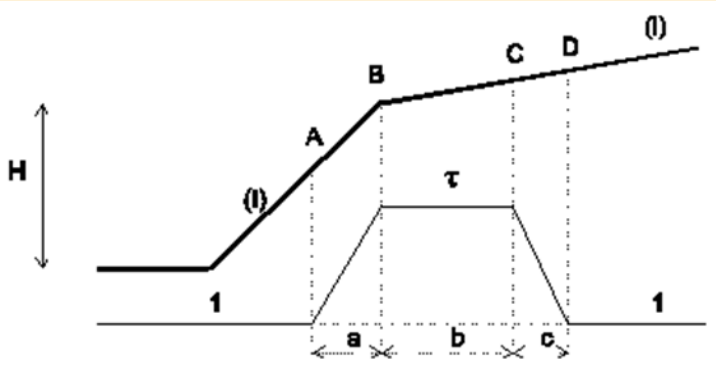


Figure 1 : Principe de calcul du coefficient τ pour l'évaluation des effets de site topographiques

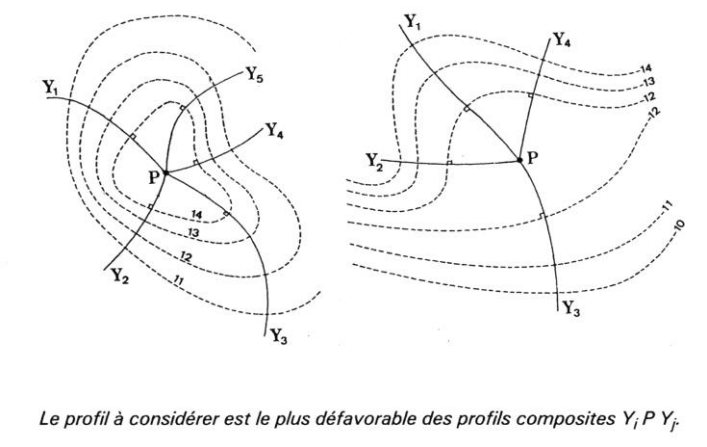


Figure 2 : Choix des profils pour le calcul du coefficient

II. Validité et limites de la méthode

Par le passé, les résultats des campagnes de mesures sismologiques ont parfois été en contradiction avec ceux qui étaient attendus. Ainsi, suite au séisme du Salvador de 2001, des zones affectées par des effets de site topographiques ont été identifiées, et le calcul a posteriori du coefficient des règles PS92 (avec les données topographiques disponibles) s'est avéré dans certains cas en contradiction avec les observations.

Une étude menée en 2010 par le BRGM pour le compte du ministère français en charge du développement durable a pour sa part mis en évidence que les coefficients forfaitaires issus des EC8 sont en moyenne comparables à ceux obtenus numériquement, tout du moins pour la gamme de fréquence comprise entre 0 et 2 Hz, et pour une géométrie simple de colline isolée (De Martin et Kobayashi, 2010).

Plus récemment, Pagliaroli et al. (2011) ont procédé à la comparaison du coefficient d'amplification topographique proposé dans les EC8 avec les données d'amplification disponibles (expérimentales et numériques), en fonction de l'élancement de la topographie (rapport hauteur maximale/demi-largeur de la base noté H/L). Il ressort de cette étude que :

- Les préconisations des règles EC8 sont globalement du même ordre de grandeur que les données disponibles pour des valeurs d'élancement H/L inférieur à 0,58;
- Les préconisations des règles EC8 ont tendance à sous-estimer l'amplification liée à la topographie dès lors que l'élancement H/L est supérieur à 0,58 (Figure 3.a) ;
- La sous-estimation des préconisations EC8 augmentent dès lors que l'on considère non plus les valeurs de pic, mais les amplifications spectrales (Figure 3.b).

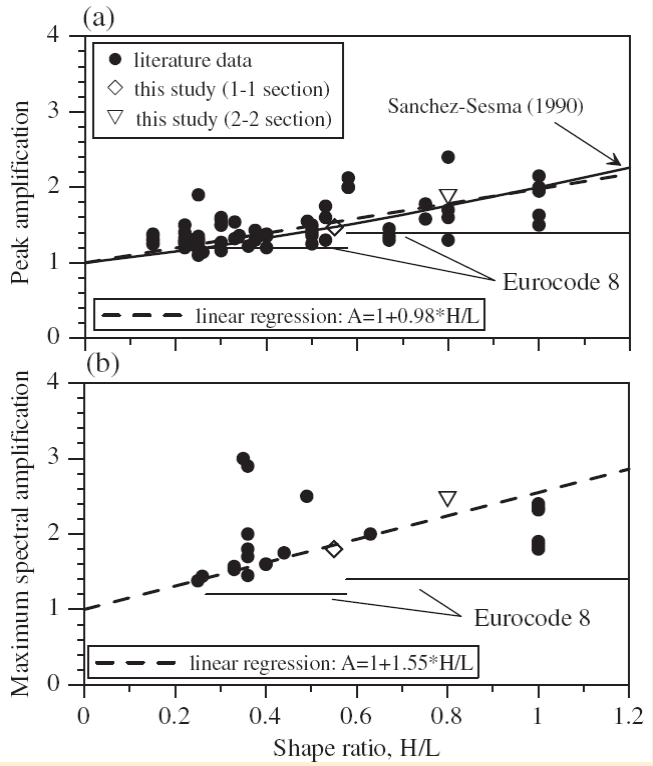


Figure 3 : Coefficient d'amplification topographique en fonction du ratio d'élancement H/L dans les domaines temporels (a) et fréquentiel (b) : comparaison entre les données disponibles et les valeurs préconisées par les règles européennes EC8.

(Source Pagliaroli et al. 2011).

Cette question de la validité des préconisations des règles EC8 concernant les effets de site topographiques a par ailleurs été largement abordée lors d'un colloque dédié à l'application de ces règles (Pitilakis et Papadimitriou, 2006).

Alors que la modélisation du phénomène reste donc encore largement du domaine de la recherche, il apparait clairement que le coefficient défini dans les règles parasismiques européennes n'est pas satisfaisant du point de vue théorique dans la mesure où il ne tient pas compte de la complexité du phénomène et de sa variabilité.

En tout état de cause, ce coefficient empirique apparait aujourd'hui comme étant le seul outil disponible pour

- localiser relativement précisément les zones susceptibles aux effets de site topographiques.
- procéder à une évaluation de premier ordre de ces effets, et est donc très utile à des fins d'aménagement.

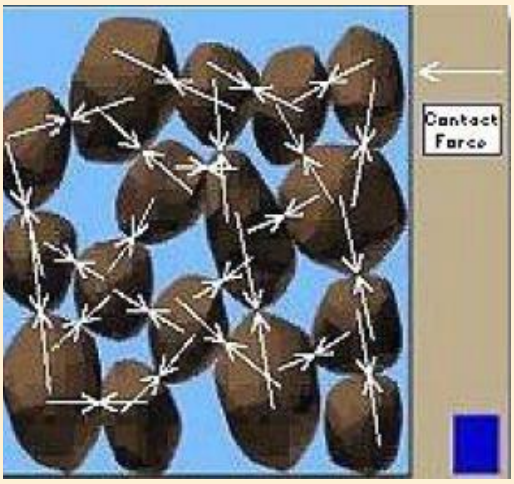
oOo

La liquéfaction : Définition et méthode

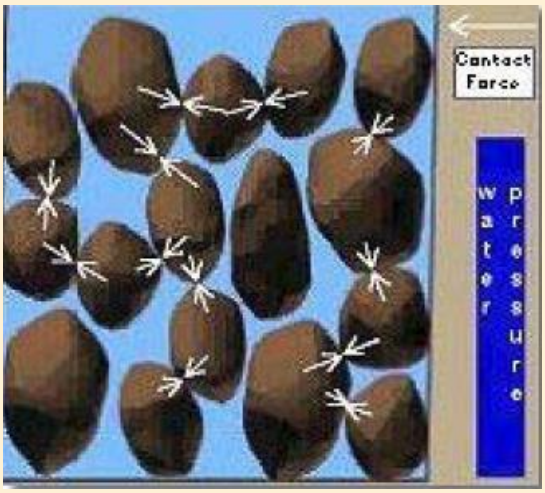
(D'après RPS92, Eurocode8 et Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013)

I. Définition du phénomène

La liquéfaction est une perte de résistance au cisaillement du sol. Elle est créée par une quasi annulation de la contrainte effective (la force de contact entre les grains de sols) déclenchée par l'augmentation de la pression interstitielle. Celle-ci est entre autre causée par les sollicitations cycliques générées par un séisme.



Sol à l'état initial :
Pression interstitielle « faible » => Forces de contact entre les grains « forte »



Sol soumis à une sollicitation sismique :
Augmentation de la pression interstitielle => Diminution des forces de contact et liquéfaction

Figure 1 : Schéma d'explication du mécanisme de liquéfaction (d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013).

Les retours d'expériences montrent que la liquéfaction concerne uniquement les sols situés à moins de 20 m de profondeur et qu'elle se produit le plus souvent sur des sols non cohérents lâches et saturés, tels que, par exemple, des alluvions récentes ou des remblais hydrauliques non compactés.

II. Effets induits par la liquéfaction

Un sol liquéfié se déforme et peut même rompre. Ces modifications d'état se manifestent sous différentes formes (Youd ; 1992) :

II.1 Ejections de sable

La liquéfaction de matériaux situés en profondeur a tendance à les faire sortir à la surface du sol. Cette éjection se manifeste en surface sous la forme de trainées ou de volcan miniature.

Figure 2 : Effet de la liquéfaction – Ejection de sables, Fouché (Haïti), séisme du 12/01/2010 (M7.0) et Bhuj (Inde), séisme du 26/01/2001 (Magnitude 7.7) - (d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013)

II.2 Glissement de terrain : coulée et glissement latéral

La liquéfaction de sols perchés sur un terrain en pente (> 3°) peut entrainer une coulée de boue. Les déplacements induits sont de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres, voire plus. Les conséquences pour les aménagements situés dans l'axe de la coulée sont catastrophiques.

Dans le cas de pente moins forte (< 3°), la liquéfaction d'une couche de sol située à faible profondeur peut entrainer le déplacement et la fissuration de la couche de sol la surplombant. Cette couche de sol se déplace alors naturellement vers le bas.

Les déplacements induits peuvent être de l'ordre de plusieurs mètres. Les conséquences pour les aménagements situés dans la zone déformée peuvent être très importantes : rupture de fondations, déformation et rupture de canalisations enterrées, etc. Ce phénomène peut être marqué par des éjections de sable.

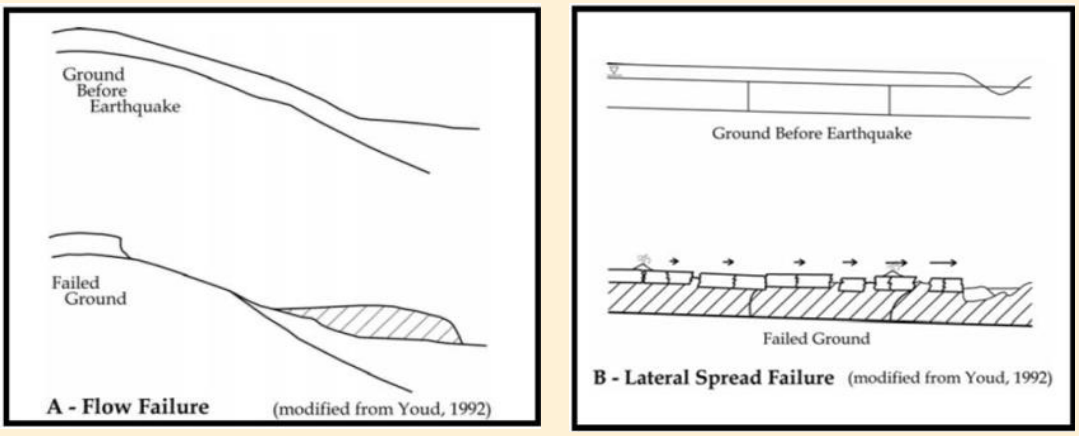


Figure 2 : Effet de la liquéfaction – Coulée de boue et glissement latéral – Youd (1992) - (d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013).

Figure 4 : Effet de la liquéfaction – Exemples de glissements latéraux : Port-au-Prince et Fouché (Haïti), séisme du 12/01/2010 (Magnitude 7.0) -(d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013).

II.3 Déformation de la surface du sol

Dans le cas d'une surface plate, la liquéfaction d'une couche de sol située en profondeur peut entrainer le déplacement et la fissuration de la couche de sol la surplombant. Le déplacement est moins important que dans le cas d'un glissement latéral. Il se manifeste par une oscillation du sol. Les conséquences pour les aménagements situés dans la zone déformée peuvent être importantes : déformation et rupture des revêtements, déformation des canalisations enterrées, etc. Ce phénomène peut être marqué par des éjections de sable.

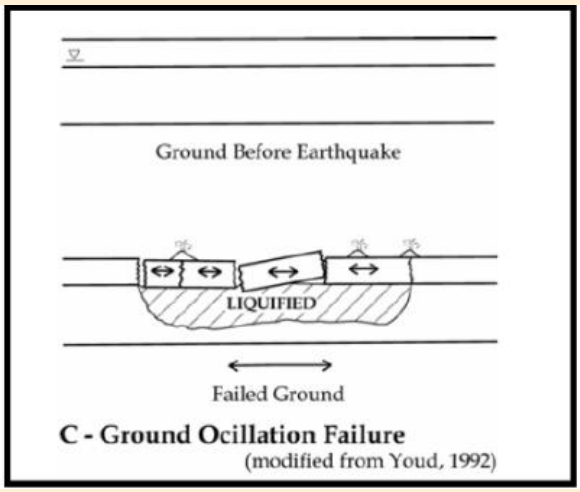


Figure 3 : Effet de la liquéfaction – Déformation de la surface du sol, Youd (1992) (d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013).

II.4 Perte de résistance au cisaillement

Dans le cas d'une surface plate, lorsque le sol liquéfié se situe sous des fondations, la résistance résiduelle au cisaillement peut être plus faible que celle nécessaire à la bonne stabilité de ces aménagements. Le sol support de fondation va alors tasser, voire être poinçonné. Les fondations vont suivre ce mouvement. Les conséquences pour ces aménagements sont plus ou moins importantes : tassement différentiel, basculement,

voire ruine à plus ou moins long terme. Ce phénomène peut être marqué par des éjections de sable.

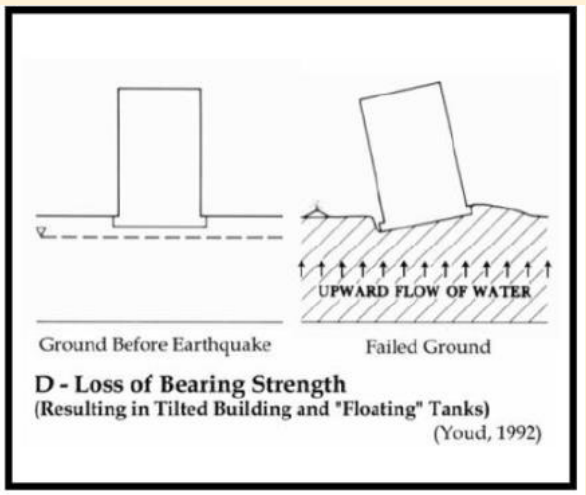


Figure 4 : Effet de la liquéfaction – Poinçonnement du sol de fondation – Youd (1992) - (d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013).

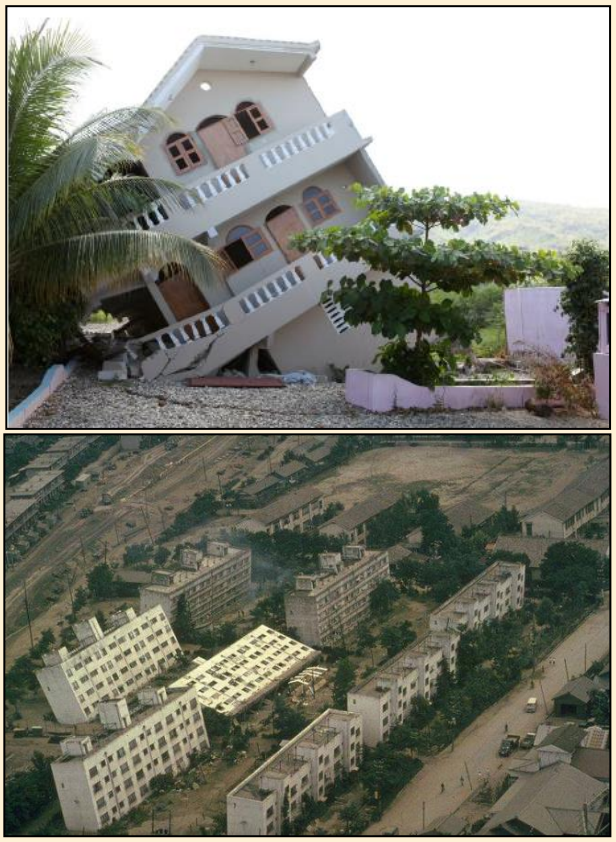


Figure 5 : Effet de la liquéfaction – Exemples de poinçonnement du sol de fondation : Léogâne (Haïti), séisme du 12/01/2010 (M. 7.0) et Niigata (Japon), séisme du 16/06/1964 (Magnitude 7.5) -(d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013).

II.5 Tassements et tassements différentiels

Dans le cas d'une surface plate, le réarrangement des grains du sol suite à la liquéfaction entraine un tassement. Les conséquences pour les aménagements peuvent être relativement importantes, en particulier en cas de tassements différentiels lorsqu'ils sont situés à cheval sur une zone liquéfiée et une zone non liquéfiée. Ce phénomène peut être marqué par des éjections de sable.

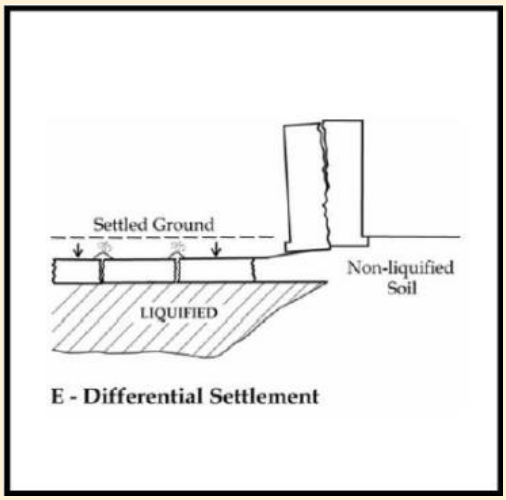


Figure 6 : Effet de la liquéfaction – Tassements différentiels – Youd (1992)- (d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013).

Figure 7 : Effet de la liquéfaction – Exemples de tassements : Port-au-Prince (Haïti), séisme du 12/01/2010 (M. 7.0) et Kobe (Japon), séisme du 17/01/1995 (Magnitude 6.8)- (d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013).

III. Réglementation et documents de référence

La liquéfaction a fait l'objet d'un grand nombre de projets de recherche. Les articles scientifiques les plus connus et actuellement les plus utilisés sont l'article de Youd et Perkins (1978 ; Classification de la sensibilité des sols selon leur nature géologique, leur âge et la profondeur de la nappe), celui de Iwasaki *et al.* (1983 ; Méthode de calcul pour la détermination d'un indice de liquéfaction) et enfin celui de Youd *et al.* (2001 ; Mise à jour des méthodes de calcul pour la détermination d'un coefficient de sécurité).

Ces articles ont été déclinés dans les normes et documents actuellement en vigueur :

- L'IBC, version 2012.
- Association Française du Génie Para-Sismique (AFPS), 1993 – Guide méthodologique pour la réalisation d'études de microzonage sismique
- Norme NF P06-013 (DTU) : règles PS 92. Valable jusqu'au 01/01/2014.
- Norme NF EN 1998-5 : Eurocode 8, partie 5. Valable depuis mars 2010.

En Haïti, la norme en vigueur pour l'évaluation du risque de liquéfaction est le Code National du Bâtiment d'Haïti (CNBH)[1].

Dans la partie 1 (petits bâtiments), la liquéfaction est traitée à deux niveaux :

- Les zones liquéfiables sont considérées comme étant des zones à risque devant être évitées : « *Zones à éviter* » ;
- L'évaluation de ce phénomène est à faire selon le principe suivant : « *Evaluation sommaire des sols* » :

> « Il y a possibilité de liquéfaction du sol en cas de séisme si le sol est composé de sable peu compacté ou de limon à grains de faibles dimensions (0,05 à 2 mm) à proximité de la surface et qu'il y a présence d'eau à saturation (nappe phréatique élevée) ».
>
> Dans ce cas : « seul un petit bâtiment résidentiel léger peut alors être considéré, si aucun autre choix de site n'est possible ».

Dans la partie 2 (« autres bâtiments ») de cette version de 2012, la liquéfaction n'est pas traitée. Il est prévu qu'elle le soit dans une prochaine version.

Dans l'IBC, version 2012, la liquéfaction est principalement traitée au chapitre 18 « *Soils and foundations* », aux sections 1803.5.11, 1803.5.12 et 1803.6.

Il y est spécifié que l'aléa liquéfaction doit être évalué pour la construction de bâtiments situés sur des sols de classe NEHRP C, D, E ou F (classification présentée au § Effet de site lithologique). Pour les sols de catégories D, E ou F, cette estimation doit en outre déterminer la possibilité de liquéfaction, estimer ses conséquences et enfin proposer des adaptations constructives.

L'IBC ne donne aucune instruction particulière pour le choix d'une méthode d'estimation de l'aléa.

IV. Méthodologie recommandée

Les trois méthodes mises en œuvre pour l'évaluation de l'aléa liquéfaction dans le cadre des premiers microzonages en Haiti (*Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013)*, sont celles du guide de l'AFPS de 1993.

[1] Ce code « *a été conçu pour servir d'Annexe aux codes de l'International Code Council (International Building code* [IBC] *et International Residential Code* [IRC]*)* ». La version du CNBH en vigueur est celle de 2012, édition de janvier 2013. Des ajouts ultérieurs sont prévus à cette version, en particulier pour ce qui concerne la partie 2 relative aux « *autres bâtiments* » (autres que des « *petits bâtiments* »)

IV.1 Etude de niveau A – sensibilité à la liquéfaction

Le guide de l'AFPS indique que l'étude de niveau A se base sur : « l'exploitation des données géologiques, hydrogéologiques ou géomorphologiques ». Elle permet d'établir une sensibilité à la liquéfaction basée sur 5 niveaux différents : très faible / faible / modérée / élevée / très élevée.

Les critères permettant de déterminer ces niveaux de sensibilité d'un sol à la liquéfaction sont regroupés dans le tableau suivant :

	Possibilité d'occurrence de liquéfaction pour des sédiments sans cohésion, saturés			
Nature du dépôt	**< 500 ans**	**Holocène**	**Pléistocène**	**Pré pléistocène**
		< 1000 ans	**< 165000 ans**	
Dépôts continentaux				
Rivière	Très élevée	Elevée	Faible	Très faible
Plaine alluviale	Elevée	Modéré	Faible	Très faible
Dépôts éoliens	Modérée	Faible	Faible	Très faible
Terrasses marines	-	Faible	Très faible	Très faible
Deltas	Elevée	Modérée	Faible	Très faible
Dépôts lacustres	Elevée	Modérée	Faible	Très faible
Colluvions	Elevée	Modérée	Faible	Très faible
Dunes	Elevée	Modérée	Faible	Très faible
Loess	Elevée	Elevée	Elevée	Inconnue
Moraines glaciaires	Faible	Faible	Très faible	Très faible
Zones côtières				
Deltas	Très élevée	Elevée	Faible	Très faible
Estuaires	Elevée	Modérée	Faible	Très faible
Plages	Modérée à élevée	Modérée à faible	Faible à très faible	Très faible
Lagons	Elevée	Modérée	Faible	Très faible
Remblais artificiels				
Non compacté	Très élevée			
Compacté	Faible			
Age du dépôt	**Profondeur nappe en m**			
	0-3	**3-10**	**10-15**	**> 15**
< 500 ans	Très élevée	Modérée	Faible	Très faible
< 10 000 ans	Elevée	Modérée	Faible	Très faible
< 1 650 000 ans	Faible	Faible	Très faible	Très faible
>1 650 000 ans	Très faible	Très faible	Très faible	Très faible

Tableau 1 : Sensibilité des dépôts sédimentaires à la liquéfaction en fonction de la nature, de la profondeur de la nappe et de l'âge du dépôt (Classification de Youd et Perkins, 1978)- (d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013).

IV.2 Evaluation de la susceptibilité à la liquéfaction (étude qualitative)

L'identification des sols liquéfiables selon le guide de l'AFPS se fait de la même manière

que pour les règles PS92, à savoir :

« *Sont à considérer comme a priori suspects de liquéfaction, les sols ci-après :*

a) *Sables, sables vasards et silts présentant les caractéristiques suivantes :*

- *Degré de saturation S_r voisin de 100 %,*
- *Granulométrie assez uniforme correspondant à un coefficient d'uniformité C_u inférieur à 15 : $C_u=D_{60}/D_{10} < 15$*
- *Diamètre à 50 %, D_{50} compris entre 0,05 mm et 1,5 mm,*
- *Et soumis en l'état final du projet à une contrainte effective σ'_v inférieure aux valeurs suivantes :*
  - *$\sigma'_v < 200$ kPa en zones de sismicité Ia et Ib*
  - *$\sigma'_v < 250$ kPa en zone de sismicité II*
  - *$\sigma'_v < 300$ kPa en zone de sismicité III*

  [Ces zones de sismicité correspondent à la législation française.]

b) *Sols argileux présentant les caractéristiques suivantes :*

- *Diamètre à 15 %, D_{15} supérieur à 0.005 mm,*
- *Limite de liquidité W_L inférieure à 35 %,*
- *Teneur en W supérieure à 0.9 W_L.*
- *Point représentatif sur le diagramme de plasticité se situant au-dessus de la droite « A » dudit diagramme.*

Peuvent a contrario être considérés comme exempts de risque :

a) *les sols dont la granulométrie présente un diamètre à 10 % D_{10} supérieur à 2 mm ;*

b) *ceux dans lesquels on a simultanément :*

$D_{70} < 74\ \mu m$ [Diamètre à 70 %]

IP > 10% *[Indice de plasticité]* »

IV.3 Evaluation de l'aléa liquéfaction (étude quantitative de niveaux B et C)

Les études de niveau B et C se basent sur des calculs de probabilités. Elles comparent la résistance du sol aux sollicitations sismiques. L'établissement d'un coefficient de sécurité, puis son intégration sur la colonne de sol fournit un indice de liquéfaction (IL). Dans le guide de l'AFPS, cette valeur est directement associée à un niveau d'intensité (sévérité) et à un niveau d'aléa.

Dans le détail :

a) Les méthodes de calcul du coefficient de sécurité sont développées dans l'article de Youd *et al.* (2001). Etant donné la complexité des calculs à effectuer, seul leur principe est ici rappelé.

Les valeurs suivantes sont calculées :

- La résistance du sol (Cyclic Resistance Ratio : CRR). Celle-ci est généralement calculée à partir des caractéristiques mécaniques mesurées in-situ et de règles empiriques basées sur l'étude des cas historiques. En pratique, les caractéristiques mécaniques sont fournies par des sondages géotechniques : l'essai de pénétration standard (SPT) et l'essai de pénétration statique (CPT), et par les essais géophysiques MASW. La méthode basée sur les MASW est jugée moins fiable que celles basées sur les sondages SPT et CPT.

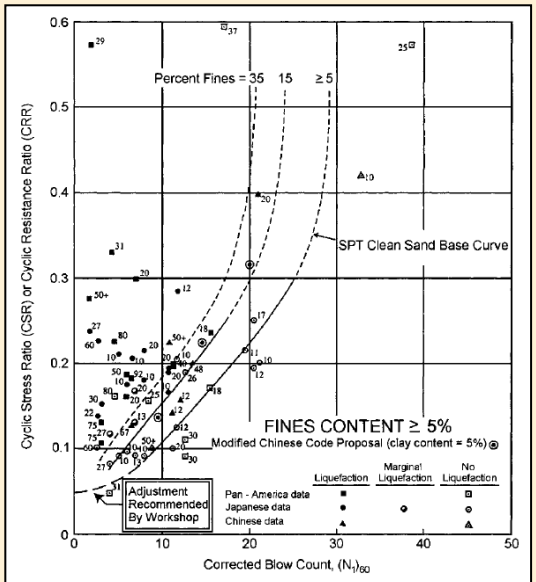


FIG. 2. SPT Clean-Sand Base Curve for Magnitude 7.5 Earthquakes with Data from Liquefaction Case Histories (Modified from Seed et al. 1985)

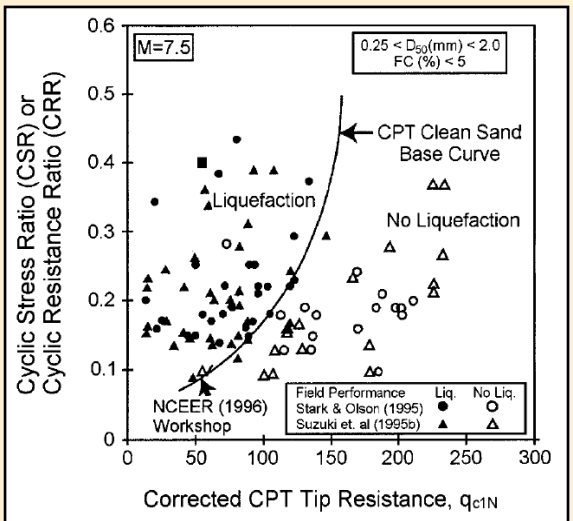


FIG. 4. Curve Recommended for Calculation of CRR from CPT Data along with Empirical Liquefaction Data from Compiled Case Histories (Reproduced from Robertson and Wride 1998)

Courbes liées à l'essai de pénétration standard (SPT

Courbe liée à l'essai de pénétration statique (CPT)

Figure 10 : Courbes recommandées pour le calcul de la résistance à la liquéfaction -Youd et al. (2001) - (d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013).

- La sollicitation sismique (Cyclic Stress Ratio : CSR). Celle-ci est calculée à partir des scenarii sismiques retenus, en particulier avec la magnitude du séisme de référence et l'accélération maximale en surface (PGA) établie lors de l'évaluation des effets de site.

- Le coefficient de sécurité (Factor of Safety : F_S). C'est le rapport entre la résistance du sol et la sollicitation sismique (F_S = CRR/CSR).

b) Une fois calculé le coefficient de sécurité à chaque profondeur, la méthode d'Iwasaki et al. (1983), réalise une intégration de la valeur de FS sur toute la hauteur de la colonne de sol. Ce calcul final fournit l'indice de liquéfaction IL.

$$I_L = \int_0^{20} (10 - 0.5z) F_L \, dz$$

où :

$$F_L = 1 - F_S \; si \; F_S \leq 1$$

$$F_L = 0 \; si \; F_S > 1$$

z : profondeur (en m)

Les valeurs de I_L varient de 0 à 100. Il leur est associé les niveaux de probabilités, d'intensité et d'aléa suivants :

Valeurs de IL	Probabilité	Intensité	Aléa
IL = 0	Pas de liquéfaction	Pas de désordre	Nul
0 < IL ≤ 5	Liquéfaction peu probable	Désordres peu dommageables	Faible
5 < IL ≤ 15	Liquéfaction probable	Désordres dommageables	Moyen
IL > 15	Liquéfaction quasi-certaine	Désordres très dommageables (entrainant la ruine)	Fort

Tableau 2 : Association des valeurs d'indice de liquéfaction aux niveaux de probabilité, d'intensité et d'aléa liquéfaction - AFPS, 1993- (d'après l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013)

V. Evaluation complémentaire de l'intensité

Comme précédemment expliqué, l'aléa auquel aboutit la méthodologie du guide de l'AFPS est en réalité une probabilité. Cette association probabilité → aléa a le mérite de simplifier la méthode, mais si on souhaite être plus précis, il convient d'évaluer l'intensité du phénomène

L'évaluation de l'intensité de la liquéfaction n'est pas évidente au premier abord car il existe différents phénomènes possibles, chacun pouvant atteindre des niveaux d'intensité variable (glissement de terrain, tassements, etc.).

Les réglementations existantes ne donnent aucune indication particulière pour le choix d'une méthode. Plusieurs articles s'y sont toutefois intéressés et on pourra citer, entre autre :

- Evaluation des déformations volumétriques : méthode d'Ishihara et Yoshimine (1992),
- Evaluation des déplacements de sol engendrés par des écoulements latéraux :
  - méthode de Bartlett and Youd (1995)
  - méthode de Youd et al. (2002)
- Evaluation de la poussée induite sur des pieux suite à des écoulements latéraux : travaux de Ishihara (1993).

Nous recommandons dans ce guide, la méthode utilisée dans le cadre de l'Études Microzonage Haïti, BRGM/PNUD 2013. Il s'agit de la méthode d'Ishihara et Yoshimine.

Le principe de cette méthode consiste à utiliser l'abaque suivant :

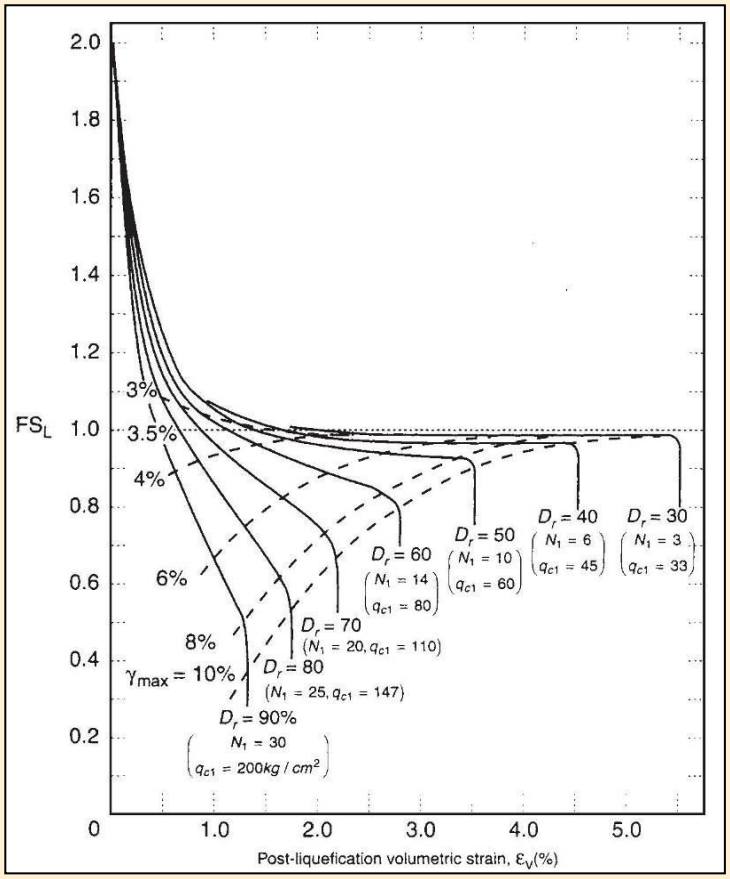


Figure 8 : Abaque de Ishihara et Yoshimine (1992) reliant la déformation volumétrique d'un matériau à son coefficient de sécurité à la liquéfaction (FS_l) et à ses caractéristiques mécaniques.

Cette abaque relie la déformation volumétrique du matériau (ε_V) à son coefficient de sécurité à la liquéfaction (F_{SL}) et à l'une de ses caractéristiques mécaniques : Dr (Densité relative), N_1 (valeur SPT), q_{c1} (résistance de pointe mesurée par le sondage CPT) ou à la déformation induite par le séisme (γ).

Pour cette étude, les tassements sont évalués grâce à cet abaque, en transformant la déformation volumétrique (déformation en trois dimensions) obtenue en une déformation œdométrique (déformation verticale) afin d'aboutir à un tassement.

oOo

OBJECTIF

L'objectif de cette fiche outil est de présenter des exemples de fiches de recommandations établies pour les 4 types de zone (rouge, orange, jaune et verte) dans le cadre du PPRN 16-6 établi pour le PNUD par le groupement IMSRN-SOGREAH en 2012.
Il ne s'agit que d'exemples qui devront être adaptés au contexte spécifique de chaque commune dans le cadre des Plans de Réduction des Risques Naturels (PRRN) qui seront établis.
En revanche, il est fortement recommandé d'établir des fiches qui tiennent sur une page recto-verso : le recto étant réservé aux recommandations à appliquer pour les projets nouveaux, le verso pour les biens et les activités existants.
En fin de la fiche outil, un exemple de règles relatives au ruissellement et applicables sur l'ensemble du territoire est également fourni.

REGLEMENT B1 ZONE ROUGE POUR LES PROJETS NOUVEAUX.

PROJETS NOUVEAUX			
Prescriptions			Glissement de terrain **Contraintes très fortes (G4)** Ruissellement **Contraintes faibles (T1)**
Règles d'urbanisme	Règles de construction	Règles d'utilisation et d'exploitation	
			Occupations et utilisations du sol interdites
X			Toute nouvelle occupation et utilisation du sol, de quelque nature qu'elle soit, y compris les terrassements de tout volume et autres dépôts de matériaux (déchets et notamment les produits dangereux ou flottants) **est interdite**. Les **bâtiments détruits** par un sinistre, dont la **cause des dommages (directes ou indirectes) concerne les phénomènes glissements** de terrain, **ne pourront être reconstruits**.
			Occupations et utilisations du sol qui ne font pas l'objet d'interdiction
X		X X X	Les **utilisations** du sol suivantes sont, par **dérogation**, **tolérées**, **sous réserve** de ne pas pouvoir les implanter dans des zones moins exposées : • Les utilisations agricoles traditionnelles : parcs, clôtures, cultures, • Les travaux et ouvrages nécessaires au fonctionnement des services publics, y compris la pose de lignes et de câbles, • L'aménagement des terrains à vocation sportive ou de loisir, sans hébergement et sans construction dépassant **20 m²** d'emprise au sol, • Tous travaux et aménagements de nature à réduire les risques sauf drainage des zones hydromorphes,
			Réseaux
		X X	• Les réseaux d'assainissement et d'eau pluviale doivent être étanches. En cas de fuite constatée, il y a obligation (à la charge du propriétaire ou du gestionnaire), de faire procéder aux travaux de remise en état nécessaires. • Les réseaux d'adduction d'eau potable doivent être étanches. En cas de fuite constatée, il y a obligation (à la charge du propriétaire ou du gestionnaire), de faire procéder aux travaux de remise en état nécessaires.
			Ruissellement[1]
			Voir règlement Ruissellement chapitre V.3 PROJETS NOUVEAUX

REGLEMENT B1 ZONE ROUGE POUR LES BIENS ET LES ACTIVITES EXISTANTS.

BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS	Glissement de terrain **Contraintes très fortes (G4)** Ruissellement **Contraintes faibles (T1)**

Constructions et occupations du sol

MESURES OBLIGATOIRES

Dans un délai de 5 ans à compter de la date d'approbation du PPR[1], mise en place de dispositifs de collecte des eaux de ruissellement et des eaux usées par un réseau d'assainissement. Les réseaux d'assainissement et d'alimentation en eau potable doivent être étanches et pouvoir résister à des affouillements, des tassements ou des érosions localisées.

RECOMMANDATIONS

Ces zones soumises aux glissements de terrain sont très sensible à l'eau. Les caractéristiques des matériaux superficiels sont relativement médiocres. Il convient donc :

- D'adoucir les talus trop raides et de les végétaliser ;
- De conforter les murs fissurés des biens existants ;
- De conserver les murets en pierres sèches qui permettent de couper la pente des terrains.

Certaines mesures de prévention peuvent également être envisagées dans ces zones. Il s'agit :

- D'éviter tous terrassements entraînant des pentes de talus raides ;
- De maintenir et d'entretenir les sources ;
- De ne pas créer des mares ou des bassins creusés dans les formations superficielles (colluvions, éboulis,...) ;
- D'éviter les arrosages intensifs des formations superficielles (colluvions, éboulis, ...) ;
- De capter les résurgences ou suintements de nappes phréatiques et évacuer les eaux dans des secteurs non sensibles ;
- D'assurer la végétalisation des surfaces dénudées, des talus après terrassement pour limiter l'érosion ;
- De limiter les déboisements dans les zones de mouvements de terrain ;
- De conserver au maximum la végétation qui existe dans les formations superficielles (colluvions, éboulis,...) ;
- De préserver les couloirs naturels des ravins et vallons.

Par ailleurs sont également recommandées toutes les mesures qui vont limiter la sensibilité au risque de rupture en cas de glissement et/ou éviter la pénétration dans les terrains d'eau risquant d'aggraver les déformations.

Il peut s'agir :

- Du choix de matériaux les moins fragiles pour les canalisations (acier, PVC de préférence à la fonte) ;
- D'interdire les raccords rigides ;
- De la pose éventuelle de canalisations d'eau au-dessus de drains ;
- De la surveillance des réseaux.

Etablissement recevant du public

Dans un délai de 2 ans à compter de la date d'approbation du PPR[2] :
Pour les bâtiments, leurs abords et annexes, préexistants et recevant du public :

- Réalisation d'une étude de risque définira les conditions de mise en sécurité des occupants et usagers, et, s'il s'agit d'un service public lié à la sécurité, les modalités pour assurer la continuité de celui-ci.
- Réalisation d'une évaluation de la vulnérabilité face au risque sismique de l'ensemble des bâtiments publics existants sur la zone d'étude et notamment ceux identifiés par les plates formes communautaires et les différentes ONG comme lieu de refuge possible
- Réalisation des protections définies par ces 2 études.
- Application des mesures définies ces 2 études.

Ruissellement

Voir règlement Ruissellement chapitre V.3 BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS

REGLEMENT C1 ZONE ORANGE POUR LES PROJETS NOUVEAUX.

PROJETS NOUVEAUX			
Prescriptions			
Règles d'urbanisme	Règles de construction	Règles d'utilisation et d'exploitation	Glissement de terrain **Contraintes fortes (G3)** Ruissellement **Contraintes faibles (T1)**
			Occupations et utilisations du sol interdites
X			Toute nouvelle occupation et utilisation du sol, de quelque nature qu'elle soit, y compris les terrassements de tout volume et autres dépôts de matériaux (notamment les produits dangereux ou flottants) **est interdite en zones naturelles**. Les bâtiments détruits par un sinistre, dont la cause des dommages (directs ou indirects) concerne les phénomènes glissements de terrain, ne pourront être reconstruits. Aucun remblais ou terrassement ne sera effectué dans la pente sans étude géologique et géotechnique (de type **G0, G2 et G3**)[1] préalable qui en définirait les conséquences amont et aval et qui certifierait que ces travaux ne sont pas de nature à déstabiliser le terrain. **L'étude sera confiée à un bureau d'études spécialisé**. Il s'agit d'une expertise fine, appuyée sur des investigations adaptées : sondages géotechniques judicieusement localisés et répartis **au niveau du versant** dans la (les) parcelle(s) concernée(s) par le projet et en dehors de celle(s)-ci. **3 sondages au minimum** dont **1 au moins** est **carotté**. Ces sondages devront atteindre des profondeurs supérieures à la **profondeur** maximale du plan de glissement le plus profond déduit des observations de surface (**20 à 30 m** au minimum). Pose d'inclinomètres pour quantifier le mouvement, etc. **Le maître d'ouvrage doit s'assurer des conclusions de cette étude**.
			Occupations et utilisations du sol qui ne font pas l'objet d'interdiction
X			Toute nouvelle occupation et utilisation du sol, de quelque nature qu'elle soit est possible dans les secteurs urbanisés si les constructions répondent à une **étude géologique et géotechnique** préalablement réalisée. Cette étude devrait permettre de définir : – Les conséquences amont et aval et déterminer leur impact sur la stabilité du versant ; – Les mesures compensatoires à adopter visant à en annuler les effets et les conditions de leur mise en sécurité : modalités de la construction du bâti (fondations, superstructures, …), les techniques à mettre en œuvre pour la stabilisation des versants localement et à l'échelle du versant (ensemble de la masse en mouvement); adaptation des accès et du drainage des parcelles concernées par le projet, … ; – Elle devra en outre faire apparaître les conséquences d'une réactivation importante du versant ; L'étude doit être confiée à un bureau d'études spécialisé.
		X	Les utilisations du sol suivantes sont, **par dérogation**, tolérées, **sous réserve de ne pas pouvoir les implanter dans des zones moins exposées** : • Les travaux d'entretien et de réparation courants des constructions et des installations implantées antérieurement à l'approbation et la publication du PPR,
X			• Les utilisations agricoles traditionnelles : parcs, clôtures, cultures,
X			• Les travaux et ouvrages nécessaires au fonctionnement des services publics, y compris la pose de lignes et de câbles,
X			• L'aménagement des terrains à vocation sportive ou de loisir, sans hébergement.
		X	• Tous travaux et aménagements de nature à réduire les risques sauf drainage des zones hydromorphes,
		X	• Les abris légers annexes des bâtiments d'habitation ne dépassant pas 10 m² d'emprise au sol et sous réserve qu'ils ne soient pas destinés à l'occupation humaine.
		X	• Les abris légers directement liées à l'exploitation agricole, sans stockage de produits polluants, ni de matériaux susceptibles de créer un sur-aléa, sous réserve qu'ils ne soient pas destinés à l'occupation humaine et qu'ils ne soient pas des ouvrages structurants pour l'exploitation.
			Réseaux
		X	Aucun rejet d'eau ne sera effectué dans la pente : – Les eaux usées seront évacuées dans un réseau d'assainissement collectif ou après traitement, évacuées par canalisation étanche vers un émissaire capable de les recevoir. Cette évacuation ne devra pas induire de contraintes supplémentaires (augmentation de l'érosion dans les exutoires naturels, saturation du réseau, déstabilisation des terrains situés en aval, …). Dans le cas d'impossibilité technique (absence de réseau ou d'émissaire à proximité) ou économique (mesures dépassant 10 % de la valeur du projet)[2], il sera possible d'envisager un traitement des eaux usées de façon autonome après réalisation d'une étude géotechnique statuant sur l'aptitude des sols à absorber les effluents et sur l'absence d'incidence en terme de stabilité pour le projet et son environnement ; – Les eaux pluviales et les eaux collectées par drainage seront évacuées par canalisation étanche vers un réseau collectif ou un émissaire capable de les recevoir. Cette évacuation ne devra pas induire de contraintes supplémentaires (augmentation de l'érosion dans les exutoires naturels, saturation du réseau, déstabilisation des terrains situés en aval, …).
			Ruissellement
			Voir règlement chapitre V.3 PROJETS NOUVEAUX

REGLEMENT C1 ZONE ORANGE POUR LES BIENS ET LES ACTIVITES EXISTANTS.

BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS	Glissement de terrain **Contraintes fortes (G3)** Ruissellement **Contraintes faibles (T1)**

Constructions et occupations du sol

MESURES OBLIGATOIRES

Dans un délai de 5 ans à compter de la date d'approbation du PPR[1], mise en place de dispositifs de collecte des eaux de ruissellement et des eaux usées par un réseau d'assainissement. Les réseaux d'assainissement et d'alimentation en eau potable doivent être étanches et pouvoir résister à des affouillements, des tassements ou des érosions localisées.

RECOMMANDATIONS

Ces zones soumises aux glissements de terrain sont très sensible à l'eau. Les caractéristiques des matériaux superficiels sont relativement médiocres. Il convient donc :

- D'adoucir les talus trop raides et de les végétaliser ;
- De conforter les murs fissurés des biens existants ;
- De conserver les murets en pierres sèches qui permettent de couper la pente des terrains.

Certaines mesures de prévention peuvent également être envisagées dans ces zones. Il s'agit :

- D'éviter tous terrassements entraînant des pentes de talus raides ;
- De maintenir et d'entretenir les sources ;
- De ne pas créer des mares ou des bassins creusés dans les formations superficielles (colluvions, éboulis,...) ;
- D'éviter les arrosages intensifs des formations superficielles (colluvions, éboulis, ...) ;
- De capter les résurgences ou suintements de nappes phréatiques et évacuer les eaux dans des secteurs non sensibles ;
- D'assurer la végétalisation des surfaces dénudées, des talus après terrassement pour limiter l'érosion ;
- De limiter les déboisements dans les zones de mouvements de terrain ;
- De conserver au maximum la végétation qui existe dans les formations superficielles (colluvions, éboulis,...) ;
- De préserver les couloirs naturels des ravins et vallons.

Par ailleurs sont également recommandées toutes les mesures qui vont limiter la sensibilité au risque de rupture en cas de glissement et/ou éviter la pénétration dans les terrains d'eau risquant d'aggraver les déformations.

Il peut s'agir :

- Du choix de matériaux les moins fragiles pour les canalisations (acier, PVC de préférence à la fonte) ;
- D'interdire les raccords rigides ;
- De la pose éventuelle de canalisations d'eau au-dessus de drains ;
- De la surveillance des réseaux.

Etablissement recevant du public

Dans un délai de 2 ans à compter de la date d'approbation du PPR[2] :
Pour les bâtiments, leurs abords et annexes, préexistants et recevant du public :

- Réalisation d'une étude de risque définira les conditions de mise en sécurité des occupants et usagers, et, s'il s'agit d'un service public lié à la sécurité, les modalités pour assurer la continuité de celui-ci.
- Réalisation d'une évaluation de la vulnérabilité face au risque sismique de l'ensemble des bâtiments publics existants sur la zone d'étude et notamment ceux identifiés par les plates formes communautaires et les différentes ONG comme lieu de refuge possible
- Réalisation des protections définies par ces 2 études.
- Application des mesures définies ces 2 études.

Ruissellement

Voir règlement chapitre V.3 BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS

REGLEMENT C2 ZONE JAUNE POUR LES PROJETS NOUVEAUX.

PROJETS NOUVEAUX			
Prescriptions			Glissements de terrain **Contraintes moyennes (G2)** Ruissellement **Contraintes faibles (T1)**
Règles d'urbanisme	Règles de construction	Règles d'utilisation et d'exploitation	
			Tout bâtiment
X			• Adapter la construction à la nature du terrain par une étude géologique et géotechnique de sol (de type **G0 et G2**)[1] **obligatoire.** Cette étude devra spécifier les modalités de terrassement, de soutènement de talus, de construction du bâti (notamment la résistance des façades) et du drainage des parcelles concernées par le projet.
X			• Les eaux usées seront rejetées dans le collecteur d'égout existant ou après traitement dans un exutoire superficiel capable de recevoir un débit supplémentaire. Lorsqu'une étude d'assainissement le prévoit, les rejets pourront être infiltrés dans les conditions prévues. En l'absence d'une telle étude, les infiltrations sont interdites. Il conviendra, en outre, de s'assurer que la filière mise en œuvre n'est pas de nature à aggraver le phénomène d'instabilité de terrain.
X			• Les eaux pluviales et de drainage seront rejetées dans les réseaux pluviaux existants ou dans un exutoire superficiel capable de recevoir un débit supplémentaire. Lorsqu'une étude de gestion des eaux pluviales le prévoit, les rejets pourront être infiltrés dans les conditions prévues. En l'absence d'une telle étude, les infiltrations sont interdites. Il conviendra, en outre, de s'assurer que la filière mise en œuvre n'est pas de nature à aggraver le phénomène d'instabilité de terrain.
	X		• Concevoir ou modifier les réseaux (eau, gaz, câbles) pour réduire leur sensibilité aux mouvements de terrain.
	X		• Sous réserve de respecter les principes de rejets des eaux énoncés ci-dessus, les aires imperméabilisées seront limitées au stationnement et voies d'accès.
X	X		• L'implantation d'équipements sensibles (santé, sécurité, éducation, centre de vacances ou de loisirs) est interdite sur cette zone.
			• Une étude géotechnique sera réalisée avant le démarrage des travaux des piscines de plus de 20 m².
			Occupations et utilisations du sol
		X	• Sont par principe autorisés tous les travaux et aménagements permettant de diminuer la vulnérabilité de l'existant. • Assurer la végétalisation des talus après terrassement. • Tous travaux de terrassement (remblai, déblais) de plus de 2 mètres de hauteur devront faire l'objet d'une étude de stabilité spécifiant les techniques de stabilisation du terrassement et de son environnement à mettre en œuvre. Ils devront également être drainés. Pour des terrassements de moins de deux mètres de hauteur, les pentes des talus devront être appropriées afin de ne pas déstabiliser les terrains. Éventuellement des ouvrages de confortement ou des dispositifs de drainage pourront se révéler nécessaires.
			Ruissellement
			Voir règlement chapitre V.3 PROJETS NOUVEAUX

REGLEMENT C2 ZONE JAUNE POUR LES BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS.

BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS	Glissements de terrain **Contraintes moyennes (G2)** Ruissellement **Contraintes faibles (T1)**

Constructions, occupations et utilisations du sol

MESURES OBLIGATOIRES

- Dans un délai de 5 ans à compter de la date d'approbation du PPR[1], mise en place de dispositifs de collecte des eaux usées et des eaux de ruissellement avec rejet vers un exutoire naturel ou aménagé. Lorsqu'une étude d'assainissement le prévoit, les rejets pourront être infiltrés dans les conditions prévues. En l'absence d'une telle étude, les infiltrations sont interdites. Il conviendra, en outre, de s'assurer que la filière mise en œuvre n'est pas de nature à aggraver le phénomène d'instabilité de terrain. Les réseaux d'assainissement et d'alimentation en eau potable doivent être étanches et pouvoir résister à des affouillements, des tassements ou des érosions localisées.

- Dans un délai de 5 ans à compter de la date d'approbation du PPR[2], compensation des terrassements en déblai et en remblai générateurs d'instabilités de terrain par des ouvrages de soutènement calculés pour reprendre la poussée des terres.

RECOMMANDATIONS

- Il est recommandé d'évacuer les eaux pluviales et les eaux collectées par drainage, par canalisation étanche vers un réseau collectif ou un émissaire capable de les recevoir. Cette évacuation ne devra pas induire de contraintes supplémentaires (augmentation de l'érosion dans les exutoires naturels, saturation du réseau, déstabilisation des terrains situés en aval, ...). L'entretien et la surveillance régulière des ouvrages doivent être assurés par le maître d'ouvrage (particulier, commune, ...).

- Dans le cas de dispositifs d'assainissement autonome existants, il est recommandé d'adapter la filière afin de limiter au maximum les infiltrations dans le sol (création d'un lit filtrant drainé par exemple). Les effluents seront évacués par canalisation étanche vers un émissaire capable de les recevoir.

- Il est recommandé pour les maîtres d'ouvrage (commune, particuliers, etc.) de surveiller régulièrement les réseaux d'eaux existants afin de s'assurer de leur étanchéité.

Etablissement recevant du public

Dans un délai de 2 ans à compter de la date d'approbation du PPR[3] :
Pour les bâtiments, leurs abords et annexes, préexistants et recevant du public :

- Réalisation d'une étude de risque définira les conditions de mise en sécurité des occupants et usagers, et, s'il s'agit d'un service public lié à la sécurité, les modalités pour assurer la continuité de celui-ci.
- Réalisation d'une évaluation de la vulnérabilité face au risque sismique de l'ensemble des bâtiments publics existants sur la zone d'étude et notamment ceux identifiés par les plates formes communautaires et les différentes ONG comme lieu de refuge possible
- Réalisation des protections définies par ces 2 études.
- Application des mesures définies ces 2 études.

Ruissellement

Voir règlement chapitre V.3 BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS

REGLEMENT A1 ZONE VERTE POUR LES PROJETS NOUVEAUX.

PROJETS NOUVEAUX			
Prescriptions			Glissements de terrain **Contraintes faibles (G1)** Ruissellement **Contraintes faibles (T1)**
Règles d'urbanisme	Règles de construction	Règles d'utilisation et d'exploitation	
			Occupations et utilisations du sol
X			• Sont par principe autorisés tous les travaux et aménagements permettant de diminuer la vulnérabilité de l'existant. • Aucun rejet d'eau ne sera effectué dans la pente : – Les eaux usées seront évacuées dans un réseau d'assainissement collectif ou après traitement, évacuées par canalisation étanche vers un émissaire capable de les recevoir. Cette évacuation ne devra pas induire de contraintes supplémentaires (augmentation de l'érosion dans les exutoires naturels, saturation du réseau, déstabilisation des terrains situés en aval, …). Dans le cas d'impossibilité technique (absence de réseau ou d'émissaire à proximité) ou économique (mesures dépassant 10 % de la valeur du projet), il sera possible d'envisager un traitement des eaux usées de façon autonome après réalisation d'une étude géotechnique statuant sur l'aptitude des sols à absorber les effluents et sur l'absence d'incidence en terme de stabilité pour le projet et son environnement ; – Les eaux pluviales et les eaux collectées par drainage seront évacuées par canalisation étanche vers un réseau collectif ou un émissaire capable de les recevoir. Cette évacuation ne devra pas induire de contraintes supplémentaires (augmentation de l'érosion dans les exutoires naturels, saturation du réseau, déstabilisation des terrains situés en aval, …).
			Ruissellement
			Voir règlement chapitre V.3 PROJETS NOUVEAUX

REGLEMENT A1 ZONE VERTE POUR LES BIENS ET ACTVITES EXISTANTS.

BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS	Glissements de terrain **Contraintes faibles (G1)** Ruissellement **Contraintes faibles (T1)**

Constructions, occupations et utilisations du sol

MESURES OBLIGATOIRES

- Dans un délai de 5 ans à compter de la date d'approbation du PPR, mise en place de dispositifs de collecte des eaux usées et des eaux de ruissellement avec rejet vers un exutoire naturel ou aménagé. Lorsqu'une étude d'assainissement le prévoit, les rejets pourront être infiltrés dans les conditions prévues. En l'absence d'une telle étude, les infiltrations sont interdites. Il conviendra, en outre, de s'assurer que la filière mise en œuvre n'est pas de nature à aggraver le phénomène d'instabilité de terrain. Les réseaux d'assainissement et d'alimentation en eau potable doivent être étanches et pouvoir résister à des affouillements, des tassements ou des érosions localisées.

- Dans un délai de 5 ans à compter de la date d'approbation du PPR, compensation des terrassements en déblai et en remblai générateurs d'instabilités de terrain par des ouvrages de soutènement calculés pour reprendre la poussée des terres.

RECOMMANDATIONS

- Il est recommandé d'évacuer les eaux pluviales et les eaux collectées par drainage, par canalisation étanche vers un réseau collectif ou un émissaire capable de les recevoir. Cette évacuation ne devra pas induire de contraintes supplémentaires (augmentation de l'érosion dans les exutoires naturels, saturation du réseau, déstabilisation des terrains situés en aval, …). L'entretien et la surveillance régulière des ouvrages doivent être assurés par le maître d'ouvrage (particulier, commune, …).

- Dans le cas de dispositifs d'assainissement autonome existants, il est recommandé d'adapter la filière afin de limiter au maximum les infiltrations dans le sol (création d'un lit filtrant drainé par exemple). Les effluents seront évacués par canalisation étanche vers un émissaire capable de les recevoir.

- Il est recommandé pour les maîtres d'ouvrage (commune, particuliers, etc.) de surveiller régulièrement les réseaux d'eaux existants afin de s'assurer de leur étanchéité.

Etablissement recevant du public

Dans un délai de 2 ans à compter de la date d'approbation du PPR[1] :
Pour les bâtiments, leurs abords et annexes, préexistants et recevant du public :

- Réalisation d'une étude de risque définira les conditions de mise en sécurité des occupants et usagers, et, s'il s'agit d'un service public lié à la sécurité, les modalités pour assurer la continuité de celui-ci.
- Réalisation d'une évaluation de la vulnérabilité face au risque sismique de l'ensemble des bâtiments publics existants sur la zone d'étude et notamment ceux identifiés par les plates formes communautaires et les différentes ONG comme lieu de refuge possible
- Réalisation des protections définies par ces 2 études.
- Application des mesures définies ces 2 études.

Ruissellement

Voir règlement chapitre V.3 BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS

RECOMMANDATIONS « RUISSELLEMENT » APPLICABLES SUR LA TOTALITE DE LA ZONE POUR LES NOUVEAUX PROJETS

PROJETS NOUVEAUX – Prescriptions			Ruissellement **Contraintes faibles (T1)**
Règles d'urbanisme	Règles de construction	Règles d'utilisation et d'exploitation	
			Occupations et utilisations du sol
X			• Sont par principe autorisés tous les travaux et aménagements permettant de diminuer la vulnérabilité de l'existant.
X		X	• Les terrassements, accès, aménagements, clôtures et parcs ne devront pas perturber l'écoulement des eaux en cas de crues : pas de murs pleins, ni soubassements de clôture.
		X	• Le stockage de produits toxiques ou dangereux ou de flottants n'est autorisé sous la cote TN + 0.5 m qu'à l'abri d'enceintes résistant à des surpressions égales à 1.5 fois la pression hydrostatique (les citernes de toutes natures ou cuves devront être lestées ou fixées, résister à la pression hydrostatique et leurs orifice non étanches et branchements sensibles situés au-dessus de la cote de référence).
			Quelques recommandations : • Maintien d'espaces verts • Utilisation de revêtements poreux (places de parking sur dalles engazonnées, pavés poreux) • Création de réservoirs de stockage (bassins, chaussées-réservoirs en structures alvéolés…) • Puits d'infiltration, lorsque la géologie le permet.
			Tout bâtiment
X			• L'emprise au sol des constructions, remblais ou autres dépôts restera inférieur à 20% de la surface du terrain. Les remblais et constructions existantes seront comptabilisés dans cette limitation.
X			• Les constructions nouvelles devront présenter leur plus petite dimension de façade perpendiculairement à la ligne de plus grande pente.
X			• Les redans ou angles rentrants de façades exposées sont interdits sur toute la hauteur du rez de chaussée.
		X	• Aucune pièce d'habitation ne sera réalisée au-dessous de la cote TN + 0.5 mètre.
X			• Sur les façades exposées, les ouvertures seront situées au-dessus de la cote TN + 0.5 mètre.
	X		• Les réseaux d'assainissement et d'alimentation en eau potable doivent être étanches et pouvoir résister à des affouillements, des tassements ou des érosions localisées.
	X		• Sous la cote TN + 0.5 mètre, le bâtiment sera pourvu d'une technique de mise hors d'eau (exemple : cuvelage). En l'absence de réalisation de cette technique de mise hors d'eau, les équipements (coffret électrique, chaudières, ballon d'eau chaude, installation téléphonique…) et matériaux sensibles seront installés au dessus de la cote de référence ou dans une enceinte étanche, fermée, lestée ou arrimée résistant aux pressions de la crue centennale. Le tableau de distribution électrique doit être conçu de façon à pouvoir couper facilement l'électricité dans tout le niveau inondable, sans couper dans les niveaux supérieurs.
	X		• Toutes les structures ou matériaux putrescibles ou sensibles à la corrosion situés en dessous de la cote de référence doivent être traités avec des produits hydrofuges ou anti-corrosifs et régulièrement entretenus.
X			• L'implantation d'équipements sensibles (santé, sécurité, éducation, centre de vacances ou de loisirs) est autorisée sous réserve de réaliser une étude hydraulique spécifiant les modalités de construction.
			• Toutes nouvelles constructions présentant une surface d'emprise au sol S>400 m², correspondant aux classes supérieures de bâti devront se munir de dispositifs de rétention d'eau pluviale. Le dimensionnement de la rétention devra être effectué pour une pluie trentennale. La lame d'eau à considérer pour le dimensionnement des ouvrages de rétention est de 100mm. Dans l'idéal et en fonction de la place disponible, le volume à stocker est alors de 100L par m2. La valeur exacte du volume à stocker devra être définie plus précisément au cas par cas par les autorités locales.

RECOMMANDATIONS « RUISSELLEMENT » APPLICABLES SUR LA TOTALITE DE LA ZONE POUR LES BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS

BIENS ET ACTIVITES EXISTANTS	Ruissellement **Contraintes faibles (T1)**

Constructions, occupations et utilisations du sol

MESURES OBLIGATOIRES

- Contrôle des objets flottants, dangereux ou polluants : dans un délai de 5 ans à compter de la date d'approbation du PPR[1], les citernes à l'air libre seront amarrées à un massif de béton servant de lest. Les citernes enterrées seront lestées et ancrées. Dans le cas des citernes enterrées, les orifices hors d'eau seront protégés contre tous les chocs ou fortes pressions.
- En cas d'alerte, il est indispensable d'occulter les bouches d'aération et de ventilation, les trappes d'accès au vide sanitaire.
- A l'occasion d'une réfection, emploi de matériaux insensibles à l'eau.

RECOMMANDATIONS

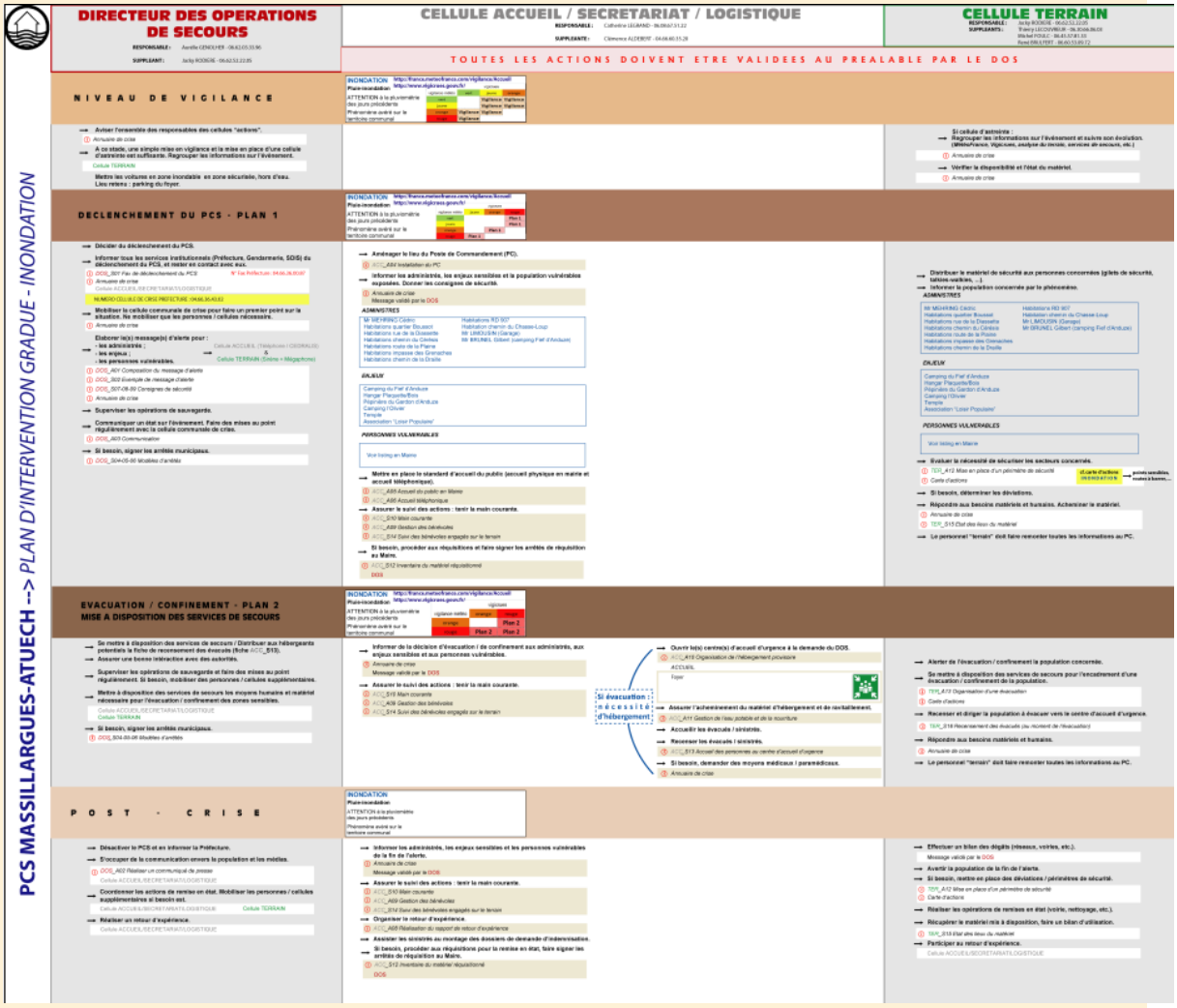
Une réflexion d'ensemble sur l'organisation du bâti est souhaitable. Les bâtiments pourront être disposés de telle sorte qu'ils n'entravent pas les écoulements des eaux (la façade exposée sera la plus étroite), qu'ils n'occasionnent pas une concentration des écoulements (effet de rue qui provoque une augmentation des vitesses d'écoulement) et que la vulnérabilité globale du risque ne soit pas aggravée.

Etablissement recevant du public

Dans un délai de 2 ans à compter de la date d'approbation du PPR[2] :
Pour les bâtiments, leurs abords et annexes, préexistants et recevant du public :

- Réalisation d'une étude de risque définira les conditions de mise en sécurité des occupants et usagers, et, s'il s'agit d'un service public lié à la sécurité, les modalités pour assurer la continuité de celui-ci.
- Réalisation d'une évaluation de la vulnérabilité face au risque sismique de l'ensemble des bâtiments publics existants sur la zone d'étude et notamment ceux identifiés par les plates formes communautaires et les différentes ONG comme lieu de refuge possible
- Réalisation des protections définies par ces 2 études.
- Application des mesures définies ces 2 études.

Les différents seuils de déclenchement du Plan Opérationnel de Contingence Communal (POCC) vont permettre l'élaboration de **plan d'intervention gradué** permettant à chaque membre de la cellule de crise de savoir quelle(s) action(s) entreprendre suivant le niveau de déclenchement du POCC.
Ces plans seront construits sous la forme d'un tableau à double entrée où apparaîtront :
En colonnes : les différentes **cellules communales** créées dans l'organisation communale de crise
En lignes : les différents **niveaux du POCC**, avec pour chaque niveau et chaque phénomène les seuils correspondant



Une cartographie des risques sera établie et les stratégies d'action en seront déduites en cas de réalisation de l'événement.

Pour chaque scénario, une analyse du nombre de personnes concernées, des établissements touchés ainsi que des conséquences secondaires sera établie.

Une fois cette analyse réalisée, les **priorités aux actions de sauvegarde** seront déterminées, sous forme de cartes d'actions :

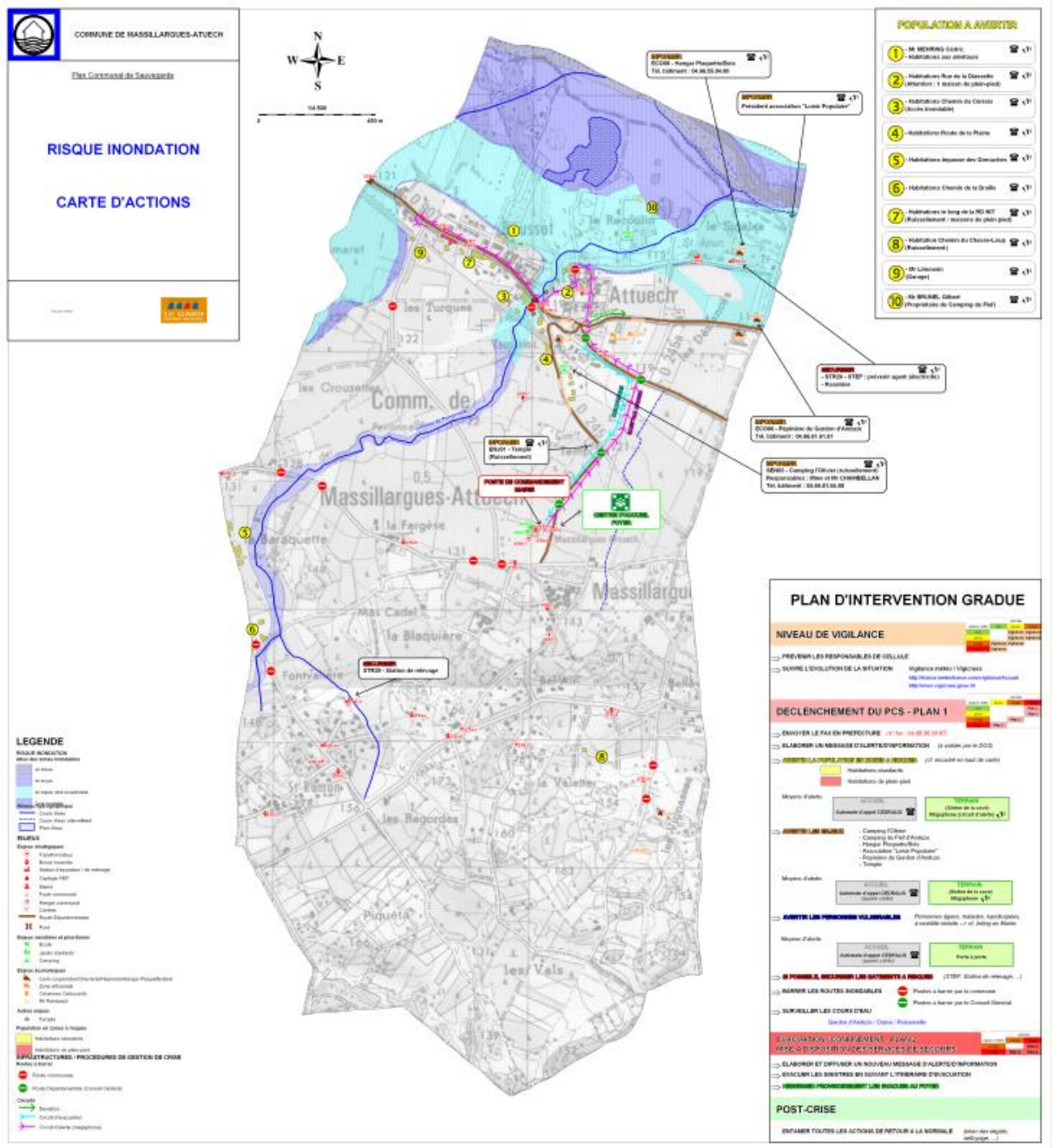
- secteurs à alerter ;
- zones à protéger ou évacuer ;
- itinéraires de déviation à mettre en place, …

Il en résulte une **stratégie d'action** c'est-à-dire que pour un scénario donné, la commune

est désormais capable de savoir :

- ce qui va se passer (même si tout n'est pas prévisible) ;
- quelles vont être les conséquences ;
- quelles actions la commune doit assurer et dans quel ordre.

Apparaitront ainsi sur **les cartes d'actions**: les enjeux à avertir, la position du centre d'accueil d'urgence, les routes inondables, les circuits d'alerte, les circuits d'évacuation, les zones soumises à tel ou tel phénomène, …



Etape 1 : Constituer un groupe de pilotage qui est chargé d'élaborer l'exercice, fixer les limites de l'exercice. Il peut être composé du référent du plan de la commune, de l'élu référent, une personne de la Protection civile, un pompier, un prestataire, les forces de police, les services techniques…

Les objectifs à se fixer :

OBJECTIFS GENERAUX	OBJECTIFS PARTICULIERS
Favoriser l'appropriation de l'organisation et des procédures par les participants. **Entraîner et former.** **Améliorer la réactivité (favoriser l'acquisition des réflexes).** **Familiariser l'usage des outils (document, cartes, moyens de transmission, moyens d'alerte…** **Valider / Corriger des procédures.**	**Tester une action spécifique (mise en place d'un centre d'hébergement, emploi d'un moyen d'alerte…)** **Faire participer les Bénévoles de la Protection Civile.** **Tester la chaîne de commandement (circulation de l'information, liaison COUD/COUC…)** **Tester la réactivité des écoles.** **Tester le traitement de l'alerte reçue en mairie et la procédure d'appels en cascade.** **Vérifier l'annuaire de crise. ….ETC……**

Définir son envergure : Quel type d'exercice, quels joueurs (combien), qui anime, moyens (lieu de l'exercice, ex : salle de réunion…), qui évalue ?

- Les joueurs : Ce sont les personnes (élus, techniciens, partenaires…) qui jouent leur rôle.
- Les animateurs : Ils élaborent la convention d'exercice, la chronologie, et s'occupent de la logistique de l'exercice. Ils contrôlent et orientent le déroulement de l'exercice selon la réaction des joueurs.
- Les observateurs (évaluateurs) : analysent le déroulement, n'interviennent pas dans la simulation, ils doivent être le plus discret. Ils connaissent au préalable l'organisation, les objectifs de l'exercice et disposent d'une fiche d'observation qui servira au débriefing.

Définir le thème : un risque identifié

Fixer les modalités d'implication de la commune : qui informer de l'exercice et sur quoi (date, scénario…).

Etape 2 : Monter un scénario (le plus réaliste) d'animation :

La convention d'exercice fixe les règles et limites de la simulation : durée (temps réel ou pas) en règle générale l'exercice peut durer 2hres, date, l'heure (réelles ou simulées), mobilisation des acteurs (prévenus ou pas, pré positionnements) numéros de téléphone réels ou fictifs, usage des moyens de transmission (prévus ou ceux normalement hors-service ?), déploiement de moyens matériels sur terrain ou pas, actions réellement jouées ou pas, association de la population ou pas, conditions météorologiques simulées ou pas…

Les outils d'animation sont différemment construits selon le type d'exercice. Pour les études de cas, seul un scénario succinct sur le contexte, les autres exercices nécessitent un dossier d'animation comprenant un canevas chronologique des événements, les fiches rôles des animateurs, les consignes que doivent suivre les animateurs (numéros fictifs, limites du jeu (ex : pose de barrière sur voie publique, sans entraver la circulation, appels devant commencer par « ceci est un exercice »), la convention d'exercice, d'autres documents (affiches de l'exercice destinées à la population…).

Heure	*N° action*	*Information donnée*	*Emetteur information théorique*	*Emetteur information animateur*	*Moyens de transmission de l'information*	*Fiche rôle*	*Précisions importantes*	*Réactions attendues*

Exemple de fiche d'animation.

Etape 3 La simulation

Elle doit s'attacher à évaluer quelques phases prioritaires dans la gestion d'un événement :

- Phase de déclenchement de l'exercice, mise en vigilance ou mise en alerte
- Recueil, validation des faits et informations
- La montée en puissance de l'exercice
- La gestion médiatique
- Le passage en post-urgence

Etape 4 Débriefing et retour d'expérience

Le débriefing doit être méthodique et rigoureux pour aboutir à un plan d'action d'amélioration du dispositif.
L'objectif d'un retour d'expérience n'est pas de sanctionner mais bien de faire progresser les participants.
Il doit être conduit par un prestataire ou une personne compétent dans le domaine des risques et des organisations de gestion de crise, extérieur au CCGRD / CLGRD pour des questions d'objectivité.
Le débriefing s'appuie sur tous les documents supports remplis durant l'exercice :

- Dossier d'animation
- Fiches rôles (animation)

- Fiches observateurs
- Fiches évaluations (par les joueurs)
- Fiche de suivi de l'exercice

Le débriefing peut s'appuyer sur la chronologie retracée dans la main courante et faire ressortir les décisions, actions manquées, les conséquences qui en ont découlé. Ce temps d'échange vise aussi à faire s'exprimer les différents partenaires sur leurs difficultés ou leurs points positifs relevés dans l'organisation et permet de faire progresser les acteurs dans leur coordination en temps réel.

Il peut être effectué lors d'entretiens individuels des partenaires impliqués ou lors d'une réunion de synthèse.

FICHE OUTIL
Exemple de consignes pratiques figurant dans un DICRIM

Le DICRIM (document d'information communal sur les risques majeurs) est un **outil d'information communal.**

A ce titre, DICRIM doit contenir à minima :

- Une description des risques et leurs conséquences sur les personnes, les biens et l'environnement.
- Un exposé des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde prévues (au niveau national, départemental et communal) pour limiter leurs conséquences et les consignes de sécurité associées à chaque type de risque (inondations, submersions marines, mouvements de terrain, séismes, vents violents) et à respecter en cas d'événement.

Par exemple, concernant le risque vent violent, le DICRIM doit reprendre les différentes phases d'alerte et les consignes associées.

Les populations seront informées du niveau d'alerte le plus tôt possible et le plus largement possible par les différents canaux médiatiques qui auront également en charge la répétition des consignes de sécurité associées.

Le tableau ci-dessous reprend les consignes qui figurent dans l'annexe 5- a- du SNGRD « CONSIGNES DE SECURITE EN CAS DE CYCLONE ». Afin de toucher le plus large public possible, ces consignes sont traduites en créole.

Niveaux de pré alertes ou d'alertes	Consignes à appliquer par toute la population
Préparation de la saison cyclonique (avant toute alerte)	• Cherchez à savoir si votre maison se trouve dans une zone à risque d'inondation, d'éboulement ou de glissement de terrain… • Cherchez à savoir la liste des refuges prévus dans votre zone et leur localisation exacte. • Vérifiez l'état de votre toiture et de vos portes et fenêtres. Consolidez-les. • Coupez les branches d'arbres suspendues sur votre toit et sur les câbles électriques proches de votre maison, pour éviter les dangers qu'ils peuvent causer en cas d'orage. • Préparez une trousse d'urgence et un jeu d'outillage. • Identifiez un endroit en sécurité pouvant servir au besoin de refuge pour vos animaux. • Ecoutez régulièrement la radio et la télé, suivez les données sur Internet afin d'être bien informé. • Préparez un plan d'urgence familial…

Phase de Pré-alerte 1 (dès que le phénomène risque de concerner Haïti et au moins 72 h avant son passage)	*Cette phase de pré-alerte 1 est une phase de mise en vigilance pour les différents services et organismes de l'état.* *Cette pré-alerte 1 n'est pas diffusée au public car la population n'a pas à prendre de mesures particulières à ce stade.*
Phase de Pré-alerte 2 (36 à 48 heures avant le passage du cyclone)	• Soyez attentifs aux bulletins météorologiques et ignorez les rumeurs. • Regroupez tous vos papiers importants. • Placez vos animaux plus proches de chez vous de manière à ne pas devoir vous éloigner de votre maison au moment où l'interdiction de sortir sera en vigueur. • Sécurisez vos fenêtres pour être mieux protégé. • Assurez-vous qu'une fenêtre ou une porte de votre maison peut s'ouvrir du côté opposé à celui exposé aux vents afin de vous échapper en cas de danger. • Faites le plein d'essence si votre zone est menacée pour pouvoir constituer une réserve de carburant.
Phase d'alerte 1 (15 à 24 heures avant le passage du cyclone)	• Si votre logement est dans une zone à risque ou si vous habitez près d'une ravine, d'un courant d'eau ou d'une plage, prenez les dispositions pour vous rendre aux refuges prévus ou à un logement moins exposé aux inondations. • Placez vos animaux dans les abris préalablement identifiés. • Sécurisez tout ce qui peut être emporté par le vent et qui se trouve à l'extérieur de la maison: poubelle, outillage, affiches, lampes décoratives, ampoules, etc. • Descendez tout objet lourd haut placé : antennes, enseignes..., les noix de coco suspendues sur votre toit, pour éviter qu'ils tombent sur votre maison ou soient emportés par le vent. • Enlevez et emballez tous les objets légers dans la maison: tableaux, encadrements, horloges livres, matériel de bureau, bibelots... suspendus aux murs de

Phase d'alerte 1 (15 à 24 heures avant le passage du cyclone)	votre maison ou sur des étagères pour éviter leur chute. • Placez des bandes adhésives sur les vitres des fenêtres et des portes ou placez les morceaux de tissus du côté intérieur de ces fenêtres et de ces portes pour vous protéger des éventuels bris de verre. • Eviter de vous rendre dans une région très éloignée de chez vous, surtout si vous n'êtes pas certain de revenir dans le délai des 15 à 20 heures. • Evitez de vous rendre en mer. Si vous y êtes déjà, regagnez rapidement la terre ferme. • Remontez les embarcations et amarrez-les bien solidement loin du rivage. • Si une femme dans la famille est sur le point d'accoucher, emmenez-la à l'hôpital le plus proche afin qu'elle puisse trouver les soins au besoin
Phase d'alerte 2 Juste avant le passage (de 5 à 10 heures avant) et pendant le passage du cyclone	• Evitez de sortir de chez vous si votre maison est solide et située hors d'une zone inondable ou à l'abri de raz de marée. Dehors, vous risquez de grands dangers. • Si vous jugez que votre maison est sérieusement menacée, rejoignez rapidement le refuge le plus proche de chez vous. • Restez à l'intérieur d'une maison ou d'un édifice jusqu'à la fin du cyclone. • Si la maison venait à présenter des signes de cassure pendant le passage du cyclone, abritez-vous sous une table ou sous un linteau ou dans tout autre endroit de la maison qui serait plus sûr. • Ne vous placez pas derrière les portes et les fenêtres vitrées. Elles peuvent se briser sous l'effet des vents violents ou frappées par des projectiles. • Evitez de vous placer sur un balcon pour ne pas tomber • Surveillez la chute d'objets, si votre toit est en tuile, pour éviter de vous blesser. • Restez vigilants, calmes et écoutez la radio afin d'être au courant de l'évolution du cyclone. • Débranchez le courant pour diminuer les risques d'incendies. • Evitez d'allumer des flammes nues (allumettes, bougies,

	lampes à kérosène…). Elles peuvent provoquer des incendies. Utilisez un briquet ou une lampe de poche de préférence. • Pendant le passage du cyclone, les vents peuvent s'arrêter brusquement. Ceci signifie que votre zone se trouve à ce moment dans ''l'œil du cyclone''. Cette situation dure très peu de temps. Restez bien à l'abri car les vents reviennent dans la direction opposée.
La phase des secours	• Vérifiez l'état de la maison (si elle ne présente pas de risques) et consolidez-la. • Nettoyez avec de l'eau chlorée et réarrangez votre maison. Jetez les aliments et les médicaments qui ont été en contact avec l'eau. Jetez tous les matériaux contaminés ou irrécupérables. Vous diminuerez ainsi tout risque d'épidémie. • Ne buvez pas de l'eau non traitée. Ne mangez pas de la nourriture avariée. Cela représente un danger pour votre santé. • Ventilez abondamment les pièces afin d'abaisser le taux d'humidité… • Conservez votre matériel de sécurité. Les risques de blessure demeurent encore. • Gardez-vous de toucher aux câbles électriques endommagés. Vous éviterez ainsi une électrocution. • Portez toujours des chaussures quand vous vous déplacez, pour ne pas vous blesser. • Evitez de vous baigner sous la pluie ou dans des piscines afin d'éviter les décharges électriques provenant du tonnerre. • Cherchez des soins médicaux pour les victimes. Vous sauverez des vies. • Rapportez les dommages causés (avec photo, vidéo si possible) aux instances de protection civile. Vous aiderez ainsi les autorités à mieux répondre aux besoins de votre localité. • Continuez à écouter la radio pour vous maintenir informé. • Evitez de gaspiller de l'énergie. • Continuez à économiser de l'eau potable. L'eau peut continuer à manquer. • Vérifiez votre stock de nourriture pour empêcher qu'il

La phase des secours	se gâte. • Evitez d'aller dans les zones sinistrées, sauf si vous êtes qualifiés pour porter secours.

A.F.D	Agence Française de Développement
A.G.E.R.C.A	Alliance pour la Gestion des Risques et la Continuation des Activités
A.H.E.C	Association haïtienne des Entreprises de Construction
B.M	Banque Mondiale
B.M.E	Bureau des Mines et de l'Energie
B.R.G.M	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
C.A.S.E.C	Conseil d'Administration de la Section Communale
C.D.G.R.D	Comité Départemental de Gestion des Risques et des Désastres
C.E.A	Commissariat à l'Energie Atomique (France)
C.I.A.T	Comité Interministériel de l'Aménagement du Territoire
C.O.U.D	Centre d'Opérations d'Urgence Départemental
C.N.I.A.H	Collège National des Ingénieurs et Architectes haïtiens
C.N.I.G.S	Centre National d'Information Géo-spatiale
C.R.H	Croix-Rouge haïtienne
C.S.T-R.S.T	Coordination Scientifique et Technique des Risques Sismiques et Tsunami
C.S.T-R.N.H	Coordination Scientifique et Technique pour les Risques Naturels en Haïti
D.A.T-D.LR	Direction de l'Aménagement du Territoire-Développement Local et Régional (Ministère de la Planification)
D.D.R.M	Dossier Départemental sur les Risques Majeurs
D.F.I.D	Department for International Developpent
D.I.C.R.I.M	Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs
D.O.S	Directeur des Opération de Secours
D.P.C	Direction de la Protection Civile
E.C.H.O	European Commission Humanitarian Office
E.P.P.L.S	Entreprise Publique de Promotion de Logements Sociaux

E.R.P	Etablissement Recevant du Public
F.A.M.V	Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (Université d'Etat d'Haïti)
F.D.S	Faculté Des Sciences (Université d'Etat d'Haïti)
G.I.E.C	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
G.R.D	Gestion des Risques et Désastres
H.A.T	Highest Astromic Tide
I.O.W.A.G.A	Integrated Ocean WAves for Geophysical and other Application
L.N.B.T.P	Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics
O.C.H.A	Office for the Coordination of Humanitarian Affairs
O.N.G	Organisation Non Gouvernementale
O.N.E.V	Observatoire Nationale de l'Environnement et de la Vulnérabilité (Ministère de l'Environnement)
O.R.S.E.C	Organisation de la Réponse de Sécurité Civile (équivalent français des POCD)
P.C.A.E	Plan Communal d'Alerte et d'Evacuation
P.C.S	Plan Communal de Sauvegarde (équivalent français des POCC)
P.O.C.C.	Plan Opérationnel de Contingence Communale
P .O.C.D.	Plan Opérationnel de Contingence Départementale
P.P.R.N	Plan de Prévention des Risques Naturels (équivalent français des PRRN)
P.R.R.N	Plan de Réduction des Risques Naturels
P.N.G.R.D	Plan National de Gestion des Risques et Désastres
P.N.H	Police Nationale Haïtienne
P.N.U.D	Programme des Nations Unies pour le Développement
M.A.N.D.R	Ministère de l'Agriculture et des Ressources Naturelles et du Développement Durable
M.C.I	Ministère du Commerce et de l'Industrie

M.E.D.DE	Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (France)
M.I.C.T	Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Territoriales
M.I.N.U.S.T.A.H	Mission des Nations Unies pour la Stabilisation en Haïti
M.N.T	Modèle Numérique de Terrain
M.P.C.E	Ministère de la Planification et de la Coopération Externe
M.S.P.P	Ministère de la Santé Publique et de la Population
M.T	Ministère du Tourisme
M.T.P.T.C	Ministère des Travaux Publics Transport et Communications
N.A.S.A	National Aeronautics and Space Administration
S.E.M.A.N.A.H	Service Maritime de Navigation d'Haïti
S.H.O.M	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (France)
S.I.G	Système d'Information Géographique
S.N.G.R.D	Système National de Gestion des Risques et Désastres
T.M.P	Tsunami Maximum Probable
U.C.L.B.P	Unité de Construction de Logements et de Bâtiments Publics
U.E	Union Européenne
U.E.H	Université d'Etat d'Haïti
U.N.E.S.C.O	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture
U.N.O.P.S	United Nations Office for Project Services

Bibliographie

Guides méthodologiques

- Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, **Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR), guides, Guide général**, La documentation française, Paris, 1997, 78 p.

- Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, **Plans de Prévention des Risques naturels, Guide de la concertation**, 62 p.

- Préfet de la Région Réunion, DEAL de la Réunion, Service de la Prévention des Risques Naturels et Routiers, **Guide d'élaboration des Plans de prévention des risques naturels,** août 2012, 52 p.

- Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Ministère de l'Equipement, des Transports, du Tourisme et de la Mer, **Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles, Risques sismiques**, guide méthodologique, La Documentation Française, Paris, 2002, 114 p.

- Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, **Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR), risques de mouvements de terrain, guide méthodologique,** La Documentation Française, Paris, 1999, 74 p.

- Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, **Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR), Risques d'inondation, guide méthodologique**, La Documentation Française, Paris, 1999, 126 p.

- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Direction Générale de la Prévention des Risques, **Guide méthodologique, Plan de prévention des risques littoraux,** Mai 2014, 169 p.

- Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, **Plans de prévention des risques naturels prévisibles, cahier de recommandations sur le contenu des PPR, risques naturels majeurs,** janvier 2006, 40 p.

- Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation, Les Guides du CEPRI, **Impulser et conduire une démarche de réduction de la vulnérabilité des activités économiques, Les collectivités territoriales face au risque d'inondation, Guide méthodologique**, mai 2012, 60 p.

- Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de la Réunion **«Guide d'élaboration des Plans de prévention des Risques Naturels à La Réunion »,** août 2012. 52 p

- Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation, Les Guides du CEPRI, **Le bâtiment face à l'inondation, diagnostiquer et réduire sa vulnérabilité, Guide méthodologique,** mars 2010, 56 p.

- Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire, Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles, **Guide ORSEC départemental, Méthode générale,** Tome G.1, Paris, Décembre 2006, 73 p.

- Ministère de l'Intérieur, de l'Outre-Mer et des Collectivités Territoriales, Direction de la Sécurité Civile, **Guide ORSEC départemental, dispositions générales, mode d'action « Soutien des populations », Organisation de la Réponse de Sécurité Civile**, Tome G.2, septembre 2009, 80 p.

- Ministère de l'Intérieur, Direction Générale de la Sécurité et de la Gestion des Crises, **Guide ORSEC, Alerte et information des populations, tome G.4,** Paris, juin 2013, 91 p.

- Ministère de l'Intérieur et de l'Aménagement du Territoire, Direction de la Défense et de la Sécurité Civiles, **Plan Communal de Sauvegarde, guide pratique d'élaboration**, 202 p.

- Ministère de l'Intérieur, de l'Outre-Mer et des Collectivités Territoriales, Direction de la Sécurité Civile, **Plan Communal de Sauvegarde « S'entraîner pour être prêt », Les exercices,** octobre 2008, 89 p.

- Agence de l'Eau Loire Bretagne, Document d'Information Communal sur les risques Majeurs, Guide de rédaction pour une réalisation en régie par une commune, 38 p.

- Guía metodologica para incoporar la gestion del riesgo de desastres en la planificación del desarrollo, 116p.
- Guía técnica para la interpretación y aplicación de análisis de amenazas y riesgo para propósitos de planificación y gestión territorial. Proyecto "Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina PREDECAN" Rubiano Vargas,Diana Marcela y Ramírez Cortés,Fernando Lima,Enero 2009.

- Guía metodológica para el ordenamiento territorial y la gestión de riesgos para municipios y regiones Proyecto PNUD/UN Habitat:"Apoyo a la rehabilitación de viviendas en el marco de un proceso de planificación de los asentamientos humanos y transferencia de capacidades en criterios y técnicas antisísmicas" financiado con fondos del Ministerio Británico para el Desarrollo Internacional, DFID.

(Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Ministerio Británico para el Desarrollo Internacional (DFID),PNUD,UN-Habitat) Equipo Técnico responsable de la elaboración de la Guía:Grupo GEA.

- Marco conceptual de referencia sobre gestión del riesgo en el contexto del desarrollo local y sobre lineamientos generales (metodológicos) sobre la planificación del desarrollo local incorporando la gestión del riesgo (aplicación genérica) Proyecto "Apoyo a la Prevención de Desastres en la Comunidad Andina – PREDECAN" Rubiano Vargas,Diana Marcela y Ramírez Cortés,Fernando Lima,Enero 2009.

- Manual para la elaboración de planes de desarrollo urbano Proyecto:"Fortalecimiento de las Capacidades de los Gobiernos Regionales y Locales para la ejecución de la Política de Vivienda y Urbanismo". Dirección Nacional de Urbanismo del Viceministerio de Vivienda y Urbanismo del Ministerio de Vivienda,Construcción y Saneamiento y la Asociación Promoción y Capacitación para el Desarrollo – PROMCAD,a través de su Instituto de Investigación y Capacitación Municipal – INICAM,Instituto Konrad Adenauer Stiftung Lima,Abril 2009.

- Desastres Naturales de Nicaragua. Guía para conocerlos y prevenirlos. Jaime Wheelock R. et al. Diakonia, IPADE, Managua, Nicaragua 2000.

- Guía Metodológica para la evaluación de los peligros naturales y la gestión de desastres. Documento de curso. COSUDE-Ayuda Humanitaria, Raúl Carreño. Julio 2000 (no editado).

- Zilbert, Linda (2001): Gestión local del riesgo, Material de apoyo para la capacitación; Desarrollando contenidos. Secretaría Ejecutiva del Sistema Nacional para la Prevención, Mitigación y Atención de Desastres – PNUD – COSUDE – Proyecto TGL/INIFOM, Managua.

Dossiers généraux, plaquettes

- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Rapport la démarche française, Prévention des Risques Majeurs, juin 2013, 82 p.

- Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire, Le PPR : un outil pour une stratégie globale de prévention, janvier 2006, 4 p.

- UNDP, République d'Haïti, Fiche de projet, Programme de réduction des risques urbains, 2 p.

- SNGRD annexe 5 A Consignes de sécurité en cas de cyclones

Dossiers du Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports et l'Urbanisme (CERTU)

- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, Direction générale de la Prévention des Risques, Prise en compte des risques naturels, 10 monographies, éditions du CERTU, collection Dossiers, avril 2012, 134 p.

- Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable, et de la Mer, Les Rapports d'études, 30 fiches pour mieux intégrer les risques dans l'aménagement, CERTU, mars 2009, 2010, 112 p.

- CERTU, Gestion des secours et prévention des risques, La mise en relation des acteurs, exemple de Neuville-sur-Saône, séminaire inondation des 22 et 23 janvier 2009, Dossiers CERTU, 2011, 96 p.

Guides techniques

- Flood flows, Fuller W.-E (1914)Trans. A.S.C.E. LXXVII,

- Flood flow characteristics Jarvis C-S. (1926). –. Trans. A.S.C.E, Vol 89,

- Paquet, E., Gailhard, J., and Garçon, R.: Evolution de la méthode du GRADEX: approche par type de temps et modélisation hydrologique, La Houille Blanche., 5, 80–90, 2006

- Garavaglia, F : Méthode SCHADEX de prédétermination des crues extrêmes, Thèse de doctorat de l'université de Grenoble., Février 2011

- Arnaud, P. & Lavabre, J. (2002) Coupled rainfall model and discharge model for flood frequency estimation. Water Resour. Res. 38(6), 1075–1085.

- Rapport Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat GIEC 2013 WG I, « THE PHYSICAL SCIENCE BASIS »

- EUROTOP 2007, Wave Overtopping on Sea Defences and related Structures : Assessment Manual

- Technical Report Wave Run-up and Wave Overtopping at Dikes (Technical Advisory Committee on Flood Defence Delft, May 2002)

- Guide de renforcement parasismique et paracyclonique des bâtiments (MTPTC 2012)
- Conception paracyclonique à l'usage des architectes et ingénieurs (Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie et de la Mer) 2011
- Code National du Bâtiment d'Haïti (MTPTC janvier 2013)

Etudes en Haïti

- UNPD, ARTELIA, Analyse des mécanismes et des acteurs existants en matière de gestion des risques naturels en milieu urbain-Haïti, rapport, juin 2014, 40 p.
- CIAT, BRGM, Analyse du contenu des différentes études de prévention des risques naturels et réduction de la vulnérabilité en Haïti, Rapport final, Avril 2015, 129 p.
- IMS-RN ARTELIA, PPRN Port-au-Prince, Développement des Plans des Risques 16/6 – volet inondation, Rapport R1-Note de présentation du volet Inondation du PPRN, juin 2012, 24 p.
- IMS-RN ARTELIA, PPRN Port-au-Prince, Développement des Plans des Risques 16/6 – volet inondation, Rapport R2-études techniques, juillet 2012, 91 p.
- République d'Haïti, UNDP, UCLBP, IMS-RN, SOGREAH, Développement des plans des risques 16/6 (REF/UNDP/HAI/165), règlement Quartiers de Morne Hercule, Morne Lazard et Nerette, et Bas Canape Vert, Bois Patate, Jean Baptiste, Morne Ebo et Morne Villa/Rosa, septembre 2012, 101 p.
- OXFAM, 2003. Cartes et étude de risques, de la vulnérabilité et des capacités de réponse en Haïti-Rapport d'étude
- 2008. Etude rapide de la vulnérabilité des zones desservies par le FAES et touchées par les cyclones Fay, Gustav, Hanna et Ike-Etat de la situation, Analyse et Propositions d'action-Draft du Guide méthodologique, instruments de collecte d'information et canevas de rapport
- CNSA/ FEWSNET, 2009. Haiti : Cartographie de vulnérabilité multirisque-Rapport d'étude
- 2010. Analysis of Multiple Natural Hazards in Haiti (MULTI-MENACES-HA)
- 2011. Analyse des menaces naturelles multiples (MULTIMENHAS-2)– Etape 2:Reconstruction des quartiers – Volume 1 : Etude régionale sur les menaces naturelles en Haïti (Version préliminaire)
- 2011. Analyse des menaces naturelles multiples (MULTIMENHAS-2)–Etape 2 :Reconstruction des quartiers – Volume 2 : Etude sur les menaces naturelles dans les quartiers prioritaires de Port-au-Prince (Version préliminaire)
- 2011. Analyse des menaces naturelles multiples (MULTIMENHAS-2) – Etape 2 :Reconstruction des quartiers – Volume 3 : Guides opératives pour la construction des scenarios des menaces naturelles en Haïti – Contribution à un schéma directeur pour la connaissance des menaces naturelles et pour la gestion du risque (Version préliminaire)
- 2012. Analyse des menaces naturelles multiples (NATHAT 3 – MULTIMENHAS-3) – Etape 3 :Reconstruction des quartiers – Rapport technique : Analyse géotechnique, hydrologique et hydraulique des menaces naturelles à Delmas 32, Port-au-Prince
- IMRSN / SOGREAH, 2012 – Développement des plans des risques 16/6 – Note de présentation des quartiers de Morne Hercule, Morne Lazard et Nérette & Bas Canapé Vert, Bois Patate, Jean Baptiste, Morne Ebo et Morne / Villa Rosa – Projet UNDP/HAI/165
- IMRSN / SOGREAH, 2012 – Développement des plans des risques 16/6 – *Règlement des quartiers de Morne Hercule, Morne Lazard et Nérette & Bas Canapé Vert, Bois Patate, Jean Baptiste, Morne Ebo et Morne / Villa Rosa* – Projet UNDP/HAI/165
- IMRSN / SOGREAH, 2012 – Développement des plans des risques 16/6 – *Quartiers de Morne Hercule, Morne Lazard et Nérette & Bas Canapé Vert, Bois Patate, Jean Baptiste, Morne Ebo et Morne / Villa Rosa - Annexes de la note de présentation* – Projet UNDP/HAI/165
- IMRSN / SOGREAH, 2012 – Développement des plans des risques 16/6 – *Documents cartographiques des quartiers de Morne Hercule, Morne Lazard et Nérette & Bas Canapé Vert, Bois Patate, Jean Baptiste, Morne Ebo et Morne / Villa Rosa* – Projet UNDP/HAI/165
- ONU Habitat / Architectes de l'Urgence, 2012. Planification communautaire – *Diagnostic thématique intermédiaire aléas naturels, voirie / déplacements, eau / assainissement / déchets – Pétion-Ville : quartiers de Morne Lazarre, Nérette, Morne Hercule* – Rapport – Projets Débris 2 et PPR 16/6.
- COOPI / IRD, 2013. Projet SIRV-TAB « Création d'un Système d'Information sur les ressources et les vulnérabilités pour la préparation aux catastrophes, la gestion des crises et la gestion préventive du territoire de Port-au-Prince, Haïti – Volume 1 : Rapport d'activités et bases méthodologiques - Projet ECHO/HTI/BUD/2012/91016

- COOPI / IRD, 2013. *Projet SIRV-TAB « Création d'un Système d'Information sur les ressources et les vulnérabilités pour la préparation aux catastrophes, la gestion des crises et la gestion préventive du territoire de Port-au-Prince, Haïti – Volume 2 : Utilisation des ressources de gestion de crise et problèmes – La population de Tabarre et ses vulnérabilités* – Projet ECHO/HTI/BUD/2012/91016

- BRGM/LNBTP/BME, 2013. Microzonage sismique de Port-au-Prince (Haïti): Etude géologique, carte de l'aléa mouvements de terrain, effets de site et liquéfaction et rapports géotechniques

- BRGM/LNBTP/BME, 2014. *Microzonage sismique de Cap-Haïtien (Haïti): Etude géologique, carte de l'aléa mouvements de terrain, effets de site et liquefaction*

- BRGM/LNBTP/BME, 2015. *Microzonage sismique de Fort-Liiberté et Ouanaminthe (Haïti): Etude géologique, effets de site et liquefaction*

- Caribbean disaster mitigation project: CDMP, 2000. Atlas of probable storm effects in the Caribbean Sea

Dossiers relatifs à la gestion des risques et désastres en Haïti

- République d'Haïti, Système National de Gestion des Risques et des Désastres, Plan National d'Intervention, Document de travail, décembre 2001, 50 p.

- République d'Haïti, Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Territoriales, Direction de la Protection Civile, et PNUD, Plan National de Gestion des Risques et des Désastres, Février 2001, 32 p.

- MICT, 2009. *Guide de procédures et de formulaires relatifs au permis de construire*

- République d'Haïti, Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Territoriales, Direction de la Protection Civile, Système National de Gestion des Risques et des Désastres, saison cyclonique 2013, Plan de Contingence National, période couverte juin-novembre 2013, juin 2013, 69 p.

- République d'Haïti, Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Territoriales, Direction de la Protection Civile, Système National de Gestion des Risques et des Désastres, Plan de contingence 2014 Département du Sud-Haïti, 21 p.

- République d'Haïti, Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Territoriales, Direction de la Protection Civile, CCPC-ENNRY/avec appui du MARNDR/FAO 2013, Système National de Gestion des Risques et des Désastres, Comité Communal de Gestion des Risques et des Désastres d'Ennery, Plan de contingence communal en cas de : cyclones et tempêtes tropicales, fortes pluies et inondations, éboulements ou glissements de terrain, incendie, tremblement de terre, choléra, réalisé par le projet PUGRD II avec l'appui de la PADF, mis à jour août 2013, 53 p.

- MTPTC/MICT, 2010. *Guide de bonnes pratiques pour la construction de petits bâtiments en maçonnerie chaînée en Haïti*

- MTPTC, 2010. *Guide pratique de réparation de petits bâtiments en Haïti*

- MTPTC, 2011. *Règles de calcul intérimaires pour les bâtiments en Haïti – Surcharges dues à l'usage, au vent et considérations parasismiques*

- Plan stratégique de développement d'Haïti. MPCE, 2012. *Tome I : Les grands chantiers pour le relèvement et le développement d'Haïti – Document de consultation publique*

- Plan stratégique de développement d'Haïti. MPCE, 2012. *Tome II : Le programme triennal d'investissement 2012-2015 – Document de consultation publique*

- UCLBP, 2012. *Cité administrative de Port-au-Prince – Lignes directrices d'aménagement*

- UCLBP, 2013. *Politique Nationale du Logement et de l'Habitat* – Document cadre

- MTPTC, 2013 – *Code National du Bâtiment d'Haïti*

- SNGRD/PNUD, 2013 – *La réduction du risque sismique* – Feuille de route sismique

- CIAT/MTPTC, 2013 – *Lois et règlements d'urbanisme – Guide du professionnel*

- ARTELIA, 2014. *Analyse des mécanismes et des acteurs existants en matière de gestion des risques naturels en milieu urbain – Haïti* – Rapport d'étude

- Système National de Gestion des Risques et des Désastres. MICT, 2014. *Saison cyclonique 2014 – Plan de contingence national*

- Projet Plan Prévention Séisme dans le Grand Nord d'Haïti – Réalisation de trois plans de contingence sismique pour les trois départements du Nord, Nord-Est et Nord-Ouest. PB Consult EURL / 2GR Conseil, 2014. *Plans départementaux de contingence sismique – Guide de lecture et d'utilisation des documents*

Bibliographie spécifique au séisme

AFPS (1993) - Guide méthodologique pour la réalisation d'études de microzonage sismique.

ASCE 7-05 – Minimum design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 2005.

Assimaki D. and S. Jeong (2013) - Ground-Motion Observations at Hotel Montana during the M 7.0 2010 Haiti Earthquake: Topography or Soil Amplification? Bulletin of the Seismological Society of America, 103, pp. 2577–2590, doi: 10.1785/0120120242.

Bachhuber J. L., Rathje E. M., Cox B. R., Dulberg R. A., Kottke A., GEER Team, 2010, Carte géologique de Port-au-Prince.

Bakun W., Flores C., ten Brink U., 2012, Significant earthquakes on the Enriquillo fault system, Hispaniola, 1500-2010: Implications for seismic hazard, Bulletin of the Seismological Society of America, 102: 18 – 30

Bakun W.H., C. H. Flores, Brink U.S.T. - (2012) Significant Earthquakes on the Enriquillo Fault System, Hispaniola, 1500-2010: Implications for Seismic Hazard. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 102, No. 1, pp. 18–30, February 2012, doi: 10.1785/0120110077

Bard P.-Y. (1999) - Local effects on strong ground motion: physical basis and estimation methods in view of microzoning studies. Proc. of Advanced Study Course in Seismotectonic and Microzonation techniques in Earthquake Engineering, Kefalonia, Greece.

Berthier F., Janjou D., 1984, Evaluation des ressources géothermiques basse énergie en république d'Haïti. Recherche d'un projet type – rapport géologique. Rapport BRGM 84SGN206GTH

Boisson D., Guerrier K., Jean B., Thimus J.F. (2011). Préfaisabilité géotechnique et sismique sur le site du nouveau campus de l'UEH. Projet Intérêts Créditeurs 2011. Rapport. 157p.

Bourgeuil et al., 1988, Synthèse géologique de la République d'Haïti, volume 1 Géologie, BRGM-Beicip.

Butterlin J., 1960, Géologie générale et régionale de la République d'Haïti – Travaux et Mémoire de l'Institut des Hautes Etudes de l'Amérique Latine, Paris, 1960, une carte géologique hors texte à 1 :250000, en couleurs, 1958, 194 p.

Butterlin, 1954, La géologie de la République d'Haïti et ses rapports avec celle des régions voisines, *Publ. Comité 150e anniv. Indépend.*, Port-au-Prince, 446 p., 20 fig., XXVI pl. carte géol.

Calais E. 2012, Failles et aléa sismique en Haïti, Bulletin spécial no 01 de l'Unité Technique de Sismologie (UTS) du Bureau des Mines et de l'Energie (BME) 12 janvier 2010 - 12 janvier 2012

Calais E., Freed A. Mattioli G., Amelung F., Jónsson S., Jansma P., Hong S.H., Dixon T., Prépetit C., Momplaisir R., 2010, rupture d'une faille jusqu'ici inconnue pendant le séisme de 2010 à Haïti, nature geoscience | VOL 3 | NOVEMBER 2010 | www.nature.com/naturegeoscience

Calais E., Mazabraud Y., Mercier de Lépinay B., Mann P., Mattioli G.S., Jansma P.E., 2002. *Strain partitioning and fault slip rates in the northeastern Caribbean from GPS measurements.* Geophys. Res. Letters, 29(18), 1856, DOI: 10.1029/2002GL015397

Carte d'Aptitude à l'Urbanisation de la Province d'Al Hoceima-Rif-Maroc (2011) IMSRN- Agence Urbaine d'Al Hoceima (Maroc)

Choi, Y. S., Haase, J. S., Nowack, R. L., & Haase, J. (2008). Liquefaction susceptibility for the region of Evansville, IN USGS Final Technical Report# 07HQGR0058.

Code National du Bâtiment d'Haïti CNBH (2012). Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC). République d'Haïti.

Cox B.R., Bachhuber J., Rathje E., Wood C.M., Dulberg R., Kottke A., Green R.A., Olson S.M., 2011, Shear Wave Velocity- and Geology-Based Seismic Microzonation of Port-au-Prince, Haiti, Earthquake Spectra, Volume 27, No. S1, pages S67–S92, October 2011; VC 2011, Earthquake Engineering Research Institute

Cox, B.R., Bachhuber J., Rathje E., Wood C.M., Dulberg R., Kottke A., Green R.A., Olson S.M. (2011). Shear-wave-velocity and geology-based seismic microzonation of Port-au-Prince, Haiti. Earthquake Spectra 27, pp. S67-S92.
De Martin F. et H. Kobayashi (2010). Etude des effets d'une topographie sur le mouvement sismique. Rapport RP-59103-FR.

Desmeuraux C., 1987, Contribution à l'étude de l'Histoire géologique des régions centrale et méridionale d'Haïti (Grandes Antilles) du Crétacé à l'Actuel – Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Bordeaux I, n° 904, 507 p.

Douilly R, J.S. Haase, W.L. Ellsworth, M-P. Bouin, E. Calais, S.J. Symithe, J.G. Armbruster, B. Mercier de Lépinay, A. Deschamps, S-L. Mildor, M. E. Meremonte, and S.E. Hough (2013) Crustal Structure and Fault Geometry of the 2010 Haiti Earthquake from Temporary Seismometer Deployments. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 103, No. 4, pp. 2305–2325, August 2013, doi: 10.1785/0120120303

Douilly R., Symithe S., Haase J. et Calais E., 2012, Les répliques du séisme du 12 janvier 2010, Bulletin spécial no 01 de l'Unité Technique de Sismologie (UTS) du Bureau des Mines et de l'Energie (BME), période du 12 janvier 2010 - 12 janvier 2012

Eurocode 8 (2003). Design provisions for earthquake resistance of structures — Part 5: foundations, retaining structures and geotechnical aspects. ENV 1998–5, CEN European Committee for Standardisation, Brussels.

Fabriol H., Garry G. (2002) - Plan de prévention des risques naturels (PPR) : Risques sismiques - Guide méthodologique, La Documentation Française, 112 p., ISBN 2-11-005156-6.

Fierro E nd C. Perry (2010) Preliminary Reconnaissance Report – 12 January 2010 Haiti Earthquake. PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) report

Flores C.H., ten Brink U.S., and Bakun W.H. (2011) Accounts of Damage from Historical Earthquakes in the Northeastern Caribbean, to Aid in the Determination of their Location and Intensity Magnitudes. Open-File Report 2011–1133. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey

Frankel, A., Harmsen, S., Mueller, C., Calais, E. and Haase, J., 2010. Documentation for Initial Seismic Hazard Maps for Haiti. United States Geological Survey Open-File Report 2010-1067
.
Gaffet, S., Cultrera, G., Dietrich, M., Courboulex, F., Marra, F., Bouchon, M., Caserta, A., Cornou, C., Deschamps, A., Glot, J.-P., Guiguet, R. (2000). A site effect study in the Verchiano Valley during the 1997 Umbria-Marche (central Italy) earthquakes. Journal of Seismology, vol.4, no.4, pp.525-541.

Geli, L., Bard, P.Y., and Jullien, B. (1988). Effect of topography on earthquake ground motion: a review and new results. Bulletin of the Seismological Society of America, 78, 42-63.

Goodno, B.J., N.C. Gould, P. Caldwell and P.L. Gould (2011) Effects of the January 2010 Haitian earthquake on slected electrical equipment. Earthquake Spectra, 27, S251-S276.

Grases José (1990) Terremotos destructores del Caribe: 1502 – 1990. Una contribución al Decenio Internacional para la Redución de los Desastres Naturales, Caracas, Agosto de 1990. UNESCO – RELACIS

Green, R. A., Olson, S. M., Cox, B. R., Rix, G. J., Rathje, E., Bachhuber, J. & Martin, N. (2011). Geotechnical aspects of failures at Port-au-Prince Seaport during the 12 January 2010 Haiti earthquake. *Earthquake Spectra*, *27*(S1), S43-S65.

Haghshenas, E., Bard, P.Y., Theodulidis, N., and SESAME WP04 Team (2008). Empirical evaluation of microtremor H/V spectral ratio. *Bulletin of Earthquake Engineering* 6, 75-108.

Hancock J., Watson-Lamprey J., Abrahamson N.A., Bommer J.J., Markatis A., McCoy E., Rishmila M. (2006) – An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets. Journal of Earthquake Engineering, 10, Special Issue 1, pp. 67-89.

Hauss C., Bertil, D., Courtray, V., Dunand, F., Guilleminot, Y., Loustallot, G., Mompelat, J.M. (2010) Le séisme d'Haïti du 12 Janvier 2010. Rapport de la mission AFPS. AFPS/MEEDDM. 170p.

Hayes, G. P., Briggs R.W., Sladen A., Fielding E.J., Prentice C., Hudnut K., Mann P., Taylor F.W., Crone A.J.,Gold R., Ito T., Simons M. (2010), Complex rupture during the 12 January 2010 Haiti earthquake, Nat. Geosci., 3, 800–805, doi:10.1038/ngeo977.

Hough S.E., Altidor J.R., Anglade D., Given D., Janvier M.G., Maharrey J.Z., Zeremonte M., Mildor B.S.-L., Prepetit C. et A. Yong (2010). Localized damage associated with topographic amplification during the 12 January 2010 M7.0 Haiti earthquake. Nature Geoscience 3, 778-782.

Hough S.E., T. Taniguchi, J.R. Altidor (2012) Estimation of Peak Ground Acceleration from Horizontal Rigid Body Displacement: A case Study in Port-au-Prince, Haiti. Bulletin of the Seismological Society of America, 102, n°6, 2704-2713.

Hough S.E., Taniguchi T., Altidor J.R., Anglade D., Given D., Mildor B.S.-L. (2011). Strong ground motion in Port-au-Prince, Haïti, during the M7.0 12 January 2010 Haïti earthquake. Rapport USGS.

Hough, S.E., J. R. Altidor, D. Anglade, D. Given, M. G. Janvier, J. Z. Maharrey, M. Meremonte, S.-L. Mildor, C. Prepetit, and A. Yong (2011). Site response and site characterization in Port-au-Prince, Haiti, Earthquake Spectra 27, S137–S155.

IBC (2009). International Building Code. International Code Council, ICC, 4051 West Flossmoor Road, Country Club Hills, Il. 60478, USA, 1ST printing, 650p.

IMSRN (2012). Qualification et cartographie préliminaire des aléas mouvements de terrain et inondation sur les huit premiers quartiers prioritaires. Plan de prévention des risques Inondations – Mouvements de terrain – Sismique. Commune de Port-au-Prince. Haïti. Rapport d'étape 1. Pour le PNUD.

International Code Council, IBC - International Building Code (2009), ICC, 4051 West Flossmoor Road, Country Club Hills, Il. 60478, USA, 2nd printing, May 2009, 650p.

Ishihara, K. (1993) - Liquefaction and flow failure during earthquakes. Geotechnique, 43(3), 351-451.Bartlett, S. F., & Youd, T. L. (1995). Empirical prediction of liquefaction-induced lateral spread. Journal of Geotechnical Engineering, 121(4), 316-329.

Ishihara, K., and M. Yoshimine (1992) - Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes, Soils and Foundations 32(1), 173–188.

Iwasaki, T., Arakawa, T., Tokida, K. I., & Kimata, T. (1983). Estimation procedures of liquefaction potential and its application to earthquake resistant design. In Wind and seismic effects: proceedings of the 14th joint panel conference of the US-Japan cooperative program in natural resources (Vol. 651, p. 172). US Dept. of Commerce, National Bureau of Standards.

Lilhanand K. and W.S. Tseng (1988) - Development and application of realistic earthquake time histories compatible with multiple damping response spectra, Ninth World Conf. Earth. Engin., Tokyo, Japan, Vol II, pp. 819-824.

Manaker, D. M., Calais E., Freed A.M., Ali S. T., Przybylski P., Mattioli G., Jansma P., Prépetit C. and J. B. de Chabalier J. B., 2008, Interseismic plate coupling and strain partitioning in the northeastern Caribbean. *Geophys. J. Int.* 174, 889–903

Mann P., Calais E., Ruegg J.C., DeMets C., Jansma P.E., Mattioli G.S., 2002, Oblique collision in the northeastern Caribbean from GPS measurements and geological observations, TECTONICS, VOL. 21, NO. 6, 1057, doi:10.1029/2001TC001304, 2002

Mann, P., Burke, K. and Matumoto, T., 1984a. Neotectonics of Hispaniola: Plate motion, sedimentation, and seismicity at a restraining bend. Earth Planet. Sci. Lett., 70: 311-324
.
Mann, P., Taylor, F, Edwards, R. & Ku, T. 1995 - Actively evolving microplate formation by oblique collision and sideways motion along strike-slip faults: An example from the northeastern Caribbean plate margin. Tectonophysics 246, 1–69.

Mercier de Lépinay B., Deschamps A., Klingelhoefer F., Mazabraud Y., Delouis B., Clouard V., Hello Y., Crozon J., Marcaillou B., Graindorge D., Vallée M., Perrot J., Bouin M.P., Saurel J.M., Charvis P., St-Louis M., 2011, The 2010 Haiti earthquake: A complex fault pattern constrained by seismologic and tectonic observations, GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 38, L22305, doi:10.1029/2011GL049799, 2011

Miyamoto, H. K., A. S. J. Gilani, and K. Wong (2011). Massive damage assessment program and repair and reconstruction strategy in the aftermath of the 2010 Haiti earthquake, Earthquake Spectra 27, S219–S237, doi: 10.1193/1.3631293.

Modaressi H., Foerster E., Mellal A. (1997) - Computer aided seismic analysis of soils. *Proc. Of the 6th Int Symp. on Numerical Models in Geomechanics*, NUMOG VI, Montréal, Québec, Canada July 2-4.

Momplaisir B.M., Boisson D., 1987 : feuille Sud-Est (feuille Port-au-Prince) – Carte géologique à 1/250000 de la République d'Haïti (en 4 feuille), B.M.E. (1982-1988).

Moreau de St.-Méry, L.-É., (1798), Description topographique, physique, civile, politique et historique de la Partie Française de l'isle Saint-Domingue: Philadelphia, Moreau de St.-Méry, L.-É., 2 volumes, 788 and 856 p

NEHRP (2009), Recommended Seismic Previsions for New Buildings and Other Structures, FEMA P-750/2009 Edition.

Olson, S. M., Green, R. A., Lasley, S., Martin, N., Cox, B. R., Rathje, E. & French, J. (2011) - Documenting liquefaction and lateral spreading triggered by the 12 January 2010 Haiti earthquake. *Earthquake Spectra*, *27*(S1), S93-S116

Pagliaroli A., Lanzo G. et D'Elia B. (2011). Numerical Evaluation of Topographic Effects at the Nicastro Ridge in Southern Italy, Journal of Earthquake Engineering, 15:3, 404-432

Paolucci, R. (2002). Amplification of earthquake ground motion by steep topographic irregularities. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 31:1831 – 1853

Paolucci, R., Faccioli, E., and Maggio, F. (1999). 3D response analysis of an instrumented hill at Matsuzaki, Japan, by a spectral method. Journal of Seismology, vol. 3, no. 2, pp. 191-209

Pearce, J. T., & Baldwin, J. N. (2005). Liquefaction susceptibility mapping, St. Louis, Missouri and Illinois. William Lettis & Associates.

Philip H, J.C. Bousquet, F. Masson (2007): Sismotectonique et Risque Sismique- Edition Nathan.

Pitilakis K. et Papadimitriou A. (2006). Topography effects. Proc. of the ETC-12 Workshop on "Geotechnical evaluation and application of the seismic Eurocode EC8 2003–2006", General Report, Athens, Greece.

Poey, A., 1857, Catalogue chronologique des tremblements de terre ressentis dans les Indes-Occidentales, de 1530 à 1857: Annuaire de la Société Météorologique de France, v. 5, p. 75–127,

Pubellier M., Boisson D., Vila J-M, 1986, déformations successives en bordure de la plaine du Cul-de-Sac, Haïti. In : 11ème Réun. Sci. Terre (Clermont-Ferrand), Spec. Publ. Geol. Soc. Fr., p152

Pubellier M., Mauffret A., Leroy S., Vila J.M., Amilcar H., 2000, Plate boundary readjustment in oblique convergence : example of the Neogene of Hispaniola, Greater Antilles, Tectonics, vol.19, n°4, p630-648

Rathje, E., Bachhuber, J., Cox, B., French, J., Green, R., Olson, S. & Koehler, R. (2010) - Geotechnical engineering reconnaissance of the 2010 Haiti earthquake. *GEER report*.

Robson, G.R. (1964) - An earthquake catalogue for the eastern Caribbean, 1530–1960: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 54, no. 2, p. 785–832

Roullé A., Barras A-V., Vanoudheusden E., Negulescu C., Monfort-Climent D. (2010). Microzonage sismique de la commune de Trinité (Martinique). Rapport BRGM/RP-57664-FR, 154 p., 67 fig., 29 tab.

Scherer, J. (1913) Catalogue chronologique des tremblements de terre ressentis dans l'île d'Haïti de 1551 à 1900., Bulletin Semestriel de L'Observatoire Météorologique du Séminaire-Collège St-Martial, Port-au-Prince Haiti, Janvier-Juin, 1913: Port-au-Prince, Haiti, Imprimerie Nationale. P 146-151.

Seed H.B., Wong R.T., Idriss I.M. & Tokimatsu K. (1986). Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 112 (11), pp. 1016-1032.

St Fleur S., Courboulex F., Bertrand E., Deschamps A., Mercier de Lépinay B., Prépetit C., Hough S. (2013). A combined source and site-effect study of ground motions generated by an earthquake in Port-au-Prince (Haiti). Proc. of the EGU General Assembly, Vol. 15, EGU2013-9616, Vienna, Austria, 7-12 April 2013.

St Fleur S., Courboulex F., Bertrand E., Deschamps A., Mercier de Lépinay B., Prépetit C., Hough S. (2013). A combined source and site-effect study of ground motions generated by an earthquake in Port-au-Prince (Haiti). Proc. of the EGU General Assembly, Vol. 15, EGU2013-9616, Vienna, Austria, 7-12 April 2013.

Terrier M. & Bialkowski A. (2013) – Microzonage sismique de Port-au-Prince (Haïti) : étude géologique. Rapport final. BRGM/RP-61243-FR, p.91, fig.49, ann.1.

Terrier M. et Nachbaur A. (2013) - Microzonage sismique de Port-au-Prince (Haïti) : Carte de l'aléa mouvements de terrain. Rapport BRGM/ BRGM/RC-62440-FR, 91 p., 32 fig., 1 ann.

Tippenhauer, L.G., 1893, Liste der erdbeben auf Haiti in die Insel Haiti: Leipzig, Germany, F.A. Brockhaus, p. 170–175.
UNOSAT (2010). Cartes et Atlas de dommages du séisme d'Haïti. UNOSTA, programme opérationnel d'application satellite de l'UNITAR (United Nations Institute for Training and Research).

Vanoudheusden E., Roullé A., Auclair S. (2012) - Méthodologie de quantification de l'aléa sismique par microzonage : retour d'expérience d'études antillaises, JNGG2012–Bordeaux.

Youd T. L., Idriss I. M., Andrus R. D., Arango I., Castro G., Christian J. T., Dobry R., Finn W. D. L., Harder L. F., Hynes M. E., Ishihara K., Koester J. P., Liao S. S. C. , Marcuson W. F., Martin G. R., Mitchell J. K., Moriwaki Y., PowerM. S., Robertson P. K., Seed R. B., and Stokoe K. H. (2001) – Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127(10), 817-833

Youd, T. L. (1992) - "Liquefaction, ground failure, and consequent damage during the 22 April 1991 Costa Rica earthquake" in *Proceedings of the NSF/UCR U.S.-Costa Rica Workshop on the Costa Rica Earthquakes of 1990-1991: Effects on Soils and Structures.* Oakland, California Earthquake Engineering Research Institute.

Youd, T. L., Hansen, C. M., & Bartlett, S. F. (2002). Revised multilinear regression equations for prediction of lateral spread displacement. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 128(12), 1007-1017

Principaux sites internet français

Ministère du Développement Durable	http://www.developpement-durable.gouv.fr/
Ministère de l'Intérieur	http://www.interieur.gouv.fr/
Portail de la Prévention des Risques Majeurs	http://www.prim.net/
	http://www.risquesmajeurs.fr/
Mémento du maire et des élus locaux	http://www.mementodumaire.net/les-risques-naturels/rn2-inondations/
CERTU	http://www.territoires-villes.cerema.fr/
Institut des Risques Majeurs de Grenoble	http://www.irma-grenoble.com/
CEPRI	http://www.cepri.net/

Sites internet haïtiens

Primature République d'Haïti	http://www.primature.gouv.ht/
Ministère de l'Environnement	http://www.mde-h.gouv.ht/
	http://www.mde-h.gouv.ht/etude/carte.htm
Direction de la Protection Civile	http://protectioncivilehaiti.net/

Sites internet d'organismes internationaux œuvrant dans la gestion des risques en Haïti

PNUD	http://www.ht.undp.org/
Mission Nations Unies pour la Stabilisation en Haïti	http://www.minustah.org/
Croix Rouge haïtienne	http://www.croixrouge.ht/
Bureau de Recherches Géologiques et Minières	http://www.brgm.fr/
OXFAM	http://www.oxfam.org/fr
Coopération suisse	https://www.eda.admin.ch/deza/fr/home.html

PARTENAIRES

Les principales institutions nationales partenaires

Nous remercions toutes les organisations et personnes qui ont contribué de près ou de loin à la mise en œuvre de ce guide et nous nous excusons pour tous ceux dont le nom a été malencontreusement oublié.

Ministères et institutions nationales

Bureau des Mines et de l'Énergie (BME) : Remarais Ludner, Claude Prépetit, Claude Jean Poix, Altidor Jean Robert, James Toussaint
Centre National de l'Information Géo-Spatiale (CNIGS) : Boby Emmanuel Piard, David Telcy, Alexilien Versaille Pierre
Comité Interministériel de l'Aménagement du Territoire (CIAT) : Michèle Oriol, Luc Bretous, Marc Raynal, Rose-May Guignard, Erdem Ergin
Délégation Départementale de la Grand'Anse : Norman Wiener
Délégation Départementale du Nord : Yvon Alteon
Délégation Départementale du Nord-Est : Hugo Charles
Direction de la Protection Civile (DPC) : Marie-Alta Jean Baptiste, Moïse Fils Jean Pierre, Roosvelt Compère, Sylvera Guillaume, Tony Denis, Jean Henri Petit, Guito François
Institut National de Formation Professionnelle (INFP) : Arnault Robert, Closel Fatal, Gérard Mondesir, Jean Luc Marcelin
Laboratoire National des Bâtiments et des Travaux Publics (LNBTP) : Yves Fritz Joseph, Berthoumieux Junior Jean
Mairie Acul du Nord : Leroy Henry, Serge Gérard Dolce, Wisnel Charles, Fausnel Pierre
Mairie Bahon : Pierre Nelson
Mairie Bas-Limbe : Venel Pierre-Louis
Mairie Borgne : Wilfrode Pierre
Mairie de Cap Haïtien : Jean Frantzdy, Josselin Ravoz
Mairie de Delmas : Wilson Jeudy, Yves Winchell Rivière, Alix Charles

Mairie de Pétion-Ville : Yvanca Jolicoeur Brutus, Wilner Brutus
Mairie de Port-au-Prince : Sully Guerrier, Rodrigue Fils, Yves T. Roche
Mairie de Tabarre : Feron Jean Mozard, Martial Azer, Duval Achab
Mairie Grande Rivière du Nord : Smath Senot
Mairie Jérémie : Pierre Ronald Etienne
Mairie Limonade : Gerilien Phillippe, Batuel Bertrand
Mairie Milot : Fritz Prophète
Mairie Plainde du Nord : Cride Joseph, John Auguste
Mairie Plaisance : Anthony Josaphat
Mairie Port-Margot : Willy Cadet
Mairie Quartier Morin : Evelyne Julien
Ministère de l'Agriculture des Ressources Naturelles et du Développement Rural (MARNDR) : Helliot Amilcar, Vladimyr R. Jean, Ronald Toussaint, Miler Jean-François, Jean Edme Etienne, Eberle Eden Nicolas, Ernso Thomas
Ministère de l'Éducation et de la Formation Professionnelle (MENFP) : Jean Marie Alvarez, Accou Lazare Joseph
Ministère de l'Environnement (MDE) : Altidor Nicole Yolette, Mc Daniel Andre, Jean Robert Emmanuel, Gagery Jean Bidault
Ministère de l'Intérieur et des Collectivités Territoriales (MICT) : Hertz Obas, Ginette Kanzhi, Moleon G. Albert, Ruthland Anglade, Jean David
Ministère de la Planification et de la Coopération Externe (MPCE) : Yves Robert Jean, Giovani Dorélien, Alex Julien Mathieu, Jean Max Gabriel, Peretz Ebert Peltrop, Woody A. Paul, Marie Michèle Alexandre
Ministère des Travaux Publics, Transports et Communication (MTPTC) : Alfred Piard, Charlemagne Risselin, Chervin Joseph, Meilleur Jean Joreste, Marie Suze Jesse
Office de Management et des Ressources Humaines (OMRH) : Antoine Uder.
Police Nationale d'Haïti : Hugues Gabriel
Service Maritime et de Navigation d'Haïti (SEMANAH) : Éric Prévost jr, Gérard Metayer
Unité de Construction du Logement et des Bâtiments Publics (UCLBP) : Harry Adam, Clément Bélizaire, David Odnell, Gédéon Charles, Sahdia Khan, Yves-Michel Thomas, Georges Salomon
Université d'État d'Haïti (UEH) : Henry Jean Vernet, Roberte Momplaisir, Domonique Boisson, Accilien Brunet, Jean-Raoul Momplaisir, Guichard Beaulieu, Jean Marie Théodat

Associations

Alliance pour la Gestion des Risques et de la Continuité des Activités (AGERCA) : Marie Louise Russo, Farah Taluy
Association des Maires de la Grand'Anse (AMAGA) : Jean-Claude Fignolé
Collège National des Ingénieurs et Architectes d'Haïti (CNIAH) : Gérard Luc Jean-Baptiste, Alix Multidor
Comité Communal de Protection Civile (CCPC) de Léogane : Philistin Similien
Comité Communal de Protection Civile (CCPC) de Pétion-Ville : Cazeau Gilbert, Castel Moïse
Communauté des Municipalités de la Région des Palmes (CMRP) : Richard Lafrance,
Coordination Scientifique et Technique pour les Risques Naturels en Haiti (CST-RNH) : Pierre Bétonus, Gérard Métayer
Direction Administrative et Technique de l'Intercommunalité des Palmes (DATIP) : Philistin Similien,
Fédération Nationale des Maires Haïtiens (FENAMH) : Wills Thomas

Nations Unies

Banque Interaméricaine de Développement (BID) : Pascal Buissière, Bruno Jacquet
Banque Mondiale : Pierre Xavier Bonneau, Sergio Dell'Anna, Sylvie Debomy, Joan Dessaint Fomi, Michel Matera, Emma K.A. Phillips, Etienne Richard, Yolette Vaval Serena
Bureau de la Coordination des Affaires Humanitaires (OCHA) : Valentina Signori, Claudine Joseph
Bureau des Nations Unies pour la Réduction des Risques de Catastrophes (UNISDR) : Humberto Jaime
Bureau des Nations Unies pour les Services d'Appuis aux Projets (UNOPS) : Gerald Février
ONU Habitat : Adeline Carrier, Alexandre Koclejda, Jude Saint-Natus
Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) : Frits Ohler, Aloys Nizigiyimana, Mykerlange Balmir
Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture (UNESCO) : Bernardo Aliagra
Organisation Internationale pour la Migration (OIM) : François Fournier, Noel Emmanuel, Jean Presler, Jeans Sébastien Jérôme
Organisation Mondiale de la Sante (OPS/OMS) : Jean Luc Poncelet, Chantal Calvel
Représentant Résident du PNUD en Haïti: Peter Leclerc, Mourad Wahba

Partenaires internationaux et organisations non gouvernementales internationales

Agence des Etats Unies pour le Développement Internationale (USAID) : Anderson Jonathan, Rose-Luce Cadot, Fabienne Jolivert
Agence Espagnole de Coopération Internationale pour le Développement (AECID) : Azaola Olga
Bureau d'Aide Humanitaire et Protection Civile (ECHO) : Louis Nicolas, Ségolène De Beco, Pierre Winshell Norzeron
Bureau de Recherches Géologiques et Minières BRGM : Jean Philippe Rançon, Didier Bertil, Monique Terrier, Mélanie Fontaine
CARE : Jean Michel Vigreux, Julie Pazongles, Tamara Shukakidze
CONCEPT International : Khaled Zeghidi
CONCERN International : Suzanne Louchard, Jude Patrick Louis
Coopération Suisse / DDC : Boris MAVER, Bernard ZAUGG, Jacques Philippe Mondesir, Gardy Létang, Ivan Bartolini, Tom Schacher
COOPI International : Moreno Zucchow, Max Woldy Benoit
Croix Rouge Française (CRF) : Jennifer Pauc, Emmanuel Pajot, Emilie Forestier
Croix Rouge Haïtienne (CRH) : Dr Léandre Apollon, Pericles Jean-Baptiste, Marie Chantal Pitaud, Eblene Pierre, Margalie Hyacinthe Pierre
Croix Rouge Suisse (CRS) : Stephane Rolland De Rengerrve, Cornelia Bronnimann
Département du Développement International (UK DFID) : Anita Shah, Neil Barry, Ken Hume, Francois Deruisseaux
GeoHAZARDS International (GHI) : Veronica Cedillos
Handicap International : Amayele Dia, Aurélie Cristini, Florence Lepaulmier
PREDICT : Alix Roumagnac
Save the Children : Denise Roches
Solidarité Internationale : Benjamin Buscan, Silvere Jarrot

Experts Internationaux

Ara Avagyan, Franc Audemart, Françoise Besset, Éric Calais, Albert Colas, Jean-Luc Chatelain, Philippe Debar, Gérard Ettore, Bertrand Guillier, Christian Lajournade, Francis Martignac, Emmanuel Tric

Firmes - Bureaux d'Etudes

ARTELIA - Beta Conseils : Analyse des mécanismes et acteurs existants en matière de GRD en Haïti, 2014
ARTELIA - Contrechamp : Guide Méthodologique de Réduction des Risques Naturels en zones urbaines en Haïti, 2015
Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) : Évaluation des Méthodologies existantes, 2014

PNUD Haïti

Equipe de Projet : Fenella Frost, Samira Philip Rebai, Stendelet Céus, Jerry Charles-Pierre, John Harding, Patrick Michel, Supreme Dieudonné, Marylin Delva
Autres : Yvonne Helle, Sophie de Caen, Katyna Argueta, Abou B. Toure, Safiou Eso Ouro-Doni, Barbara Calixte, Betty Etienne, Cauvin Voltaire, Chantal Santelli, Chirine El Labbane, Diana Patricia Mosquera Calle, Lovelie Versiere, Francesca Pinna, Guillaume Joachim, Jean Arnaud Vixama, Jean Mary Dutreuil, Kamina Ntenda, Karl Maxime Alliance, Katleen Mompoint, Margalie Bouchereau, Marie Edith Charles, Marie Felicienne Trevant, Marjorie Charles, Morel Cadet, Paola Solda, Renaud Voltaire, Rita Sciarra, Robert Denisé, Josiane Rigaud, Soucelyn Ferdinand, Stephane Kluser, Thomas Pithaud, Yves-André Wainright

Ce **guide méthodologique** présente, de A à Z, les méthodes et les outils de caractérisation, de gestion et de **prise en compte du risque naturel dans l'urbanisation**. Il s'articule en 5 sections [Prévention - Protection - Planification - Information et Sensibilisation - Formation] qui permettent à l'utilisateur de se repérer à chaque étape de mise en œuvre de ce processus C'est un véritable **outil d'aide à la décision,** à destination des techniciens, des élus, des administrations, des aménageurs, des ONG, de tous les acteurs locaux qui interviennent dans l'aménagement du territoire en Haïti, et sont donc concernés par le risque naturel.

This methodological guide introduces, from A to Z, different tools and methods dedicated to the characterization, the management and the consideration of the natural risk in the urbanization. It contains 5 sections [Prevention - Protection - Preparedness - Information and Awareness - Training] allowing the user to identify each step in the implementation of this process.
It is a real decision support tool, designed for technicians, elected representatives, administrations, land planners or NGOs – all local stakeholders involved in land use in Haiti, and therefore affected by the natural risk.

Suite au séisme du 12 Janvier 2010 qui a dévasté Port au Prince, occasionnant plus de 200 000 morts et des dégâts matériels considérables, les évaluations effectuées par les acteurs de la reconstruction de l'aménagement urbain, de la réduction des risques, et de la préparation aux désastres, ont mis en évidence la nécessité pour l'État Haïtien de mettre en place une Méthodologie Nationale qui servirait de Standard pour la prise en compte de la réduction des risques dans l'aménagement urbain.

Grace au précieux concours du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD), ce **Guide Méthodologique National de Réduction des Risques Naturels en Haïti** est désormais une réalité. Il a été élaboré en étroite collaboration avec les institutions nationales, les partenaires et experts locaux et internationaux de la gestion des risques et de l'aménagement du territoire.

Cet outil, a été élaboré grâce au soutien financier de l'Office d'aide humanitaire de la Commission européenne (ECHO). Il est par ailleurs actuellement en application pilote sur un des départements prioritaires haïtien, grâce à un financement du Gouvernement Britannique à travers DFID (Department for International Devlopment).

Document Disponible sur :
www.mpce.gouv.ht - www.ht.undp.org