

Evaluation des aléas naturels dans le cadre de projet de nouveaux forages à Bouillante (971)

Rapport final

BRGM/RC-67593-FR
Janvier 2018

Y. Legendre et L. Guillen
Avec la collaboration de
J. Rey

Vérificateur :

Nom : Gildas NOURY
Fonction : Ingénieur risques naturels
Date : 1^{er} février 2018



Approbateur :

Nom : Jean-Marc MOMPÉLAT
Fonction: Directeur adjoint des
Actions Territoriales
Date : 19 février 2018

Signature : 

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Mots-clés : aléas, risque, sismique, mouvement de terrain, liquéfaction, faille, géothermie, Bouillante, Guadeloupe

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Legendre Y. et Guillen L. (2018) – Évaluation préliminaire des aléas naturels dans le cadre de projet de nouveaux forages à Bouillante. Rapport final. BRGM/RC-67593-FR, 35 p., 24 ill.

Synthèse

L'entreprise Géothermie Bouillante envisage de réaliser de nouveaux forages profonds, à proximité de son site principal d'exploitation à Bouillante, le long de la rue Vanier. C'est dans ce cadre que Géothermie Bouillante a sollicité le BRGM afin d'effectuer une analyse de aléas naturels sur la parcelle section AO n° 196.

Le dossier de demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers inclut une étude d'impact dans laquelle l'analyse des aléas naturels auxquels le site est exposé doivent figurer. Ils incluent :

- L'aléa sismique ;
- L'aléa volcanique ;
- L'aléa cyclonique et submersion marine ;
- L'aléa mouvement de terrain ;
- L'aléa inondation.

L'ensemble du travail réalisé sur l'évaluation des aléas naturels s'appuie sur les données cartographiques existantes et notamment l'Atlas communal des Risques Naturels de la commune de Bouillante et le Plan de Prévention des Risques naturels (PPRn) de la commune de Bouillante (approuvé par la Préfecture de Guadeloupe en 2007 et actuellement en cours de révision mais non finalisé lors de la rédaction de ce rapport).

Une attention particulière a été portée à l'aléa mouvement de terrain compte tenu de la localisation de la parcelle en pied de versant et de possibles travaux de terrassement. Une visite de terrain a été effectuée le 17 janvier 2018 sur la parcelle AO 196 afin d'évaluer l'aléa mouvement de terrain.

Il en résulte que la parcelle AO 196 peut se diviser en 3 secteurs parallèles à la rue Vanier, représentatifs du zonage réglementaire issu du PPRn de la commune de Bouillante.

- Le secteur aval est soumis à l'aléa faible de liquéfaction des sols, à l'aléa sismique faible et à l'aléa faible zonage de faille. La réglementation du PPRN de la commune de Bouillante prévoit que cette zone soit soumise à des contraintes spécifiques faibles, imposant de mener une mission géotechnique normalisée (norme NF P 94-500) de type G1 (étude géotechnique préalable) par un bureau d'études spécialisé
- Le secteur central est soumis à l'aléa moyen de mouvements de terrain. Le diagnostic de terrain a révélé que les indices de deux phénomènes ont été observés sur site : des chutes de blocs et un glissement de terrain. La réglementation du PPRN de la commune de Bouillante impose que ce secteur soit soumis à des contraintes spécifiques fortes, comprenant notamment de mener deux missions géotechniques normalisées de types, G1 et G2 (étude géotechnique de conception) par un bureau d'études spécialisé. Ces missions devront prendre en compte les divers aménagements prévus par Géothermie Bouillante afin de s'assurer que les ouvrages prévus pourront réduire le risque de mouvements de terrain et que les dimensionnements seront adéquats.
- Le secteur complètement à l'amont du site est soumis à l'aléa mouvement de terrain fort et le rend inconstructible d'après le règlement du PPRN.

L'ensemble de la Guadeloupe et donc la parcelle AO 196, sont situées par l'EuroCode 8 dans la zone sismique notée 5 (forte sismicité), et dans la zone de vents forts notée 5 d'après la norme NV 65.

Sommaire

1. Introduction	7
2. Contexte.....	9
2.1. CONTEXTE MORPHOLOGIQUE	9
2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE	12
2.3. MANIFESTATIONS HYDROTHERMALES DE SURFACE.....	14
3. Etat des lieux documentaire des aléas naturels sur la parcelle AO 196.....	17
3.1. L'ALÉA MOUVEMENT DE TERRAIN	17
3.2. L'ALÉA INONDATION.....	18
3.3. L'ALÉA CYCLONIQUE	19
3.4. L'ALÉA SISMIQUE GÉNÉRAL, LIQUÉFACTION ET FAILLE ACTIVE.....	20
3.5. L'ALÉA VOLCANIQUE.....	22
4. Prescriptions réglementaires issues du PPRN de Bouillante de 2007	23
4.1. CONTRAINTES SPÉCIFIQUES TRÈS FORTES.....	24
4.2. CONTRAINTES SPÉCIFIQUES FORTES	24
4.3. CONTRAINTES SPÉCIFIQUES FAIBLES	25
5. Compléments suite à la visite de terrain du 17 janvier 2018	27
5.1. CONCERNANT LES MANIFESTATIONS HYDROTHERMALES DE SURFACE	27
5.2. CONCERNANT L'ALÉA MOUVEMENT DE TERRAIN.....	28
6. Recommandations du BRGM	33
6.1. DANS LA ZONE DE CONTRAINTES SPÉCIFIQUES FORTES	33
6.2. DANS LA ZONE DE CONTRAINTES SPÉCIFIQUES FAIBLES ET L'ENSEMBLE DES AUTRES ZONES	34
7. Conclusion.....	35
8. Bibliographie	37

Liste des figures

Illustration 1 : Localisation générale de la parcelle dans le bourg de Bouillante (données IGN 2015). La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet.	10
Illustration 2 : Cratère de maar évoqué dans la bibliographie mis en évidence par la cartographie des pentes et les isolignes tous les 2 m d'altitude depuis Litto 3D 2013 (IGN) (limite amont en trait orangé).....	10
Illustration 3 : Localisation de la parcelle AO 196 sur la commune de Bouillante (données IGN 2015 et orthophotographie Pléiades 2013). La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet.	11
Illustration 4 : Carte des pentes générée d'après le modèle numérique de terrain Litto3D (IGN). La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet. La corniche du sommet de versant, zone de départ du glissement ancien supposé est en trait plein en rouge et le contour de la masse glissée est en pointillé rouge	12
Illustration 5 : Carte géologique à 1/ 50 000ème d'après A. DE REYNAL DE SAINT MICHEL (1966). La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet (report approximatif).13	
Illustration 6 : A gauche, localisation de divers sondages effectués sur le site de Bouillante d'après CFG Services, H. TRAINAU 2010). A droite, log stratigraphique du sondage 64-S3	14
Illustration 7 : Carte du champ géothermique de Bouillante, d'après CFG Services. La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet (report approximatif)	15
Illustration 8 : Extrait du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Bouillante, et fond IGN (2015)	17
Illustration 9 : Extrait du Scan 25 IGN et de la localisation du glissement de terrain (rectangle orange) survenu à proximité du site d'étude (InfoTerre – BD MVT) La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet (report approximatif)	18
Illustration 10 : Extrait du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de l'aléa inondation sur la commune de Bouillante, et fond IGN (2015).....	19
Illustration 11 : Extrait du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de l'aléa cyclonique sur la commune de Bouillante, et fond IGN (2015).....	20
Illustration 12 : Extrait du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de l'aléa sismique sur la commune de Bouillante, et fond IGN (2015)	21
Illustration 13 : Extrait du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de l'aléa zonage de faille sur la commune de Bouillante, et fond IGN (2015)	21
Illustration 14 : Extrait du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de l'aléa liquéfaction sur la commune de Bouillante, et fond IGN (2015).....	22
Illustration 15 : Zonage réglementaire d'après le PPRN de la commune de Bouillante.....	24
Illustration 16 : Fumerolles sur la parcelle AO n° 196	27
Illustration 17 : Localisation des fumerolles sur la parcelle AO 196 et de la végétation brûlée par l'hydrothermalisme	28
Illustration 18 : Blocs chutés à la limite des habitations et de la partie densément végétalisée .29	
Illustration 19 : Blocs chutés dans le secteur amont aux habitations de la parcelle AO n° 196..	29
Illustration 20 : Zone de décrochement du glissement de terrain observé.....	30
Illustration 21 : Front du glissement de terrain	30
Illustration 22 : Localisation du glissement de terrain observé sur la parcelle n° AO 196	31

1. Introduction

L'entreprise Géothermie Bouillante envisage de réaliser de nouveaux forages profonds, à proximité de son site principal d'exploitation dans le bourg de Bouillante, le long de la rue Vanier. C'est dans ce cadre que Géothermie Bouillante a sollicité le BRGM afin d'effectuer une analyse de aléas naturels sur la parcelle section AO n° 196.

L'aval de la parcelle AO 196, le long de la rue Vanier, est un secteur comprenant plusieurs habitations abandonnées. Ces maisons seront détruites pour permettre l'aménagement d'une plateforme de forage. En amont du secteur, un espace végétalisé, constitué de broussailles et de savane pourrait être concerné par des travaux de terrassement en vue d'aménager la plateforme de forage.

Le dossier de demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers inclut une étude d'impact dans laquelle l'analyse des aléas naturels auxquels le site est exposé doivent figurer. Ils incluent :

- L'aléa sismique ;
- L'aléa volcanique ;
- L'aléa cyclonique et submersion marine ;
- L'aléa mouvement de terrain ;
- L'aléa inondation.

L'ensemble du travail réalisé sur l'évaluation des aléas naturels s'appuie sur les données cartographiques existantes et principalement l'Atlas communal des Risques Naturels de la commune de Bouillante, qui prend en compte l'aléa volcanique et le Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de la commune de Bouillante (qui, bien qu'il soit plus récent, ne prend pas en compte l'aléa volcanique). Ces deux supports cartographiques ne prennent pas en compte l'aléa tsunami, de ce fait, celui-ci n'a pas été considéré dans ce rapport. Cependant, de façon générale aux Antilles, le risque de tsunami existe et les zones topographiquement basses, comme le bourg de Bouillante se révèlent être exposées. Une première étude permettant l'appréciation de l'aléa « tsunami » sur les côtes françaises du bassin caribéen a été réalisée par le BRGM à la demande du ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables (MEDAD) (Pedreros et al., 2007) Toutefois, il convient de préciser que cette étude n'est pas exhaustive et qu'elle ne prétend pas donner des éléments fins de prévision. Elle consiste en une approche pragmatique de l'aléa « tsunami » fondée sur un nombre restreint de scénarios arbitrairement choisis par le BRGM pour leur caractère majorant vis-à-vis des côtes étudiées.

Pour rappel, entre 1991 et 1998, l'ensemble du territoire guadeloupéen a été couvert par les Atlas communaux des risques naturels multi-aléas réalisés par le BRGM à but informatif. L'Atlas communal des risques naturels de la commune de Bouillante a été réalisé en 1992 (Rapport BRGM/RR-36374-FR). Ces documents ont ensuite évolué vers des Plans de Prévention des Risques naturels majeurs (PPR multi-aléa), lancés en Guadeloupe dès 1997. Le PPR de la commune de Bouillante (une révision des PPR par la DEAL Guadeloupe est actuellement en cours) a été réalisé par les bureaux d'étude GEOTER et ACSES entre 2004 et 2005 et a été approuvé par la préfet de Guadeloupe en 2007.

La localisation de la parcelle AO 196 en pied de versant nécessite de porter une attention particulière à l'aléa mouvement de terrain. Une visite de terrain a ainsi été effectuée le mercredi 17 janvier 2018 par deux ingénieurs du BRGM Guadeloupe. Le projet précis d'aménagement

n'étant pas encore défini, la présente analyse des aléas naturels de la parcelle AO 196 prend en compte la situation actuelle du site.

Concernant l'aléa sismique, les règles de conception parasismique qui devront s'appliquer aux équipements mis en place (canalisations, têtes de puits, bâtiments techniques) sont précisées dans les recommandations.

2. Contexte

2.1. CONTEXTE MORPHOLOGIQUE

Le bourg de Bouillante se situe dans une zone de dépression plane, entourée de reliefs marqués (Grand Morne) (Illustration 1) en amphithéâtre, probablement liée à la formation d'un cratère de maar amagmatique (Gadalia et al., 1988 ; Sanjuan et Traineau, 2000, Illustration 2). Il est aussi situé entre les failles de la rivière de Bouillante et de Cocagne, où émergent de nombreuses sources chaudes (Illustration 7).

La parcelle A0196 (polygone violet - Illustration 1), sur laquelle les forages sont envisagés est située au pied du versant escarpé du Grand Morne culminant à environ 250 m de hauteur (Illustration 1 et Illustration 3). La parcelle est située entre les altitudes 3 m et 25 m et présente une pente d'environ 20° avec des zones de replats au nord et une pente plus abrupte (30° environ) au sud de la parcelle (Illustration 4).

La corniche du sommet du versant escarpé situé à l'amont de la parcelle est bien visible sur la carte des pentes, avec des pentes moyennes comprises entre 40 et 60° (Illustration 4). Cette morphologie pourrait être la manifestation d'une zone de rupture d'un glissement de terrain majeur (100 m x 50 m) ancien, fortement marqué par l'érosion et le ravinement (les moutonnements et le front de coulée sont peu visibles). Le front de coulée supposé, atteignant une distance de 200 m depuis la zone de départ, empiète majoritairement sur la parcelle AO 196 et constitue les premières pentes depuis l'aval du site.

Il s'agit-là d'une hypothèse en cohérence avec la morphologie du site. Cependant, la présence d'un ancien glissement n'est pas avérée à ce stade.

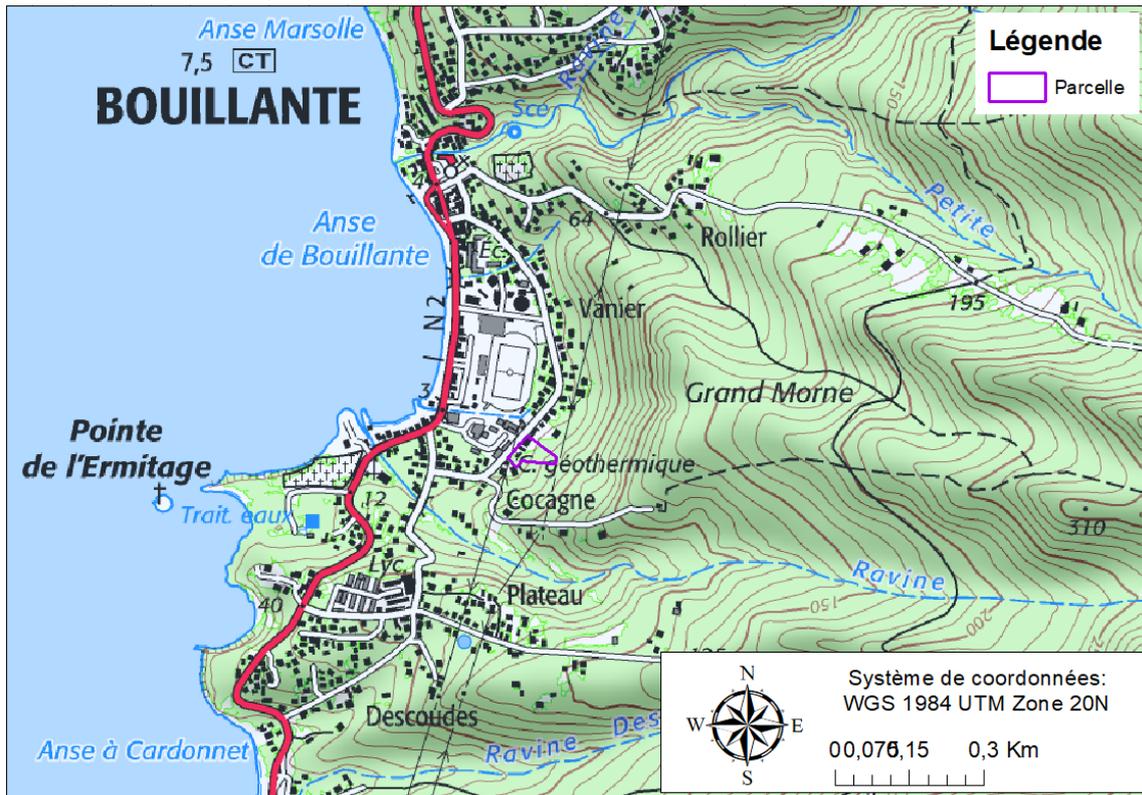


Illustration 1 : Localisation générale de la parcelle dans le bourg de Bouillante (données IGN 2015). La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet.

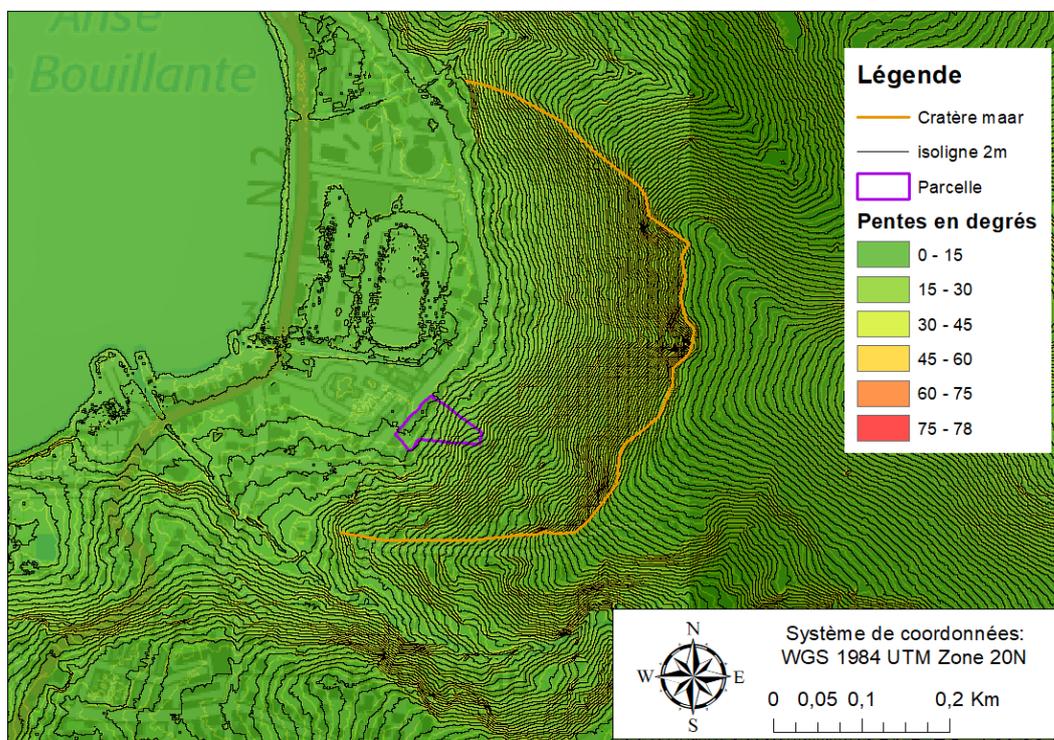


Illustration 2 : Cratère de maar évoqué dans la bibliographie mis en évidence par la cartographie des pentes et les isolignes tous les 2 m d'altitude depuis Litto 3D 2013 (IGN) (limite amont en trait orangé)



Illustration 3 : Localisation de la parcelle AO 196 sur la commune de Bouillante (données IGN 2015 et orthophotographie Pléiades 2013). La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet.

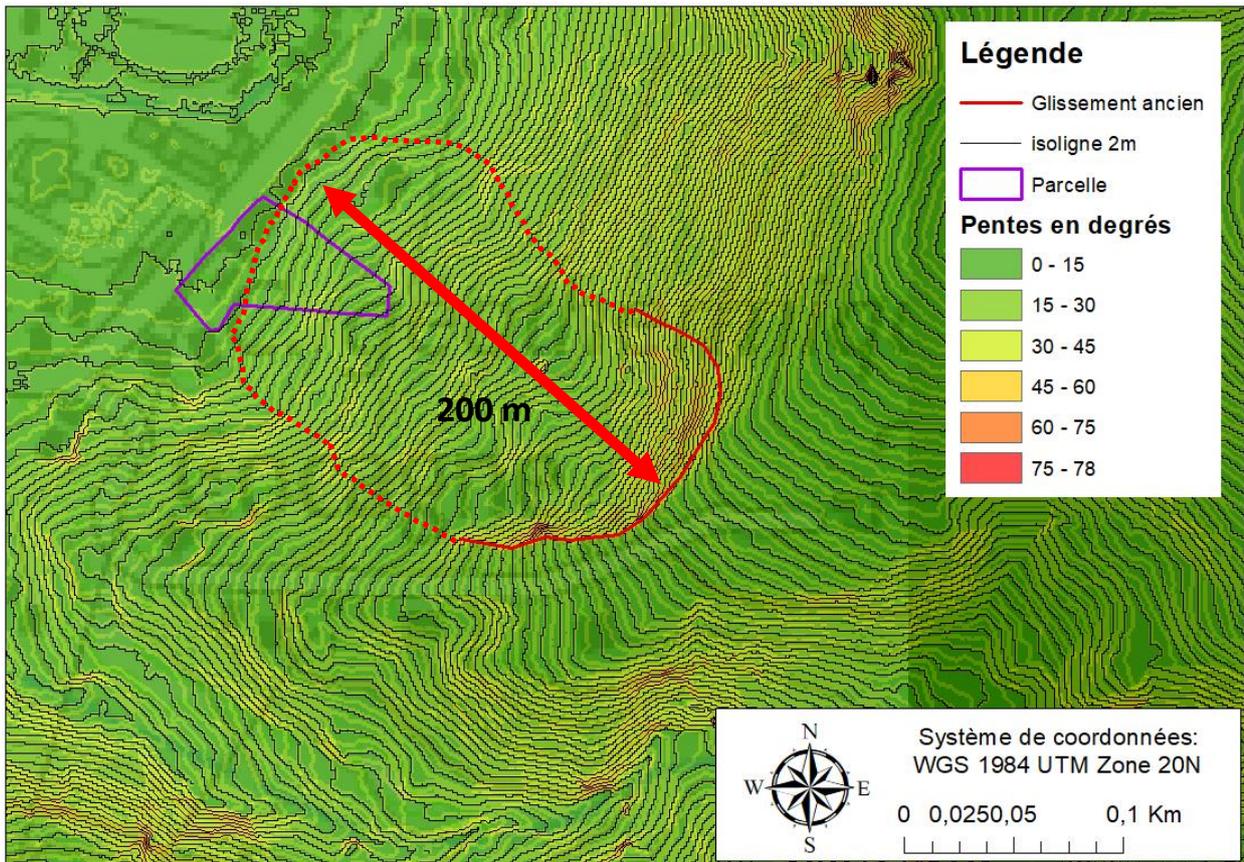


Illustration 4 : Carte des pentes générée d'après le modèle numérique de terrain Litto3D (IGN). La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet. La corniche du sommet de versant, zone de départ du glissement ancien supposé est en trait plein en rouge et le contour de la masse glissée est en pointillé rouge

2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

D'après la carte géologique à 1/50 000ème (1966, A. DE REYNAL DE SAINT MICHEL), quatre formations géologiques différentes ont été mises en évidences (Illustration 5) :

- La formation notée $P_{\alpha c}$: Coulées andésitiques massives. Ce sont des coulées massives, porphyriques, pouvant dépasser 250m d'épaisseur. Elle forme très probablement le relief du Grand Morne encadrant le bourg de Bouillante.
- La formation notée P_{pl} : Lapillis et ponces dacitiques. Cette formation de dépôts pyroclastiques serait présente en amont de la parcelle AO 196.
- La formation notée I : Complexe volcanique anté-miocène. Cette formation serait présente sur la majorité de la parcelle AO 196. Elle correspondrait à une succession, du sommet vers la base : d'argiles résiduelles, de conglomérats continentaux et de formations volcaniques en place.
- La formation notée a_a : Alluvions des rivières. Cette formation est présente sur la partie aval de la parcelle, sur une largeur de 20 m environ et est décrite par *des dépôts torrentiels, souvent épais, composés de blocs de toute taille, roulé, mêlés de sables et d'argiles.*

D'après le sondage carotté 64-S3, effectué en 1964¹, localisé à proximité de la parcelle AO 196 (Illustration 6), dans le même complexe volcanique anté-miocène décrit par la carte géologique, une argile très sableuse est présente sur une épaisseur d'environ 11 m (la tête du forage est à l'altitude 12 m). Elle surplombe une brèche décomposée en argiles dont la puissance n'a pas été déterminée (le forage s'arrête à environ 12 m de profondeur).

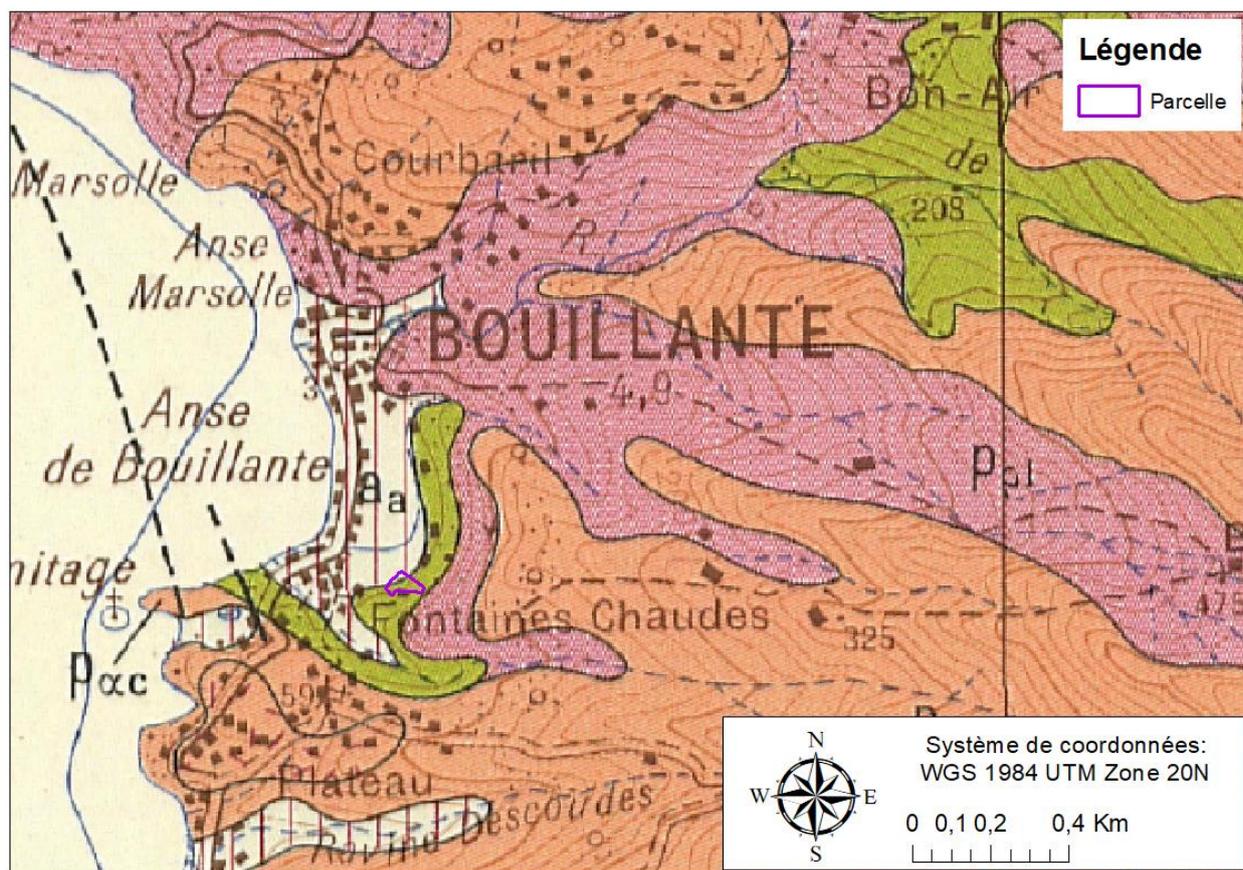


Illustration 5 : Carte géologique à 1/ 50 000ème d'après A. DE REYNAL DE SAINT MICHEL (1966). La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet (report approximatif).

¹ Memo rapide concernant les informations disponibles sur le sous-sol du site de la centrale de Bouillante, CFG Services, H. TRAINÉAU, 2010

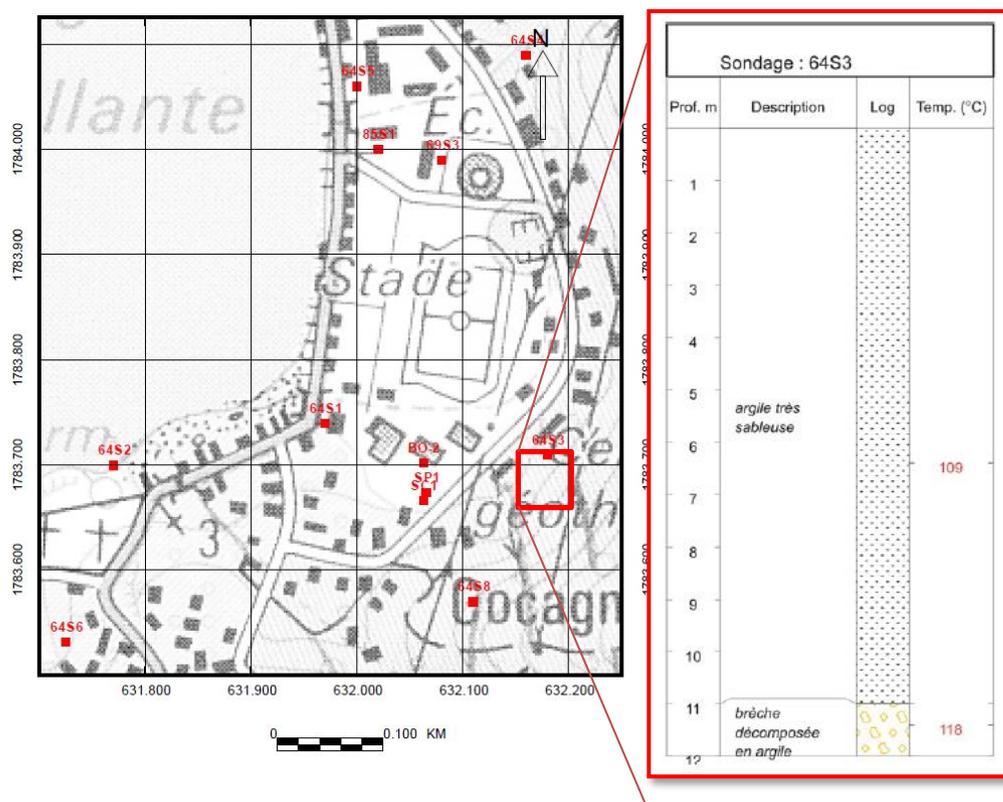


Illustration 6 : A gauche, localisation de divers sondages effectués sur le site de Bouillante d'après CFG Services, H. TRAINÉAU 2010). A droite, log stratigraphique du sondage 64-S3

2.3. MANIFESTATIONS HYDROTHERMALES DE SURFACE

Les différentes études géologiques et géochimiques du BRGM et de CFG Services ont mis en évidence un grand nombre de manifestations hydrothermales de surface dans la baie de Bouillante (e.g., Sanjuan et al., 2004 ; Bouchot et al., 2009). L'interprétation de ces manifestations hydrothermales de surface dans la baie de Bouillante a permis de définir une zone d'altération hydrothermale à terre où des sources thermales et des fumerolles sont présentes (Illustration 7). La parcelle AO 196 est située au cœur de cette zone d'altération hydrothermale. Notre visite du site, effectuée le 17 janvier 2018, a permis de confirmer et de compléter ces éléments bibliographiques : cf. § 5.1.

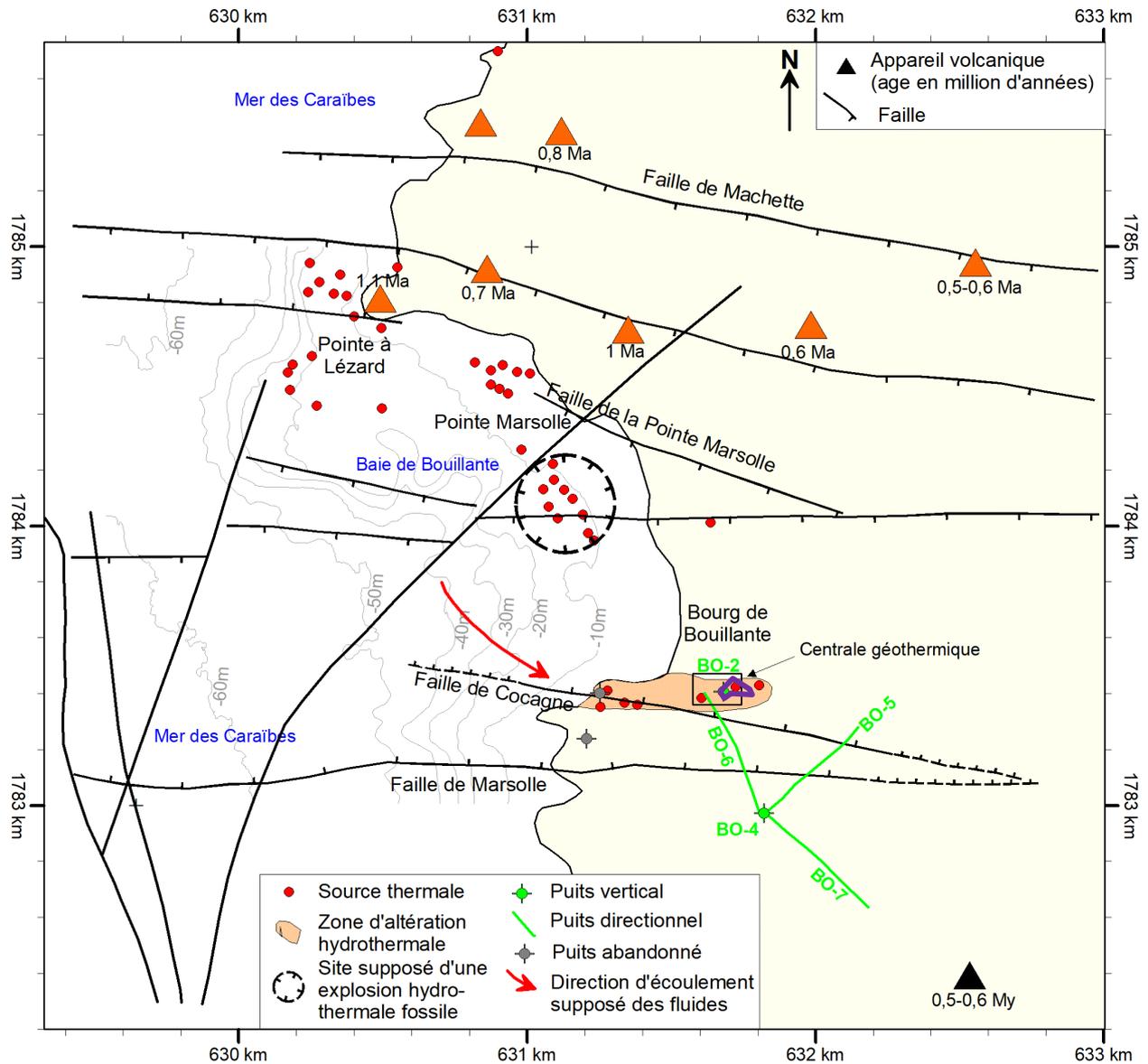


Illustration 7 : Carte du champ géothermique de Bouillante, d'après CFG Services. La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet (report approximatif)

3. Etat des lieux documentaire des aléas naturels sur la parcelle AO 196

3.1. L'ALÉA MOUVEMENT DE TERRAIN

La parcelle AO n°196 est localisée au pied du versant ouest du Grand Morne de Bouillante. D'après le Plan de Prévention des Risques naturels (PPRN) de la commune de Bouillante, la parcelle AO 196 est concernée par un aléa mouvements de terrain fort et moyen (Illustration 8) :

- L'extrémité est-sud-est de la parcelle est concernée par de l'aléa fort mouvement de terrain sur une largeur de 10 à 20 m ;
- À l'aval de cette zone d'aléa fort, une bande d'une largeur de 40 m environ est concernée par l'aléa moyen mouvement de terrain ;
- En aval, le secteur longeant la rue Vanier sur 20m de largeur n'est pas concerné par de l'aléa mouvement de terrain : il est caractérisé par le PPRN comme nul.

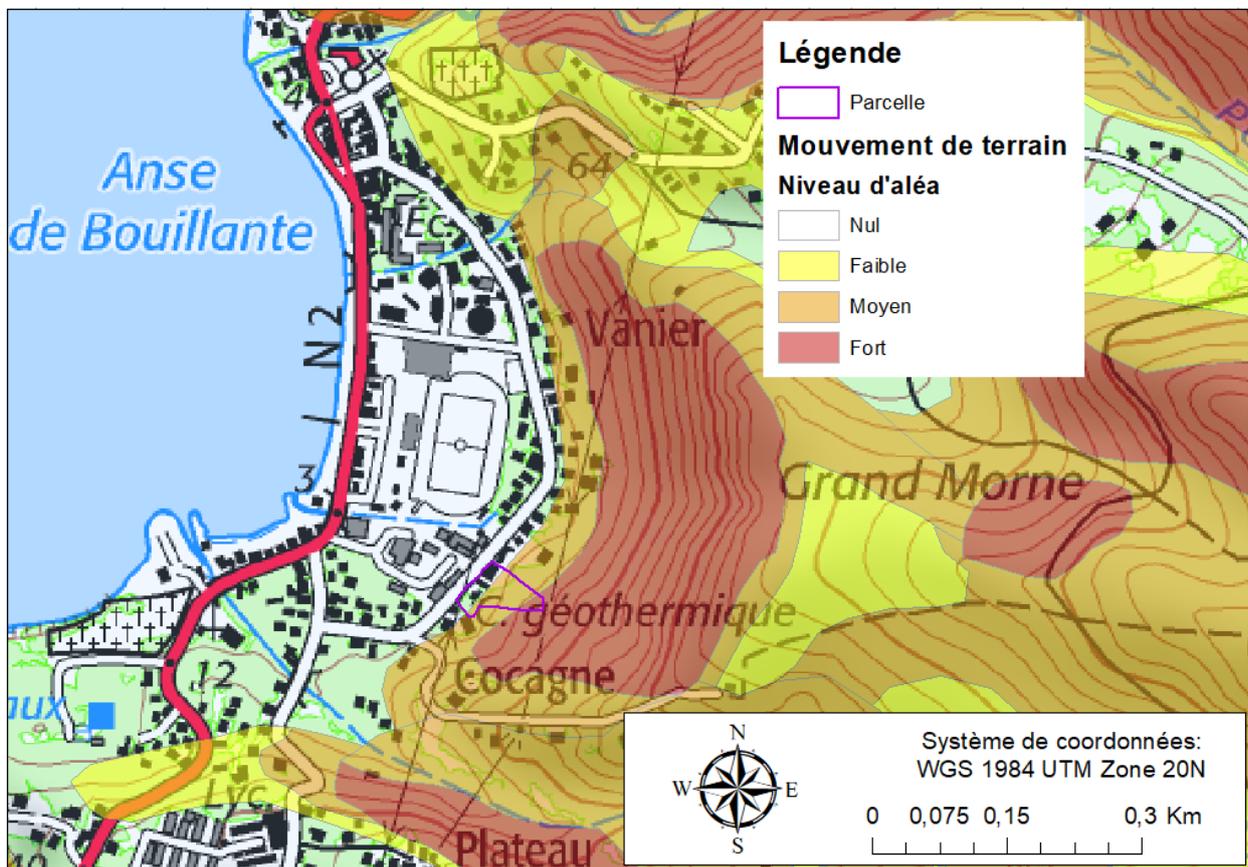


Illustration 8 : Extrait du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de l'aléa mouvement de terrain sur la commune de Bouillante, et fond IGN (2015)

D'après la BD MVT (InfoTerre), un glissement de terrain est survenu à proximité du site, depuis le versant sud du Grand Morne (à environ 300 m de la parcelle AO 196, Illustration 9) sans avoir été daté. Ce glissement a mobilisé un volume de 350 m³ et est parti depuis une cicatrice d'arrachement large de 10 m. Il n'a causé ni victimes, ni dommages et serait d'origine naturelle, liée à la pluviométrie. Bien que l'évènement n'ait pas été daté, il confirme bien l'activité du Grand

Morne en termes de glissement de terrain sur son versant sud, qui est caractérisé par des pentes marquées tout comme le versant ouest au bas duquel se situe la parcelle AO 196.



Illustration 9 : Extrait du Scan 25 IGN et de la localisation du glissement de terrain (rectangle orange) survenu à proximité du site d'étude (InfoTerre – BD MVT) La parcelle AO 196 est représentée par le polygone violet (report approximatif)

3.2. L'ALÉA INONDATION

D'après le PPRN de Bouillante, l'aléa inondation est nul pour la parcelle située secteur AO n°196 (Illustration 10).

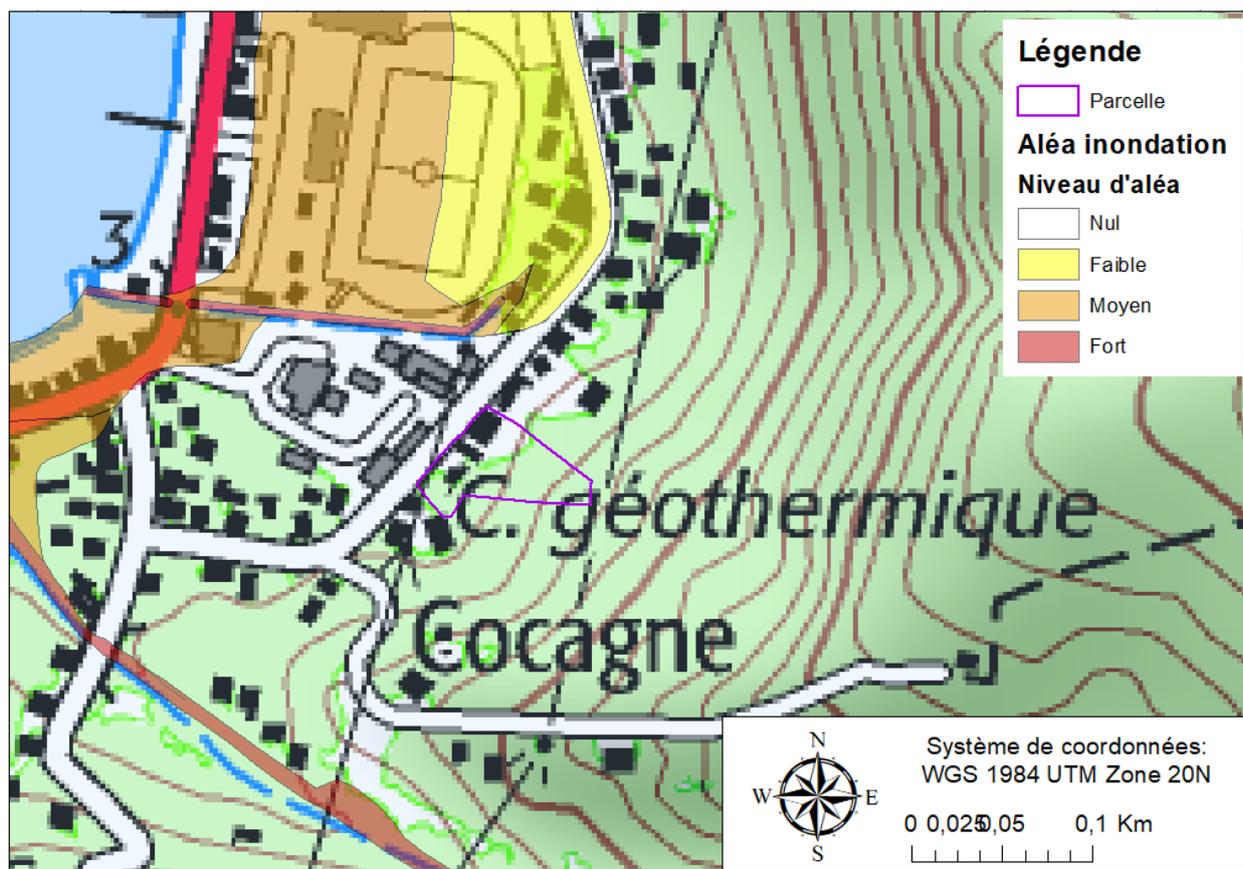


Illustration 10 : Extrait du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de l'aléa inondation sur la commune de Bouillante, et fond IGN (2015)

3.3. L'ALÉA CYCLONIQUE

D'après le PPRN de la commune de Bouillante, l'aléa cyclonique (comprenant les effets des cyclones comme les surcotes marines et les fortes houles) est nul pour la parcelle AO n°196 (Illustration 11). La prise en compte des vents cycloniques est géographiquement indifférenciée sur le territoire et ne fait pas l'objet d'un zonage spécifique dans le Plan de Prévention des Risques naturels majeurs. Cependant, la Guadeloupe dans son ensemble est classée en zone de vent 5 dans les règles NV65 février 2009 définissant les effets du vent sur les construction et annexes².

² <https://www.icab.fr/guide/nv65/vent.html>

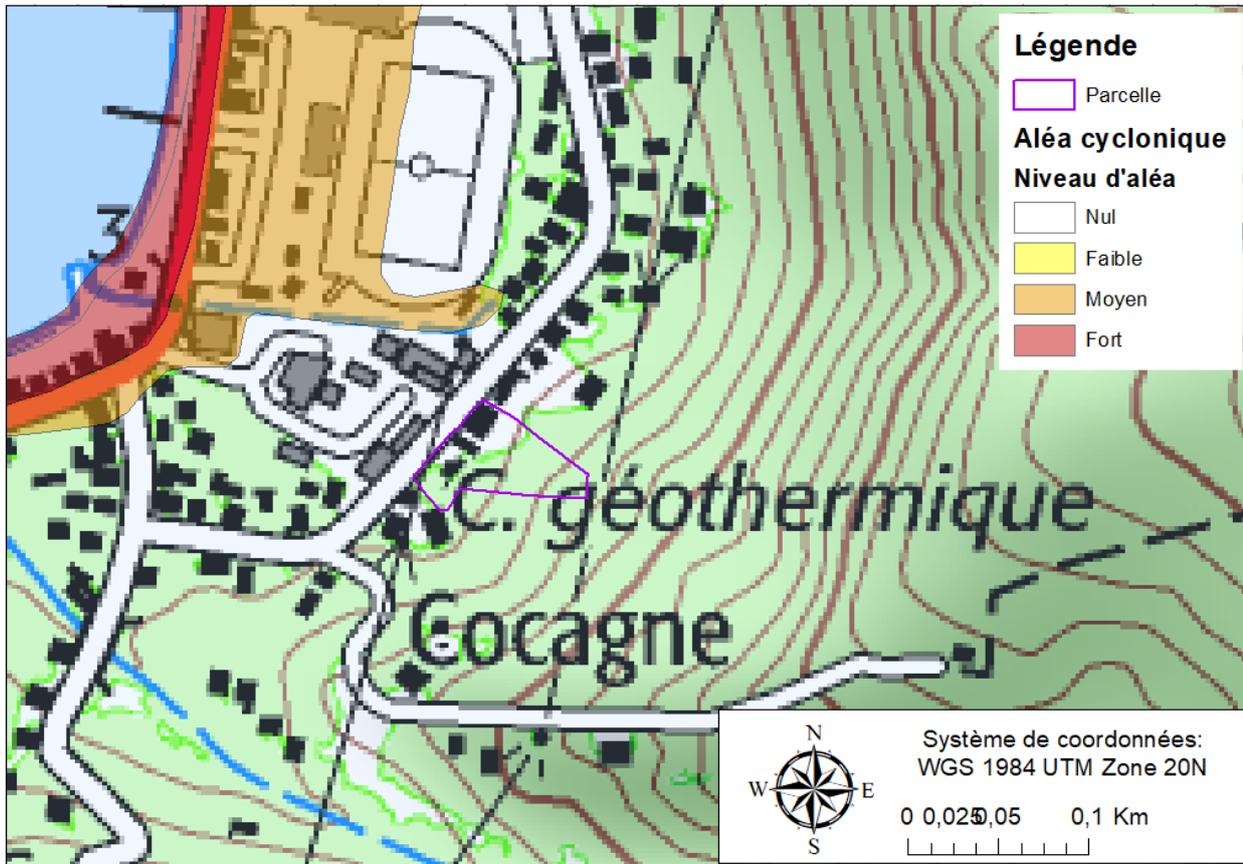


Illustration 11 : Extrait du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de l'aléa cyclonique sur la commune de Bouillante, et fond IGN (2015)

3.4. L'ALÉA SISMIQUE GÉNÉRAL, LIQUÉFACTION ET FAILLE ACTIVE

D'après PPRn de la commune de Bouillante, la parcelle AO 196 est concernée par l'aléa sismique général faible (Illustration 12). Il convient cependant de rappeler que l'ensemble du territoire communal, comme toute la Guadeloupe, est classé en zone de forte sismicité au plan national et est concerné par un aléa sismique élevé (classement en zone 5 soit le plus élevé au plan national). Le zonage de l'atlas concerne des aléas additionnels, relatifs aux effets de sites, à la liquéfaction et aux failles actives.

L'activité sismique considérée ici est celle qui pourrait être générée par un foyer d'origine régionale au sens large, par opposition aux événements qui pourraient survenir par une activité de failles locales. Ces dernières sont détaillées dans le zonage de faille (Illustration 13).

Dans le détail la parcelle AO 196 est concernée :

- En partie par des effets de site potentiels (aléa faible) (illustration 14).
- Dans sa totalité par un aléa faille active (Illustration 13). Cela signifie que le jeu d'une faille située à proximité du site (Faille de Cocagne) pourrait se manifester en surface et avoir des impacts sur l'ensemble des terrains de la parcelle.
- En partie par un aléa liquéfaction faible. Cet aléa concerne la partie la plus en aval de la parcelle AO 196, le long de la rue Vanier sur une largeur de 20 m (Illustration 14).

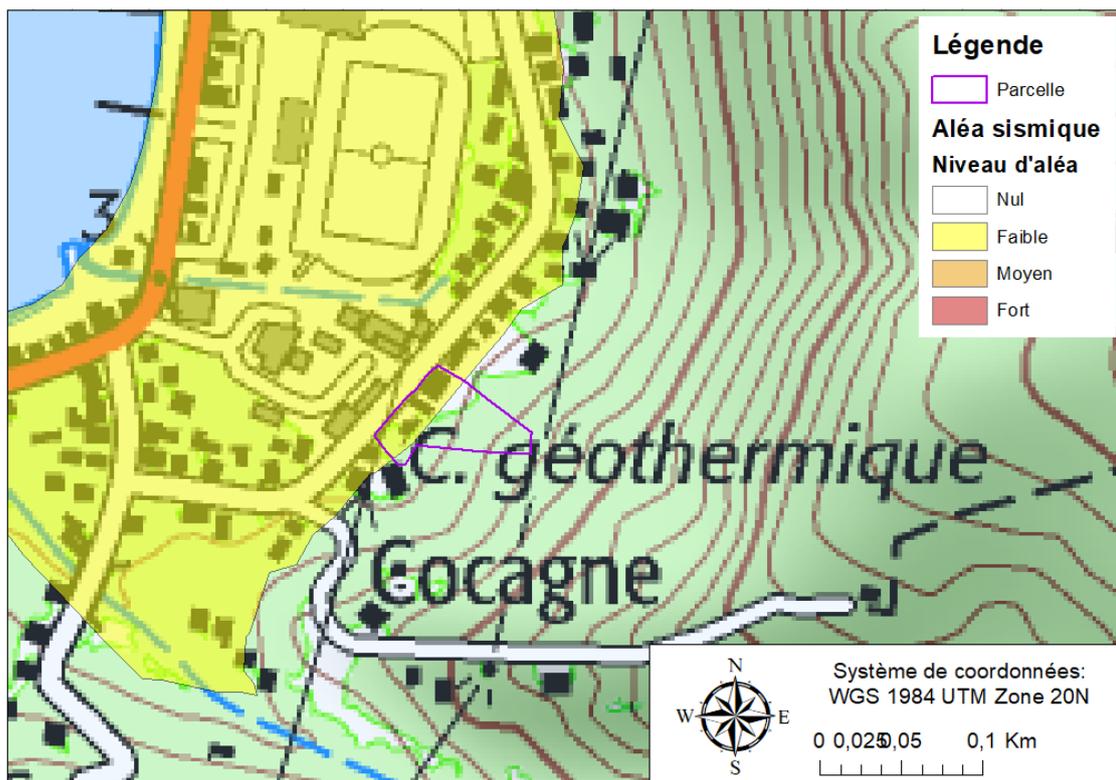


Illustration 12 : Extrait du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de l'aléa sismique sur la commune de Bouillante, et fond IGN (2015)

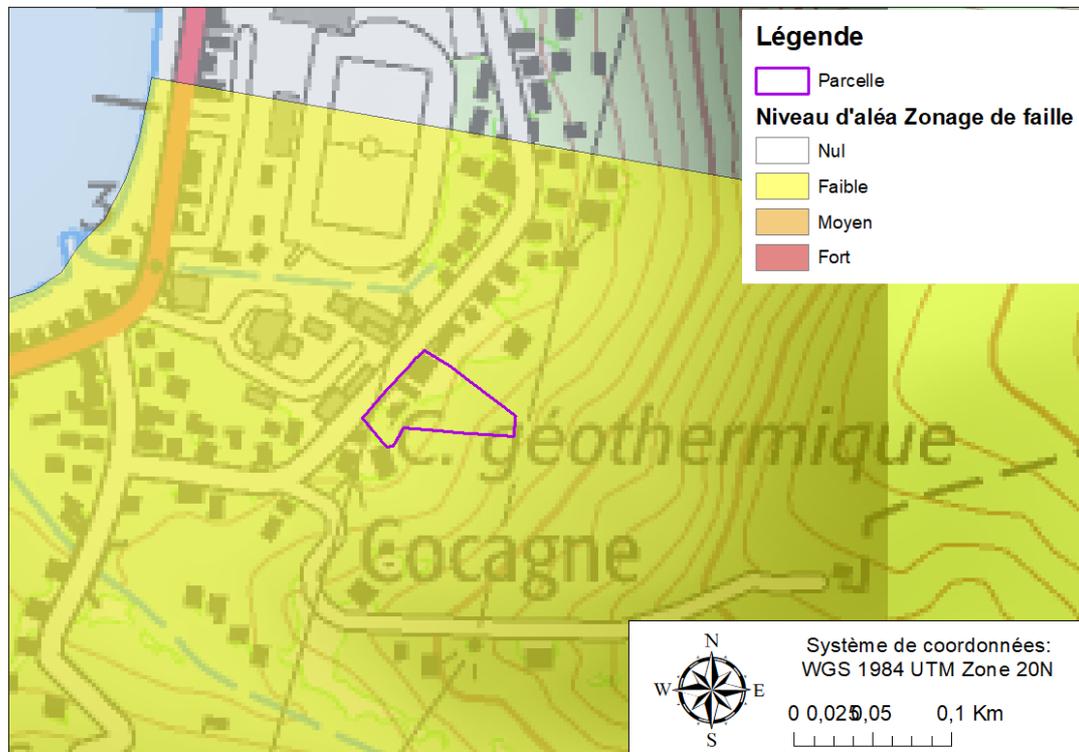


Illustration 13 : Extrait du Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) de l'aléa zonage de faille sur la commune de Bouillante, et fond IGN (2015)

4. Prescriptions réglementaires issues du PPRN de Bouillante de 2007

L'état des lieux documentaire des aléas naturels sur la parcelle AO 196 met en évidence :

- un contexte général d'aléa sismique élevé (zone 5 du zonage sismique EuroCode 8) et d'aléa cyclonique lié au vent élevé (zone 5 de la norme NV 65) ;
- un aléa inondation nul sur l'ensemble de la parcelle ;
- la présence d'un aléa faible faille active sur l'ensemble de la parcelle ;
- un aléa faible liquéfaction dans la partie aval ;
- un aléa mouvement de terrain moyen dans la partie intermédiaire ;
- un aléa fort mouvement de terrain dans la partie amont.
- .

Le Plan de Prévention des Risques Naturels de la commune de Bouillante prévoit des prescriptions selon les différents niveaux de réglementation qui sont issus du croisement des différents niveaux d'aléa présentés dans le chapitre 3. Le plan de zonage réglementaire de la commune de Bouillante (2007) se base sur une cartographie multirisque pour les raisons suivantes :

- La conjonction de plusieurs aléas peut conduire à un zonage et des clauses réglementaires plus sévères que s'ils étaient considérés isolément ;
- Les prescriptions doivent être définies en veillant à la compatibilité de protection vis-à-vis des divers aléas.

La parcelle AO 196 est concernée par 3 zones réglementaires du PPRN (Illustration 15) :

- Dans la bande de 20 m de large parallèle à la route, sur le secteur aval du versant, la zone bleu clair est une zone constructible soumise à des prescriptions individuelles et/ou collectives. Ces prescriptions correspondent à un niveau de contraintes spécifiques faibles ;
- Dans la bande intermédiaire, large d'environ 40 m, située immédiatement à l'amont de la zone bleue claire se situe la zone bleue foncée. C'est une zone constructible sous condition de réalisation d'une opération d'aménagement préalable qui devra prendre en compte les risques naturels identifiés, par des mesures visant à réduire les risques, réduire la vulnérabilité et maîtriser les enjeux. Ces prescriptions correspondent à un niveau de contraintes spécifiques fortes ;
- Sur la frange sommitale de la parcelle correspondant à la zone rouge, qui est inconstructible. Dans cette zone, il convient de ne pas augmenter la population et les biens exposés. Le niveau de contraintes spécifiques très fortes s'applique.

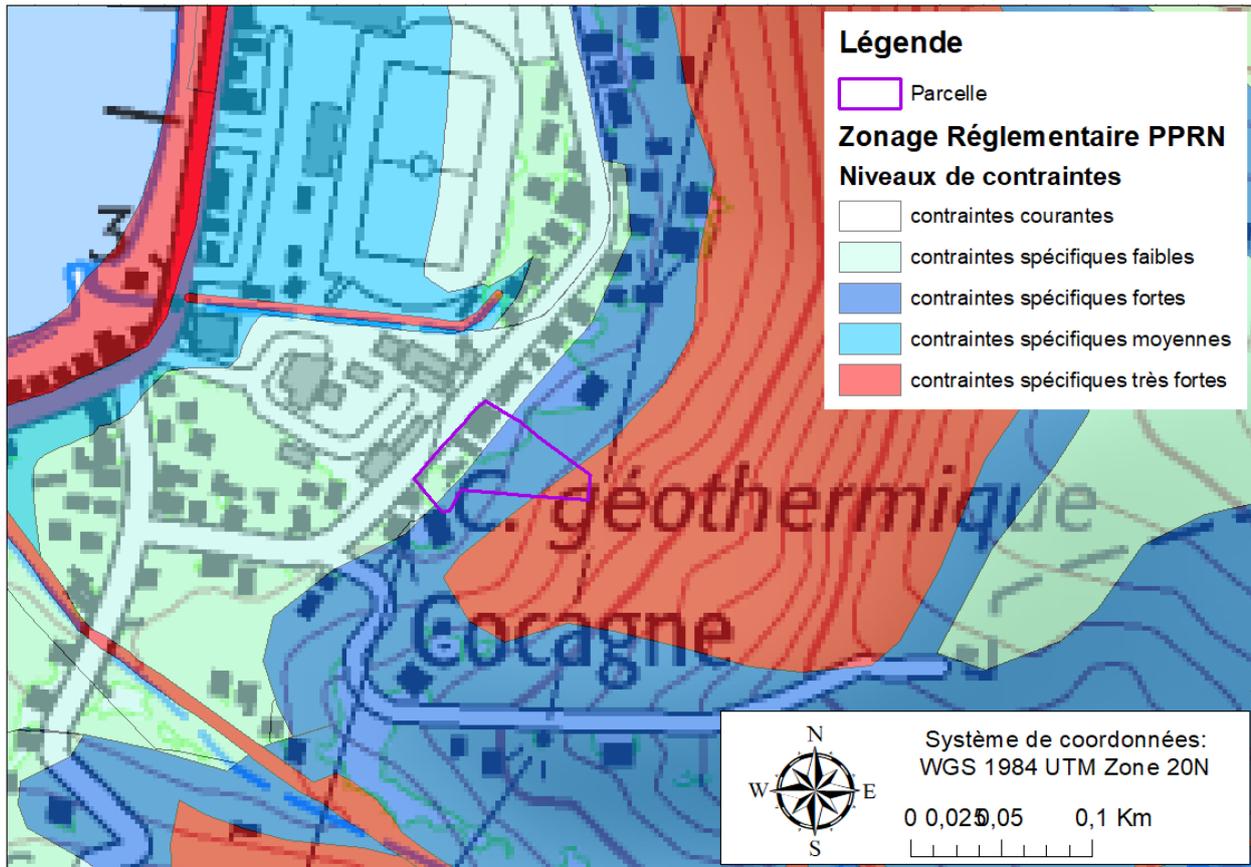


Illustration 15 : Zonage réglementaire d'après le PPRN de la commune de Bouillante

4.1. CONTRAINTES SPÉCIFIQUES TRÈS FORTES

La zone rouge de la parcelle AO 196 est, d'après le PPRN de la commune de Bouillante, une zone soumise à de l'aléa mouvement de terrain fort à laquelle un niveau de contraintes spécifiques fortes s'applique. Cette zone rouge est inconstructible d'après le règlement du PPRN de la commune de Bouillante.

4.2. CONTRAINTES SPÉCIFIQUES FORTES

D'après le PPRN de la commune de Bouillante, la zone bleue foncée est soumise à des contraintes spécifiques fortes. Elle résulte de son exposition à l'aléa mouvement de terrain moyen, concernant la parcelle AO 196. En ces termes, d'après le PPRN de Bouillante, la parcelle AO 196 est soumise à :

- *L'interdiction de toute construction dans des secteurs urbanisés ou partiellement construits n'ayant pas fait l'objet d'une étude préalable et d'un schéma d'aménagement global définis dans les conditions à suivre ;*
- *Toute opération d'aménagement ou tout aménagement global devra faire l'objet d'une étude préalable par un bureau d'études qualifié, afin de maîtriser les risques de mouvements de terrain à l'échelle du versant. Cette étude visera à appréhender plus*

finement le risque, comportera des informations préliminaires sur la faisabilité géotechnique du projet (étude G1) et précisera :

- *Les conditions de faisabilité, de sécurité et de stabilité du projet au regard de la nature du terrain, de sa topographie et des aléas présents ;*
- *Les dispositions architecturales et constructives à adopter au regard des aléas présents en tenant compte, lorsque c'est le cas, de la concomitance des aléas sismique et inondation ;*
- *L'impact des aménagements et des constructions projetées sur les terrains environnant, justifiant notamment la non aggravation des risques dans les zones construites.*

L'étude devra dans tous les cas définir les mesures de prévention et de protection à prévoir.

La réalisation d'ouvrages de protection nécessite de définir les conditions de réalisation et d'entretien de ces ouvrages permettant de leur assurer sécurité et fiabilité dans la durée.

- *Les constructions individuelles réalisées après aménagement préalable décrit au-dessus, devront être précédées d'une étude de faisabilité des ouvrages géotechniques de type G2 afin de définir les conditions de leur faisabilité au regard de la géologie et de la nature des sols.*
- *Les eaux récupérées par le drainage ainsi que les eaux pluviales éventuellement collectées et les eaux usées seront évacuées dans les réseaux existants ou vers un émissaire naturel capable de recevoir un débit supplémentaire sans aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux (augmentation de l'érosion dans les exutoires naturels, saturation du réseau, inondation, glissement de terrain).*
- *Les ouvrages de collecte, de traitement et de rejet devront être entretenus et surveillés par leur propriétaire régulièrement et notamment après chaque forte précipitation.*
- *Des mesures devront être prises pour interdire l'accès et garantir une évacuation rapide des zones de stationnement collectif en cas d'alter ou en période de crise. Des panneaux signalétiques devront informer les usagers de risques potentiels.*

4.3. CONTRAINTES SPÉCIFIQUES FAIBLES

Sur la zone bleue claire, ce sont les aléas de liquéfaction des sols, de zone de faille et de sismicité régionale qui ont induit ce niveau de réglementation en tant que contraintes spécifiques faibles. D'après le PPRN de la commune de Bouillante, la réglementation des zones bleues claires où s'appliquent les contraintes spécifiques faibles impose pour la parcelle AO 196 :

- *L'interdiction des exhaussements de terrain (remblais, digues), sauf s'ils sont de nature à abaisser le risque collectif encouru par les constructions existantes. L'impact et les mesures compensatoires seront définies sur la base de l'étude hydraulique et de danger ;*
- *Toute construction ou aménagement nouveau devra être réalisé dans le respect des règles parasismiques et paracyloniques en vigueur au moment de l'instruction du dossier en veillant à la définition de fondations adaptées. Elle devra faire l'objet au préalable d'une étude géotechnique (mission normalisée de type G1) afin de :*
 - *Définir les conditions de sa faisabilité au regard de la géologie et de la nature des sols ;*
 - *Préciser le risque lié à la liquéfaction ;*
 - *Définir les paramètres à prendre en compte pour le dimensionnement des constructions en tant compte des aléas présents (zones de failles et d'instabilités*

de pentes ici) et des aménagements extérieurs (excavation, talus, terrassements, drainage, ouvrages de franchissement de fossés etc.)

L'objectif de cette prescription est d'adapter les bâtiments futurs à la nature du terrain et de définir les mesures compensatoires actives ou passives permettant soit de minimiser les aléas, soit de définir les mesures permettant de s'affranchir de leurs effets.

- *Les ouvrages de collecte, de transit et de rejet des eaux pluviales devront être entretenus et surveillés par leur propriétaire régulièrement et notamment après chaque forte précipitation.*
- *Des soutènements, dispositifs anti-érosion ou toute autre disposition assurant la stabilité doivent être envisagés pour tout talus de déblai de hauteur supérieure à 2 m. Les ouvrages de soutènement qui seraient nécessaires doivent être calculés suivant les règles de l'art, sous sollicitation sismique ;*
- *Lors de la création de talus de pente supérieure à 33°, des mesures de protection des personnes et des biens doivent être recherchées par le maître d'ouvrage :*
 - *Mesures actives telles que l'équipement des talus avec des grillages, boulonnages, ... etc. ;*
 - *Mesures passives telles que des murs et clôtures renforcés.*

Dans tous les cas, les terrassements ou talutages seront réalisés avec des soutènements dimensionnés et adaptés au contexte géotechnique et géologique et seront drainés.

5. Compléments suite à la visite de terrain du 17 janvier 2018

5.1. CONCERNANT LES MANIFESTATIONS HYDROTHERMALES DE SURFACE

Les éléments bibliographiques présentés au § 2.3 sont en partie confirmés : Lors de notre visite sur site, nous avons effectivement observé plusieurs évidences d'activités hydrothermales de surface : sources chaudes, fumerolles (Illustration 16) et zone assez circonscrite de végétation brûlée très probablement par la chaleur dégagée du sol ou le dégazage diffus à travers le sol (Illustration 17). Cette activité hydrothermale intense même si très localisée peut fortement dégrader les propriétés mécaniques des terrains au droit de la parcelle AO 196.



Illustration 16 : Fumerolles sur la parcelle AO n° 196

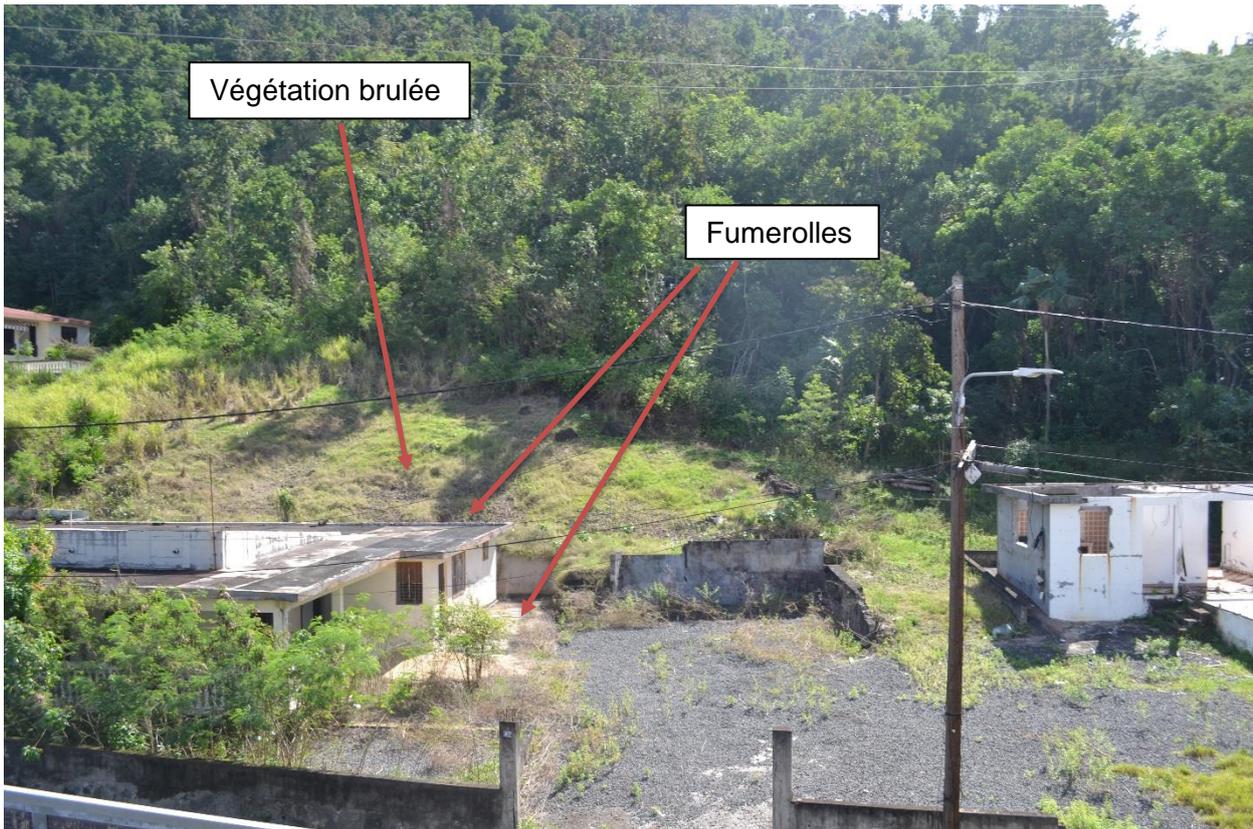


Illustration 17 : Localisation des fumerolles sur la parcelle AO 196 et de la végétation brûlée par l'hydrothermalisme

5.2. CONCERNANT L'ALÉA MOUVEMENT DE TERRAIN

La visite de terrain effectué le 17 janvier 2018 a permis d'observer sur le site deux types d'aléas mouvement de terrain, relatifs aux chutes de blocs d'une part et aux glissements de terrain d'autre part.

Concernant les chutes de blocs, l'ensemble de la parcelle est jonché de blocs, majoritairement inférieurs ou égaux à 1 m³. On les retrouve du haut de la parcelle jusqu'à la limite entre la forêt et les habitations, à environ 20 m de la route (Illustration 18). Des blocs de 1 à 3 m³ sont également présents en partie amont du terrain (Illustration 19).



Illustration 18 : Blocs chutés à la limite des habitations et de la partie densément végétalisée



Illustration 19 : Blocs chutés dans le secteur amont aux habitations de la parcelle AO n° 196

Concernant l'aléa glissement de terrain, un évènement relativement récent (mais non daté) a pu être observé. Sa cicatrice d'arrachement présente un affaissement de 30 à 50 cm de hauteur sur environ 14 m de largeur (Illustration 20) et met à nu des systèmes racinaires. La zone de décrochement est située en amont à environ 20 m des habitations (Illustration 21). Le front de ce glissement est situé à quelques mètres derrière les habitations (Illustration 22).

L'observation de ce glissement s'est limitée à la parcelle AO 196. Il est à attendre que le glissement se prolonge sur la parcelle voisine au sud-ouest.



Illustration 20 : Zone de décrochement du glissement de terrain observé



Illustration 21 : Front du glissement de terrain

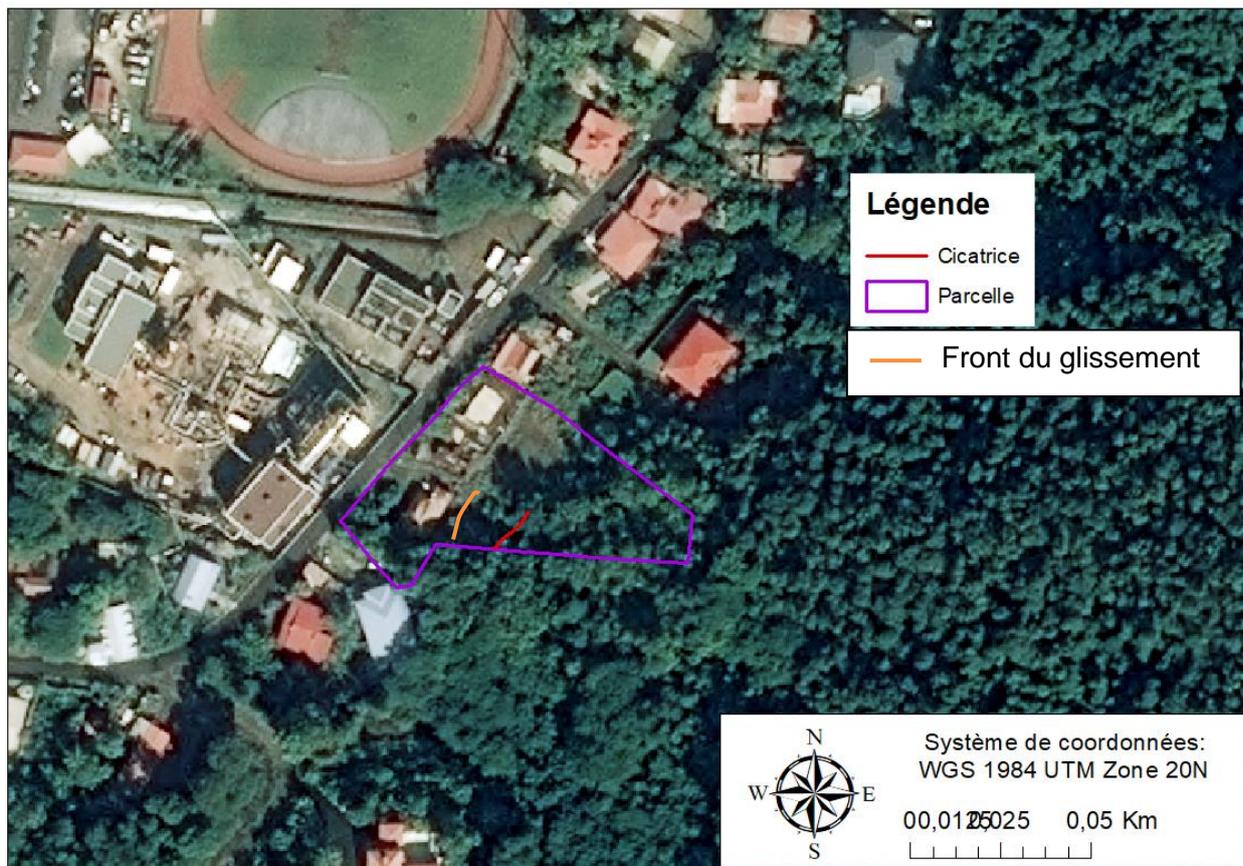


Illustration 22 : Localisation du glissement de terrain observé sur la parcelle n° AO 196

6. Recommandations du BRGM

6.1. DANS LA ZONE DE CONTRAINTES SPÉCIFIQUES FORTES

Dans cette zone, deux aléas mouvement de terrain seront à prendre en compte au cours des études géotechniques normalisées (norme NFP 94-500 de novembre 2013) G1 et G2 imposées par la réglementation en vigueur : les chutes de blocs et les glissements de terrain. Ces études devront prendre en compte l'ensemble de la configuration du projet, en particulier le terrassement et le défrichage envisagés.

Pour ce qui concerne l'aléa glissement de terrain :

- L'aléa glissement de terrain majeur résiduel depuis le sommet jusqu'au pied de versant n'est pas nul, la coulée recensée au sud du versant en témoigne : il reste à être qualifié par la mission géotechnique G1 (étude géotechnique préalable) afin de pouvoir caractériser le phénomène supposé et la période de retour estimative sur la parcelle AO 196 d'un évènement similaire (cf. glissement de terrain majeur ancien supposé mentionné en contexte géomorphologique (Illustration 4)) ;
- ⇒ L'aléa glissement de terrain « classique » est quant à lui avéré (indices de mouvement récent) mais n'est pas qualifié par cette étude. Il devra être qualifié par les missions géotechniques G1 et G2 et la zone d'atteinte des masses mobilisées devra être estimée en prenant en compte les aménagements prévus par Géothermie Bouillante.
- ⇒ L'étude géotechnique G1 devra donc inclure une évaluation approfondie de la stabilité des terrains. Pour rappel du règlement du PPRn, cette évaluation est à faire « *à l'échelle du versant* » et prendra donc en compte les glissements de terrain majeurs et classiques pouvant affecter le versant. Elle devra par ailleurs tenir compte de caractéristiques géotechniques a priori dégradées (terrains ayant déjà glissés et étant affectés par l'hydrothermalisme).
L'étude géotechnique G2 (étude géotechnique de conception) devra définir les mesures de prévention et de réduction du risque glissement de terrain en prenant bien en compte les divers aménagements prévus par Géothermie Bouillante. Dans cette optique, elle considèrera également l'activité des zones hydrothermales dans le cas où elles seraient situées à proximité d'aménagements de protection, afin qu'elle n'entrave pas le bon fonctionnement des parades (oxydation, corrosion, ...) face aux aléas mouvements de terrain.

Pour ce qui concerne l'aléa chutes de bloc :

- Cet aléa est avéré en partie amont comme en témoigne les nombreux blocs vus sur le terrain. Il reste toutefois à être précisé sur la zone du projet.
- ⇒ La mission géotechnique G1 devra analyser le risque de chute de blocs sur l'ensemble de la parcelle AO 196 en prenant en compte les aménagements et les éventuels défrichages et modifications de topographie envisagés par Géothermie Bouillante. La mission géotechnique G2 définira les mesures de protection et de réduction du risque chutes de blocs sur la parcelle AO 196 en prenant en compte les aménagements et les éventuelles modifications de topographie du site.

6.2. DANS LA ZONE DE CONTRAINTES SPÉCIFIQUES FAIBLES ET L'ENSEMBLE DES AUTRES ZONES

Le niveau de protection parasismique des bâtiments doit être modulé en fonction de l'enjeu associé. Une classification des bâtiments en catégories d'importance est donc établie en fonction du risque pour la sécurité des personnes et le risque socio-économique que représenterait leur défaillance. L'article R.563-3 du Code de l'Environnement définit 4 catégories d'importance pour les ouvrages « à risque normal ». L'interprétation de la réglementation permet de caractériser la plate-forme de forage comme catégorie d'importance II : « les bâtiments destinés à l'exercice d'une activité industrielle pouvant accueillir simultanément un nombre de personnes au plus égal à 300 ».

Aux Antilles (zone de sismicité 5) le dimensionnement des bâtiments neufs doit tenir compte de l'effet des actions sismiques pour les structures de catégories d'importance II, III et IV avec l'application obligatoire de l'Eurocode 8 ou de règles simplifiées pour la construction de bâtiments simples (dites CPMI) ne nécessitant pas de calculs de structures approfondis. Ce sont ces règles qui devront être appliquées pour les constructions envisagées (bâtiments techniques, têtes de puits, canalisations) dans cette zone.

La prise en compte de l'aléa liquéfaction est également traitée dans l'Eurocode 8 ou le guide de construction dit CPMI. Elle nécessite la réalisation et l'analyse d'investigations géotechniques, en particulier des sondages spécifiques (de type SPT ou CPT) descendus jusqu'au substratum rocheux ou à 20 m de profondeur et éventuellement la prise d'échantillons de sol en vue de leur analyse en laboratoire.

Conformément au règlement du PPRn, la mission géotechnique G1 prendra en compte l'ensemble des aménagements et des modifications topographiques éventuelles prévus par Géothermie Bouillante dans l'optique « *d'abaisser le risque collectif encouru par les constructions existantes* ».

7. Conclusion

La parcelle AO 196 peut se diviser en 3 secteurs plus ou moins parallèles à la rue Vanier et représentatifs du zonage réglementaire issu du Plan de Prévention des Risques naturels (PPRn) de la commune de Bouillante approuvé en 2007.

- Le secteur aval est soumis à l'aléa faible de liquéfaction des sols, à l'aléa sismique faible et à l'aléa faible zonage de faille. La réglementation du PPRN de la commune de Bouillante prévoit que cette zone soit soumise à des contraintes spécifiques faibles, imposant de mener une mission géotechnique normalisée de type G1 par un bureau d'études spécialisé afin de :
 - Mieux contraindre la nature géologique et le degrés d'altération du sous-sol ;
 - Préciser le risque lié à la liquéfaction ;
 - Définir les paramètres à prendre en compte pour le dimensionnement des constructions.

- Le secteur central est soumis à l'aléa moyen de mouvements de terrain. L'analyse documentaire a montré l'existence potentielle d'un ancien glissement de terrain majeur à cet endroit. Le diagnostic de terrain a par ailleurs révélé que deux phénomènes ont été observés sur site : des chutes de blocs et un glissement de terrain. La réglementation du PPRN de la commune de Bouillante impose que ce secteur soit soumis à des contraintes spécifiques fortes, comprenant notamment de mener deux missions géotechniques normalisées (norme NF P 94-500) de types G1 et G2 par un bureau d'études spécialisé. Ces missions devront prendre en compte les divers aménagements prévus par Géothermie Bouillante afin de s'assurer que les ouvrages de protection pourront réduire le risque de mouvements de terrain et que les dimensionnements seront adéquats.

La mission géotechnique normalisée G2 permettra de définir les ouvrages de protection face aux risques de mouvement de terrain adaptés aux caractéristiques géologiques, au degré d'altération hydrothermale probable et aux conditions d'écoulement des eaux de ruissellement du site.

- Le secteur complètement à l'amont du site est soumis à l'aléa mouvement de terrain fort et le rend inconstructible d'après le règlement du PPRN.

D'une façon générale, le bon fonctionnement du réseau de gestion des eaux du site sera à assurer et à surveiller régulièrement. Des affichages informant les usagers des risques auquel le site est exposé seront mis en évidence de façon accessible à tous.

L'analyse effectuée dans ce rapport est basée sur le PPRn de la commune de Bouillante approuvé en 2007. Il est important de rappeler qu'en cas d'approbation du nouveau PPR (dont la révision est en cours) avant la réalisation des aménagements prévus par Géothermie Bouillante, il conviendra d'adapter la réalisation et le dimensionnement des travaux à la réglementation en vigueur du nouveau PPR approuvé.

Pour rappel, l'ensemble de la Guadeloupe, et donc la parcelle d'AO 196, est située par l'EuroCode 8 dans la zone sismique notée 5 (forte sismicité), et dans la zone de vents forts, notée 5 d'après la norme NV 65.

8. Bibliographie

GEOTER et ACSES, *Plan de Prévention des Risques de la commune de Bouillante*, approuvé par la préfecture de Guadeloupe en 2007.

R. PEDREROS, M. TERRIER et B. POISSON (2007) – Tsunamis : étude de cas au niveau de la côte antillaise française - Rapport de synthèse, Rapport BRGM-RP-55795-Fr Décembre 2007.

A. DE REYNAL DE SAINT-MICHEL, Carte géologique de la Basse-Terre au 1/50 000^{ème}, Département de la Guadeloupe, BRGM, 1966.

O. SEDAN et M. TERRIER, avec la collaboration de F. MACIEJAK et F. DURAND, *Atlas Communal des risques naturels, commune de Bouillante, Guadeloupe*, RR-36374-FR ANT4S92 Décembre 1992.

H. TRAINEAU, *Memo rapide concernant les informations disponibles sur le sous-sol du site de la centrale de Bouillante*, CFG Services, 2010



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Guadeloupe

ZAC Colin la Lézarde

97170 – Petit-Bourg – France

Tél. : 05 90 41 35 48