



# **Demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers pour la construction et l'exploitation d'une nouvelle unité de production électrique B1bis**

*Réponses à l'avis délibéré de la Mission Régionale d'Autorité Environnementale (MRAe)*



Rapport n°113279/version A– Octobre 2021

## Sommaire

1.	Contexte .....	3
2.	Réponses aux observations et recommandations de la MRAe .....	4

### Table des annexes

Annexe I :	Avis délibéré de la Mission Régionale d'Autorité environnementale
Annexe II :	Inventaire des espèces coralliennes rencontrées sur les transects ( 60m/ station) et statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2017
Annexe III :	Etat initial sonore de la station de pompage
Annexe IV :	Modélisation de panache thermique en mer dans la Baie de Bouillante en Guadeloupe
Annexe V :	Méthodologie Etude d'impact au sein du résumé non technique
Annexe VI :	Trafic routier 2018
Annexe VII :	Justification du choix de la localisation du projet B1bis
Annexe VIII :	Eléments permettant de vérifier l'état de la nappe phréatique
Annexe IX :	Taux d'émission de CO <sub>2</sub>
Annexe X :	Suivi énergétique
Annexe XI :	Détails du budget du projet
Annexe XII :	Justification température de rejet et chimie du rejet en milieu marin
Annexe XIII :	Forages (description, impact)
Annexe XIV :	Complétude Etude d'impact sur l'environnement-Volet marin
Annexe XV :	Complétudes de l'analyse d'impact du projet en phase travaux sur la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre.

## 1. Contexte

La société Géothermie Bouillante a déposé un dossier de Demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers pour la construction et l'exploitation d'une nouvelle unité de production électrique B1bis sur la commune de Bouillante (97125).

La Mission Régionale d'Autorité environnementale (MRAe) a été saisie pour avis par le service Risque Energie Déchets (RED) de la DEAL chargé de l'instruction du dossier de Demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux (DAOTM). Le dossier, jugé complet, a été réceptionné par l'autorité environnementale le 19 juillet 2021. Après examen, la MRAe a établi son avis via le rapport référencé MRAe2021APGUA2 (cf Annexe 1). Cet avis, portant sur l'étude d'impact du dossier, constitue un avis spécifique et indépendant, qui ne préjuge en rien des décisions d'autorisation prises par l'autorité compétente.

**Le présent document a ainsi pour objectifs d'apporter les réponses et compléments à l'avis de la MRAe pour le projet B1bis.**

*Il est rappelé ici que, pour tous les projets soumis à évaluation environnementale, une «autorité environnementale» désignée par la réglementation doit donner son avis et le mettre à disposition du maître d'ouvrage, de l'autorité décisionnaire et du public. Cet avis ne porte pas sur l'opportunité du projet mais sur la qualité de l'évaluation environnementale présentée par le maître d'ouvrage, et sur la prise en compte de l'environnement. Il n'est donc ni favorable, ni défavorable. Il vise à permettre d'améliorer la conception projet et la participation du public à l'élaboration des décisions qui portent sur celui-ci. Conformément à l'article L.122-1-VI du code de l'environnement, le maître d'ouvrage est tenu de mettre à disposition du public sa réponse écrite à l'Autorité environnementale au plus tard au moment de l'ouverture de l'enquête publique prévue à l'article L. 123-2 ou de la participation du public par voie électronique prévue à l'article L. 123-19.*

## 2. Réponses aux observations et recommandations de la MRAe

Partie concernée de l'étude d'impact du DAOTM	Observations MRAe (Rapport MRAe2021APGUA2)	Réponses apportées	Commentaires
1	<p>Procédures relatives au projet</p> <p><u>Page 12/26</u> Le dossier indique (p.188 de l'étude d'impact) : « le défrichage et le terrassement des sols ont déjà fait l'objet d'une autorisation dans le cadre de la demande de DAOTM pour la réalisation de deux forages BO-11 et BO-12. L'autorisation concernait une surface de 3 000 m<sup>2</sup> sur la parcelle AO764 (ex parcelle AO413) ce qui correspond à la surface prévue pour l'aménagement de la future unité B1bis » Or l'arrêté DEAL du 20 décembre 2019 portant autorisation d'ouverture des travaux miniers en vue de réaliser ces deux forages indique dans son article 4 : « La présente autorisation ne vaut pas permis de construire, ni autorisation de défrichement. Le cas échéant, les contacts appropriés sont pris au moins trois mois avant le début des travaux avec l'office national des forêts pour une visite préalable ».</p> <p><b>La MRAe rappelle au pétitionnaire qu'il s'était engagé en 2019 à déposer un dossier de demande de dérogation à la protection des espèces et par ailleurs, une demande d'autorisation de défrichement auprès des services de l'État.</b></p>	<p>Géothermie Bouillante s'engage à mettre en œuvre une séquence Eviter-Réduire-Compenser propre aux espèces concernées. Ces mesures sont présentées au sein de l'étude d'impact et du présent document (cf points 18 et 19 du présent document). On peut mentionner en particulier les mesures « MC1 Protection des terrains boisés » et MC2 « Extension de la protection des boisements ».</p>	/
2	<p>Résumé non technique</p> <p><u>Page 13/26</u> <b>La MRAe recommande de compléter le résumé non technique par un résumé de la méthodologie d'élaboration de l'étude d'impact afin d'aider le public à comprendre la démarche globale avant de prendre connaissance des éléments détaillés contenus dans l'étude d'impact.</b></p>	<p>Complétude du résumé non technique par un résumé de la méthodologie d'élaboration de l'étude d'impact afin d'aider le public à comprendre la démarche globale avant de prendre connaissance des éléments détaillés contenus dans l'étude d'impact (cf annexe du présent document).</p>	/
3	<p>Incidences négatives notables attendues du projet sur l'environnement</p> <p><u>Page 14/26</u> L'étude d'impact comprend toutes les rubriques requises à l'article R.122-5 du code de l'environnement et rappelées à la page 13 du rapport, à l'exception du point 6 qui requiert « une description des incidences négatives notables attendues du projet sur l'environnement qui résultent de la vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs en rapport avec le projet concerné ». L'étude d'impact devra être complétée sur ce point.</p>	<p>L'étude d'impact traite des incidences notables attendues du projet sur l'environnement qui résultent de la vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs, en particulier à travers les paragraphes 2. Etude d'impact du projet sur l'environnement, 4. Analyse des effets sur l'environnement et propositions de mesures environnementales (4.2.13. Impact sur les risques majeurs), 5. Analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus.</p>	/
4	<p>Modélisation panache thermique en mer</p> <p><u>Page 14/26</u> Des études ont été réalisées spécifiquement pour ce projet et les rapports correspondants ont été annexés à l'étude d'impact. On y trouve notamment un rapport sur la modélisation de panache thermique en mer dans la baie de Bouillante réalisé par Créocéan en juin 2021. Les légendes des figures (2.1 / 2.2) de ce rapport ne semblent pas cohérentes et ne permettent pas d'appréhender correctement les informations présentées. Bien que signalé provisoire, le rapport semble mettre en évidence que les conditions de rejet futures relatives au panache thermique améliore globalement les conditions de dilution en zone proche de rejet. Il est donc indispensable de mettre à la disposition du public le rapport définitif afin d'appréhender au mieux les résultats de cette étude. <b>La MRAe recommande de mettre à disposition du public le rapport définitif relatif à la modélisation de panache thermique en mer dans la baie de Bouillante afin de permettre au public d'appréhender au mieux les résultats de cette étude.</b></p>	<p>Intégration du rapport définitif (cf annexe du présent document).</p>	/
5	<p>Milieu physique</p> <p><u>Page 15/26</u> <u>Contexte hydrographique</u> Selon le rapport (p.104), des rejets ponctuels de fluide géothermal ont lieu dans la Ravine Blanche souvent à sec (cours d'eau non permanent) puis ce fluide s'infiltré dans le lit de la Ravine Blanche jusqu'au niveau de la nappe phréatique. Le rapport ajoute qu'au niveau du bourg de Bouillante, la nappe phréatique est largement contaminée par des remontées de fluide géothermal. Cette affirmation n'est pas démontrée dans les documents. <b>La MRAe recommande d'apporter les éléments permettant de vérifier l'état de la nappe phréatique au niveau du bourg de Bouillante.</b></p>	<p>Intégration des éléments permettant de vérifier l'état de la nappe phréatique au niveau du bourg de Bouillante (cf annexe du présent document)</p>	/

Partie concernée de l'étude d'impact du DAOTM	Observations MRAe (Rapport MRAe2021APGUA2)	Réponses apportées	Commentaires
6 Gaz à effet de serre et énergie	<p><u>Page 16/26</u>  <u>Emission de gaz à effet de serre et consommation d'énergie</u>            Le rapport indique (page 202) que la société Géothermie Bouillante ORMAT réalise déjà un suivi de consommation des énergies au sein du site. Il aurait été utile de fournir les résultats de ce suivi pour avoir une valeur de la consommation actuelle des énergies au sein du site ce qui correspondrait à la valeur de l'état initial de la consommation d'énergie avant la mise en œuvre du projet.</p> <p>Il aurait été utile également de fournir des informations sur les émissions de gaz à effet de serre liées à la production de l'électricité à partir des différentes sources d'énergie pour montrer l'impact de la production de l'électricité à partir des ressources géothermiques sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Selon la base carbone de l'Ademe ces émissions sont en moyenne de 55gCO<sub>2</sub>e /KWh au niveau national et les émissions moyennes de l'électricité produite à partir de ressources géothermiques seraient en moyenne de 45gCO<sub>2</sub>e /KWh.</p> <p><b>La MRAe recommande de compléter les informations sur le climat en indiquant :</b>  <b>- les résultats du suivi de la consommation énergétique au sein du site de la centrale géothermique</b>  <b>- les émissions de gaz à effet de serre liées à la production de l'électricité à partir des ressources géothermiques ;</b></p>	<p>Intégration (cf annexe du présent document) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- des résultats du suivi de la consommation énergétique au sein du site de la centrale géothermique</li> <li>- des informations sur les émissions de gaz à effet de serre liées à la production de l'électricité à partir des différentes sources d'énergie pour montrer l'impact de la production de l'électricité à partir des ressources géothermiques sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre.</li> </ul>	/
7 Milieu naturel marin	<p><u>Page 17/26</u>            Les documents apportent des informations qui peuvent être contradictoires en ce qui concerne les conditions de rejet futures.            L'étude d'impact stipule à la page 49 que la température finale de l'effluent est inférieure à 45 °C à la sortie du premier préchauffeur lorsque l'eau séparée est mélangée avec les effluents de l'unité. Ceci est en inadéquation avec les résultats des analyses réalisées en septembre 2020 sur les eaux en sortie de canal (présentées page 147) qui ont révélé une température de 45,9 °C.            Par ailleurs, à la page 61 de l'étude d'impact, il est stipulé que l'eau séparée sera acidifiée avec de l'acide (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pour abaisser le pH et qu'une fraction de cette eau séparée, légèrement acidifiée, sera mélangée à l'eau de mer dans le condenseur atmosphérique avant rejet dans le milieu marin avec un facteur de dilution de 40, n'entraînant pas de modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer. Or, le tableau présent à la page 147 de l'étude d'impact semble mettre en évidence que le rejet a un impact sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux marines de surface sur une bonne partie de la baie pour plusieurs éléments tels que : les silicates dissous, l'ammonium (NH<sub>4</sub>), le manganèse (Mn), le baryum (Ba), le lithium (Li), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le zinc (Zn).</p> <p><b>La MRAe recommande d'apporter les clarifications nécessaires afin de lever les contradictions qui peuvent apparaître au sujet des conditions de rejet futures.</b></p>	<p>Intégration des clarifications nécessaires afin de lever les contradictions qui peuvent apparaître au sujet des conditions de rejet futures (cf annexe du présent document).</p>	/
8 Milieu naturel marin	<p><u>Page 17/26</u>            Le rapport de suivi des biocénoses marines de la baie de Bouillante réalisé en juin 2021 révèle la présence d'espèces protégées de coraux aux stations étudiées (<i>Orbicella annularis</i>, <i>Orbicella faveolata</i>, <i>Agaricia sp.</i>). Néanmoins, cet inventaire ne présente pas la liste exhaustive des espèces de coraux retrouvées sur les stations prospectées alors même que la richesse spécifique est précisée.            La liste de l'ensemble des espèces de coraux identifiées doit être transmise et, le cas échéant, le Maître d'ouvrage doit solliciter l'octroi d'une dérogation à la protection des espèces si un impact est prévu.</p> <p><b>La MRAe recommande de compléter l'état initial par la liste de l'ensemble des espèces de coraux retrouvées sur les stations prospectées dans le cadre du suivi des biocénoses marines.</b></p>	<p>L'état initial est complété par la liste de l'ensemble des espèces de coraux retrouvées sur les stations prospectées dans le cadre du suivi des biocénoses marines et leur statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2017 (cf annexe du présent document).</p>	/

Partie concernée de l'étude d'impact du DAOTM	Observations MRAe (Rapport MRAe2021APGUA2)	Réponses apportées	Commentaires
9 Milieu naturel terrestre	<p><u>Page 18/26</u> La synthèse des enjeux décrite dans le tableau page 14 de l'étude d'impact indique que l'enjeu sur la faune et la flore terrestre est jugé modéré compte tenu que les enjeux patrimoniaux faunistiques sont importants, mais la structure de la végétation est souvent dégradée par les activités anthropiques.</p> <p>La MRAe considère que, s'il est intéressant de prendre en compte la valeur patrimoniale des espèces retrouvées sur l'emprise des travaux, le classement réglementaire en tant qu'espèces protégées marines ou terrestres » (cf §IV.3.3 du présent avis) ne doit pas être sous-estimé mais doit impérativement être indiqué et traité dans l'étude d'impact. En particulier c'est un critère à prendre en compte impérativement dans l'évaluation de l'intensité des enjeux.</p> <p><b>La MRAe recommande de prendre en compte le critère de protection réglementaire dans l'évaluation de l'intensité des enjeux.</b></p>	L'étude d'impact est réalisé avec le concours des expertises faune-flore qui considèrent le classement réglementaire des espèces protégées dans les études présentées.	/
10 Milieu humain	<p><u>Page 18/26</u> L'enjeu lié au trafic routier est pris en compte (page 168). Le site de la centrale est desservi par la RN2 (boulevard de front de mer) qui constitue le principal axe de circulation aux abords du site. Le site de l'unité B1bis sera accessible par le chemin Descoude. En 2010, le trafic était estimé à 6799 véhicules par jour avec 0,43 % de poids lourds. L'enjeu « transport et circulation » est jugé faible en raison du trafic modéré voire faible sur la RN2. Toutefois, Il aurait été intéressant d'avoir une estimation plus récente.</p>	L'estimation du trafic de « 6799 véhicules par jour, avec 0,43 % de poids lourds », a été vérifiée. Cette estimation (source : Observatoire Régional des Transports) date en réalité de 2018, elle est présentée sur la figure 99 de la page 169 de l'étude d'impact (cf annexe du présent document).	/
11 Milieu humain	<p><u>Page 18/26</u> En ce qui concerne l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) et les eaux de loisirs, l'étude précise que le secteur du bourg de Bouillante ne se situe pas à proximité d'un captage d'EDCH, notamment de celui de Trou à diable situé sur la commune (page 102). Le volet sur les eaux de loisirs n'a pas été abordé notamment avec le recensement des zones de baignade déclarées et contrôlées ainsi que la zone de baignade non déclarée mais très fréquentée au droit de l'émissaire du rejet en mer.</p>	A proximité immédiate du projet, les eaux de loisirs se résument à l'anse de Bouillante. Celle-ci est une zone de baignade non déclarée et non contrôlée. L'étude d'impact aborde le volet sur les eaux de loisirs, en particulier via les paragraphes « 4.2.6.Impact sur le milieu marin, 2.3.14.4 Tourisme et loisirs, 2.3.14.5.Pêche, 2.3.14.6.Baignade/plongée ».	/
12 Milieu Humain	<p><u>Page 19/26</u> L'analyse de l'environnement humain et industriel montre que plusieurs habitations sont situées à proximité immédiate du site de la centrale à moins de 10 m et à environ 30 m du site du plateau. Plusieurs établissements recevant du public sont présents à proximité du projet (page 157).</p> <p>Afin de caractériser l'environnement sonore des campagnes de mesures acoustiques ont été réalisées (page 171). L'étude d'impact acoustique est jointe en annexe. Un recensement des sources d'émissions sonores aurait pu être réalisé avec une description de l'ambiance sonore dans la zone concernée par le projet. Par ailleurs, l'environnement sonore au droit de la zone d'implantation de la station de pompage n'a pas été évalué.</p> <p><b>La MRAe recommande de compléter l'état initial par une description de l'ambiance sonore dans la zone concernée par le projet ainsi qu'une évaluation de l'environnement sonore au droit de la zone d'implantation de la station de pompage.</b></p>	Complétude de l'état initial au droit de la zone d'implantation de la station de pompage (cf annexe du présent document). L'ambiance sonore de la zone est principalement conditionnée par les activités environnantes décrites dans l'étude d'impact à travers les chapitres « 2.3.13.Population et habitat, 2.3.14.Activités économiques, équipements et services, 2.3.16.Infrastructures et transports, 2.3.17.Risques industriels et technologiques, 2.3.18.Commodité du voisinage ». Une nouvelle campagne de mesures acoustiques sera réalisée à la mise en exploitation des installations avec analyse de la conformité par rapport à la réglementation en vigueur (émergence, limite d'exploitation).	/
13 Justification de l'implantation du projet	<p><u>Page 20/26</u> La MRAe considère que le choix d'implantation du site du projet aurait dû indiquer qu'un premier site avait été choisi sur une parcelle proche du site principal et desservie par la rue Vannier mais cette variante a été abandonnée en raison de la présence d'un aléa liquéfaction sur la parcelle considérée.</p>	Justification de l'abandon du 1 <sup>er</sup> site en raison de la présence d'un aléa liquéfaction sur la parcelle considérée (AO196) en page 183 de l'étude d'impact (paragraphe 3.1.2.Justification du choix de la localisation pour l'unité B1bis). (cf annexe du présent document).	/

Partie concernée de l'étude d'impact du DAOTM	Observations MRAe (Rapport MRAe2021APGUA2)	Réponses apportées	Commentaires
14 Impact réalisation de forage	<p><u>Page 21/26</u> Les incidences présentées dans le dossier au titre des incidences en phase travaux sont celles liées aux travaux principaux de création de l'unité B1bis et aux travaux secondaires d'intégration de cette nouvelle unité de production à la centrale existante (avec notamment la pose de conduites de transport des fluides et la construction de la station de pompage). La MRAe note que l'étude d'impact ne fournit pas d'informations sur les modalités de réalisation du forage des puits pendant la phase travaux ni sur les impacts pouvant être observés. Elle rappelle que lorsqu'un projet est constitué de plusieurs travaux, installations, ouvrages ou autres interventions dans le milieu naturel ou le paysage, il doit être appréhendé dans son ensemble, y compris en cas de fractionnement dans le temps et dans l'espace [...] afin que ses incidences sur l'environnement soient évaluées dans leur globalité.</p> <p><b>La MRAe recommande de compléter l'analyse des impacts en indiquant les modalités de réalisation du forage des puits et en précisant les incidences liées à la réalisation de ces travaux.</b></p>	Description des modalités de réalisation du forage des puits et complétudes sur l'analyse des impacts. (cf annexe du présent document).	/
15 Milieu humain	<p><u>Page 21/26</u> L'analyse développée dans le dossier appelle les observations suivantes : - L'impact temporaire sur la qualité des eaux de baignade n'a pas été évalué. un affichage informant de la réalisation des travaux devra être mis en place à proximité de la zone de baignade non déclarée. - Le pétitionnaire devra s'assurer du respect des émergences pour les bruits de voisinage à la fois au cours de la phase travaux et de la phase d'exploitation (articles R. 1336-4 à R. 1336-13 du Code de la santé publique) ; - Le calcul des émergences de bruit a été réalisé uniquement pour les installations situées sur le site du plateau ; ce calcul aurait dû être conduit également pour les installations de la station de pompage et du système de refroidissement.</p> <p><b>La MRAe recommande de compléter l'analyse des impacts sur l'ambiance acoustique en calculant les émergences de bruit pour les installations de la station de pompage et du système de refroidissement.</b></p>	<p>Complétude de l'état initial au droit de la zone d'implantation de la station de pompage (cf annexe du présent document). Une nouvelle campagne de mesures acoustiques sera réalisée à la mise en exploitation des installations avec analyse de la conformité par rapport à la réglementation en vigueur (émergence, limite d'exploitation).</p> <p>Un affichage informant de la réalisation des travaux sera être mis en place à proximité de la zone de baignade non déclarée.</p>	Idem action 12.
16 Milieu physique	<p><u>Page 22/26</u> Le rapport indique (p.202) qu'en phase d'exploitation, le projet aura un impact négatif sur la consommation d'énergie et que cet impact est négligeable puisque les besoins électriques de la centrale seront couverts par une partie de l'énergie produite. L'Ae relève que les besoins électriques de la centrale ne sont pas quantifiés précisément : la part d'électricité consommée par chaque unité de la centrale (Bouillante 1, Bouillante 2 et B1bis) est donnée à titre indicatif mais l'énergie consommée par le fonctionnement des pompes eau de mer au niveau de la station de pompage, des compresseurs d'air, de l'éclairage du site de l'usine et des sites déportés n'est pas indiquée.</p> <p><b>La MRAe recommande de compléter l'analyse des impacts par des indications chiffrées de l'énergie consommée par le fonctionnement des pompes eau de mer au niveau de la station de pompage, des compresseurs d'air, de l'éclairage du site de l'usine et des sites déportés.</b></p>	<p>Intégration (cf annexe du présent document) : - des résultats du suivi de la consommation énergétique au sein du site de la centrale géothermique (station de pompage, des compresseurs d'air, de l'éclairage du site de l'usine et des sites déportés).</p>	Idem avec action 6.
17 Milieu physique	<p><u>Page 22/26</u> La consommation énergétique générée par la phase travaux n'a pas été prise en compte dans l'analyse des impacts du projet alors que ces travaux bien que temporaires sont prévus pour durer deux ans et demi ce qui n'est pas négligeable. Les émissions de gaz à effet de serre doivent être évaluées en prenant en compte notamment l'ensemble les émissions liées à l'utilisation et au transport des matériaux et les composantes du chantier (fonctionnement des installations, artificialisation des sols, éventuelles émissions de gaz carbonique et de méthane lors des forages des puits).</p> <p><b>La MRAe recommande de compléter l'analyse des impacts du projet en phase travaux sur la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre.</b></p>	Complétudes (cf annexe du présent document) de l'analyse d'impact du projet en phase travaux sur la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre.	/

Partie concernée de l'étude d'impact du DAOTM	Observations MRAe (Rapport MRAe2021APGUA2)	Réponses apportées	Commentaires
18 Milieu naturel	<p><u>Page 24/26</u></p> <p>L'impact du projet sur le milieu naturel marin en phase d'exploitation est jugé modéré. Deux mesures de réduction sont proposées pour limiter les impacts des effluents rejetés dans la baie de Bouillante : la diminution de 15% d'eau séparée rejetée à la mer par rapport à la situation actuelle (MR21) et la baisse de la température de rejet de 3°C de moins environ (MR20). Par ailleurs deux mesures qualifiées par l'auteur de l'étude de mesures d'accompagnement sont proposées alors qu'il s'agit de mesures de suivi qui doivent être réalisées afin d'évaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre en faveur de la flore et la faune marine : suivi de l'évolution de la biocénose (MA2), suivi de la qualité du rejet (température et chimie du fluide) (MA3). La modélisation du panache thermique en mer de Bouillante (MA4) est également proposée comme mesure d'accompagnement. La MRAe note que cette étude a été réalisée en 2021 pour étudier l'impact des modifications de conditions de rejet sur les conditions de dilution du panache thermique. Elle s'interroge sur la classification de cette étude en mesure d'accompagnement. La MRAe note que l'analyse de l'impact du projet sur le milieu naturel marin s'appuie sur un rapport provisoire de 2021 de Créocéan. Ce rapport semble mettre en évidence que les conditions de rejet futur relatives au panache thermique améliore globalement les conditions de dilution en zone proche de rejet. En outre, cette analyse fait référence au suivi des biocénoses marines de 2014 qui indique l'absence d'impact du rejet actuel sur l'état de santé des coraux. Or l'analyse des résultats du suivi des biocénoses marines réalisée en 2021 annexée à l'étude d'impact montre le contraire. Sur l'ensemble des 4 stations étudiées dans le cadre de ce suivi, des colonies coralliennes ont présenté des signes de maladies, voire une mortalité. De plus, si l'on considère un gradient du nord vers le sud de la baie, les stations étudiées présentent certains indicateurs de santé des biocénoses qui illustrent une perturbation croissante en corrélation apparente avec la proximité croissante vis-à-vis du rejet de la station géothermique (cf. le pourcentage de couverture corallienne et la richesse spécifique qui diminuent). Par ailleurs, la station 3 relativement proche du canal de rejet de la station géothermique présente un état de santé inquiétant des biocénoses coralliennes avec l'apparition d'algue du genre <i>Lobophora</i>, la présence de grandes plaques de cyanobactéries et une diminution importante de la population d'oursins diadèmes qui démontre une possible pollution organique. L'augmentation prévue de la surface du panache pourrait conduire à la mort de colonies coralliennes encore vivantes mais déjà fragilisées par une augmentation concomitante de certains facteurs de pression (via la présence de certains éléments, notamment métalliques et l'augmentation de la température de l'eau). Par conséquent des mesures convaincantes relatives à une séquence Eviter-Réduire-Compenser propre aux biocénoses coralliennes doivent être proposées.</p> <p><b>La MRAe recommande de mettre en œuvre une séquence Eviter-Réduire-Compenser propre aux biocénoses coralliennes afin de définir des mesures convaincantes.</b></p>	<p>Complétude de l'étude d'impact avec une séquence Eviter-Réduire-Compenser propre aux biocénoses coralliennes. (cf annexe du présent document).</p>	<p>/</p>
19 Milieu naturel terrestre	<p><u>Page 25/26</u></p> <p>Les mesures de compensation doivent être explicitées : l'état initial de la parcelle à mettre en protection, les outils de garantie de mise en œuvre, les indicateurs de suivi et de réussite pour la restauration de forêt doivent être définis. L'étude d'impact propose également d'éviter la pollution lumineuse, mais actuellement cette mesure n'est pas mise en œuvre (pages 28 et 29 de l'inventaire faune).</p> <p><b>La MRAe recommande d'une part, d'explicitier les mesures de compensation afin de garantir leur mise en œuvre et leur suivi et d'autre part, de s'engager sur l'application des mesures de réduction de la pollution lumineuse.</b></p>	<p><b>Compensation par restauration boisée</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compensation en nature</li> <li>- Compensation par des travaux de renaturation, restauration (génie écologique)</li> <li>- Echelle : plus près de la zone d'impact pour assurer une continuité écologique.</li> </ul> <p><b>Outils de suivi</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation d'outils nomades pour les contrôles d'évolution de la végétation</li> <li>- Géolocalisation des plantations, des parcelles restaurées (pour localiser les compensations)</li> </ul>	<p>/</p>

Partie concernée de l'étude d'impact du DAOTM	Observations MRAe (Rapport MRAe2021APGUA2)	Réponses apportées	Commentaires
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cartographie</li> <li>- Campagne de photographie régulière tous les 6mois</li> <li>- Suivi de la restauration des espaces naturels</li> <li>- Palette très variée d'espèces adaptées au milieu - mesures de gestion dans la durée.</li> <li>- Engagement juridique formalisé du maître d'ouvrage Géothermie Bouillante</li> <li>- Pérennité des milieux à restaurer (action de maîtrise foncière)</li> <li>- Inscription des mesures dans une base récapitulant les mesures compensatoires en précisant la date.</li> </ul> <p><b>Indicateurs</b></p> <p>Des indicateurs</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- seront relevés périodiquement sur le site restauré</li> <li>- permettront de vérifier la bonne trajectoire du site</li> <li>- répondront aux critères suivants: facile à mesurer, peu couteux, ne pas présenter de difficultés taxonomiques ou de difficultés de mesures, sensible aux mesures de restauration :             <ul style="list-style-type: none"> <li>o Budgets investis - Coûts de mise en œuvre</li> <li>o Fonctionnalité du cortège d'espèces de l'écosystème restauré</li> <li>o Approche espèce avec comme <b>indicateur des espèces cibles (espèce parapluie, ...)</b></li> <li>o Approche communauté végétale (avec <b>les indicateurs : diversité, richesse spécifique</b>)</li> <li>o Approche unité écologique ou paysagère (<b>gains de biodiversité</b>)</li> <li>o Approche à <b>différentes échelles temporelles</b> (Indicateur : 6 mois, 1 an, 2 ans, 3 ans, 4 ans, 5 ans, 6 ans)</li> <li>o <b>Mobilisation de compétences,</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ingénierie écologique,</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul> <p>Contrôle de l'Etat et les opérateurs de compensation (nombre de suivis et contrôles des mesures prescrites).</p> <p>Engagement de Géothermie Bouillante (Conseil d'administration) sur les mesures.</p> <p>L'étude d'impact mentionne la mesure « [MR18] Eviter la pollution lumineuse : trame noire » en pages 206 et 207. Il s'agit d'une mesure de réduction importante et qui peut être mise en place en réfléchissant sur les modalités d'éclairage. Il n'y aura pas d'activité sur le site la nuit mise à part des interventions ponctuelles. Aussi l'éclairage devra être circonscrit aux zones d'intervention et seulement être déclenché en cas de nécessité. Cela veut dire que le site pourra être maintenu dans l'obscurité et seules quelques veilleuses bien orientées assureront l'accessibilité à la zone et aux équipements de sécurité.</p> <p>Plusieurs règles simples seront appliquées pour diminuer la pollution lumineuse :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Limiter les points d'éclairages : n'éclairer que ce qui est nécessaire</li> <li>- Pas d'éclairage permanent : n'utiliser l'éclairage qu'en cas d'intervention : déclenchement des veilleuses lors d'accès au site et sur les zones d'intervention.</li> <li>- Bien orienter les faisceaux :             <ul style="list-style-type: none"> <li>o ne pas éclairer les milieux naturels</li> <li>o ne pas éclairer le ciel.</li> </ul> </li> </ul>	

Partie concernée de l'étude d'impact du DAOTM	Observations MRAe (Rapport MRAe2021APGUA2)	Réponses apportées	Commentaires	
20	Coût des mesures	<p><u>Page 25/26</u>            Le coût de l'ensemble des mesures proposées est estimé à 300 000 €. Le coût global du projet inclut le coût de ces mesures et s'élève à 57 millions d'euros. Il ressort que le coût des mesures représente 0,5 % du coût du projet.</p> <p>L'étude d'impact n'indique pas le coût du projet dans sa globalité ni le coût des mesures environnementales correspondant.</p> <p><b><i>La MRAe recommande de compléter l'étude d'impact par une appréciation des coûts du projet dans sa globalité</i></b></p>	<p>En phase d'études d'exécution, une étude d'éclaircissement spécifique sera réalisée.</p> <p>Intégration de l'appréciation des coûts du projet. (cf annexe du présent document).</p>	/



# ANNEXES

- Annexe I : Avis délibéré de la Mission Régionale d'Autorité environnementale
- Annexe II : Inventaire des espèces coralliennes rencontrées sur les transects ( 60m/ station) et statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2017
- Annexe III : Etat initial sonore de la station de pompage
- Annexe IV : Modélisation de panache thermique en mer dans la Baie de Bouillante en Guadeloupe
- Annexe V : Méthodologie Etude d'impact au sein du résumé non technique
- Annexe VI : Trafic routier 2018
- Annexe VII : Justification du choix de la localisation du projet B1bis
- Annexe VIII : Eléments permettant de vérifier l'état de la nappe phréatique
- Annexe IX : Taux d'émission de CO<sub>2</sub>
- Annexe X : Suivi énergétique
- Annexe XI : Détails du budget du projet
- Annexe XII : Justification température de rejet et chimie du rejet en milieu marin
- Annexe XIII : Forages (description, impact)
- Annexe XIV : Complétude Etude d'impact sur l'environnement-Volet marin
- Annexe XV : Complétudes de l'analyse d'impact du projet en phase travaux sur la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre.



Annexe I : Avis délibéré de la Mission Régionale d'Autorité environnementale



**MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**MRAe**

Mission régionale d'autorité environnementale

**Guadeloupe**

**Conseil général de l'Environnement  
et du Développement durable**

**Avis délibéré de la Mission régionale d'Autorité  
environnementale**

**Demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers pour  
la construction et l'exploitation d'une nouvelle unité de  
production électrique B1bis**

**Commune de Bouillante (97125)**

**N° : MRAe 2021APGUA2**

*L'avis de l'Autorité environnementale constitue un avis spécifique et indépendant, qui ne préjuge en rien des décisions qui pourraient être prises dans le cadre des procédures d'autorisation administrative auxquelles le projet est soumis.*

## PREAMBULE

**Objet :** Demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers pour la construction et l'exploitation d'une nouvelle unité de production électrique B1bis

**Maître d'ouvrage :** Société Géothermie Bouillante

**Procédure principale :** Demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers (DAOTM)

**Pièces transmises :** Dossier de DAOTM comprenant Étude d'impact

**Date de réception par l'Autorité environnementale :** 19 juillet 2021

Vu la consultation de l'Agence Régionale de Santé en date du 06 août 2021 et sa réponse datée du 16 août 2021 prise en compte dans le présent avis ;

Sur la base des travaux préparatoires du pôle d'appui à la Mission Régionale d'Autorité environnementale de la Direction de l'environnement de l'aménagement et du logement (DEAL) Guadeloupe ;

La Mission Régionale d'Autorité environnementale (MRAe) de Guadeloupe s'est réunie le 17 septembre 2021 à 14h. L'ordre du jour comportait, notamment, le présent avis.  
Étaient présents et ont délibéré : Patrick NOVELLO, Gérard BERRY et Christophe VIRET.

En application de l'article 9 du règlement intérieur du CGEDD, chacun des membres délibérants cités ci-dessus atteste qu'aucun intérêt particulier ou élément dans ses activités passées ou présentes n'est de nature à mettre en cause son impartialité dans l'avis à donner sur le projet qui fait l'objet du présent avis.

*Il est rappelé ici que, pour tous les projets soumis à évaluation environnementale, une «autorité environnementale» désignée par la réglementation doit donner son avis et le mettre à disposition du maître d'ouvrage, de l'autorité décisionnaire et du public. Cet avis ne porte pas sur l'opportunité du projet mais sur la qualité de l'évaluation environnementale présentée par le maître d'ouvrage, et sur la prise en compte de l'environnement. Il n'est donc ni favorable, ni défavorable. Il vise à permettre d'améliorer la conception projet et la participation du public à l'élaboration des décisions qui portent sur celui-ci.*

*Conformément à l'article L.122-1-VI du code de l'environnement, le maître d'ouvrage est tenu de mettre à disposition du public sa réponse écrite à l'Autorité environnementale au plus tard au moment de l'ouverture de l'enquête publique prévue à l'article L. 123-2 ou de la participation du public par voie électronique prévue à [l'article L. 123-19](#).*

## **SYNTHESE**

Le présent avis porte sur le projet de construction et d'exploitation d'une nouvelle unité de production électrique B1bis sur la commune de Bouillante, dossier présenté par la société Géothermie Bouillante. L'avis est rendu dans le cadre de la procédure d'autorisation d'ouverture des travaux miniers (DAOTM) .

Le projet fait suite à deux dossiers de DAOTM déposés par la société Géothermie Bouillante, en 2018 pour la réalisation de trois puits (BO8-BO9 et BO10) et 2019 pour deux puits (BO11 et BO12). La nouvelle unité de production électrique B1bis d'une capacité de 11,3 MWe bruts viendra renforcer les capacités actuelles de production des unités Bouillante 1 (4,5 MWe bruts) et Bouillante 2 (11 MWe bruts).

Le projet répond notamment à l'objectif régional de réduction de la dépendance énergétique de la Guadeloupe et de développement des énergies renouvelables.

Le projet consiste à réaliser des travaux principaux pour la création de l'unité B1bis et des travaux secondaires qui permettront l'intégration de cette nouvelle unité à la centrale existante avec en particulier la pose de conduites de transport des fluides et la construction de la station de pompage. La durée des travaux est estimée à deux ans et demi.

Les principaux enjeux environnementaux relevés par la MRAe concernent les thématiques suivantes :

- Biodiversité : la parcelle AO764(ancienne parcelle cadastrée AO413) concernée par le site de forage du puits BO12 et la plateforme où sera implantée la nouvelle unité B1bis abrite des espèces de flore et de faune protégées ;
- Eau : En phase d'exploitation, des effluents émanant de la centrale seront rejetés dans la baie de Bouillante ;
- Prévention des risques naturels : le projet est concerné par des zones d'aléas variant de faible à fort ;
- Odeur : Une fraction du fluide géothermal sera déchargée par un séparateur atmosphérique et est susceptible de dégager une odeur

- d'« oeuf pourri » liée à la présence d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) ;
- Bruit : En phase d'exploitation, des mesures devront être prises pour limiter les nuisances sonores susceptibles d'être générées par les équipements en fonctionnement ;
- Consommation énergétique et émissions de gaz à effet de serre : le projet contribue aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre ;

Le dossier soumis à l'avis de l'autorité environnementale comprend de nombreuses illustrations et tableaux globalement de bonne qualité ce qui en facilite la lecture et la compréhension, mais il comporte certains manquements.

La MRAe rappelle au pétitionnaire qu'il s'était engagé en 2019 à déposer un dossier de demande de dérogation à la protection des espèces et par ailleurs, une demande d'autorisation de défrichement auprès des services de l'Etat.

La MRAe recommande de :

- compléter l'état initial par une description de l'ambiance sonore dans la zone concernée par le futur projet ainsi qu'une évaluation de l'environnement sonore au droit de la zone d'implantation de la station de pompage.
- de compléter l'analyse des impacts en indiquant les modalités de réalisation du forage des puits et en précisant les incidences liées à la réalisation de ces travaux ;
- compléter l'analyse des impacts du projet en phase travaux sur la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre.
- de mettre en œuvre une séquence Eviter-Réduire-Compenser propre aux biocénoses coralliennes afin de définir des mesures convaincantes.

L'ensemble des observations et recommandations de la MRAe est présenté dans l'avis détaillé ci-après. L'étude d'impact devra être actualisée afin de les prendre en compte .

# **AVIS DETAILLE**

## **I PRESENTATION DU PROJET ET DE SON CONTEXTE**

### **I.1 Cadre juridique**

La Mission régionale d'Autorité environnementale (MRAe) a été saisie pour avis par le service Risque Energie Déchets (RED) de la DEAL chargé de l'instruction du dossier de Demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers (DAOTM) pour la construction et l'exploitation d'une nouvelle unité de production électrique B1bis, projet porté par la société Géothermie Bouillante.

Le dossier jugé complet a été reçu le 19 juillet 2019. Ce dossier, incluant une étude d'impact, est soumis à l'avis de l'Autorité environnementale qui doit rendre un avis dans un délai de deux mois à compter de la date de réception du dossier complet, conformément aux articles L122-1 et suivants et R122-1 et suivants du code de l'environnement.

Le présent avis est établi par la Mission régionale d'Autorité environnementale. L'avis de l'Autorité environnementale est la traduction des engagements pris aux niveaux national et européen, concernant l'accès au public à l'information en matière d'environnement.

Le présent avis porte sur la version de juin 2021 de l'étude d'impact jointe au dossier de demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers.

L'avis porte sur la qualité du dossier d'étude d'impact, et sur la prise en compte de l'environnement dans le projet. Il est formulé au titre de l'article R122-2 du code de l'environnement, dans le cadre de la procédure spécifique d'évaluation environnementale du projet qui s'attache à examiner tous les impacts environnementaux de celui-ci et les enjeux corrélés.

L'avis ne préjuge en rien de la décision d'autorisation prise par l'autorité compétente.

## I.2 Contexte et localisation du projet

La société Géothermie Bouillante est détentrice d'une concession de gîtes géothermiques à haute température dite « Concession de Bouillante », qui lui a été accordée par décret en date du 17 juin 2009 pour une durée de 50 ans. L'exploitation géothermique est située sur la commune de Bouillante, au sud ouest de la Guadeloupe.



*(source : dossier DAOTM, comme pour toutes les illustrations de cet avis sauf mention contraire explicite)*

L'exploitation géothermique de Bouillante comporte actuellement un site principal et quatre sites déportés.

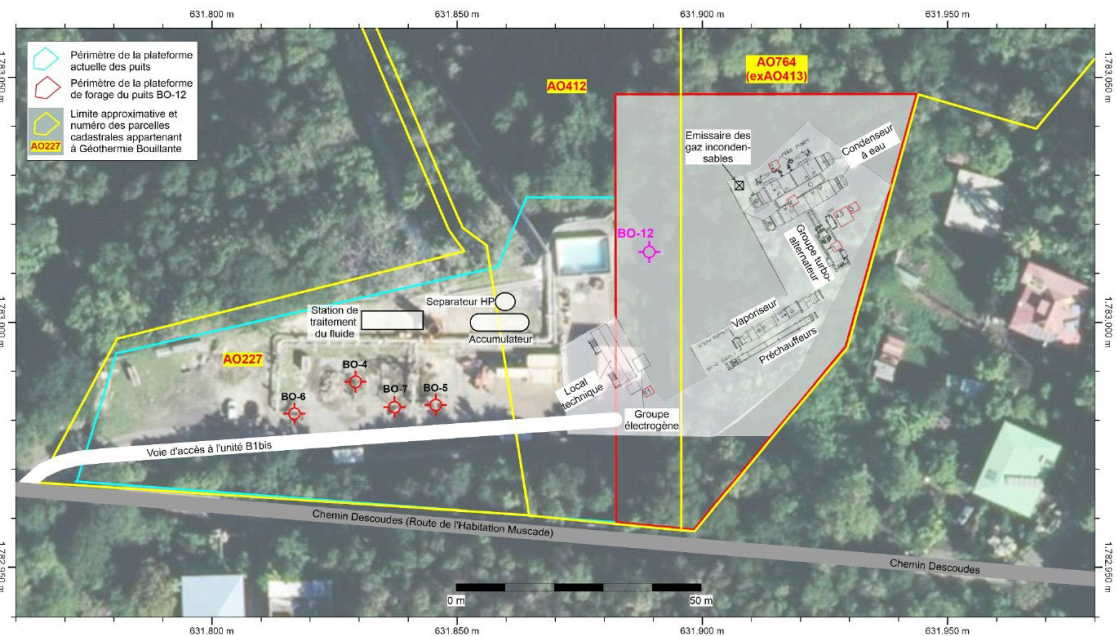
- la plateforme des puits à « Plateau » sur laquelle sont implantés quatre puits

(BO4-BO5, BO-6 et BO-7) ;

- un réseau de conduites de transport des fluides reliant la plateforme des puits au site de l'usine ;
- le site principal de l'usine abritant les deux unités Bouillante 1 et Bouillante 2 ainsi que leurs auxiliaires (condenseurs, ballons déshumidificateurs), le puits BO-2 et l'installation de réinjection des fluides, les ateliers et les bureaux ;
- la station de pompage en eau de mer, située en bord de mer, comportant un canal d'amenée et deux bâtiments abritant les pompes, reliés au site de l'usine par des conduites souterraines ;
- le canal de rejet des effluents de la centrale qui emprunte un ancien fossé et débouche en mer derrière le bar des Sources Chaudes.



La nouvelle unité de production électrique B1bis d'une capacité de 11,3 MWe bruts viendra renforcer les capacités actuelles de production des unités Bouillante 1 (4,5 MWe bruts) et Bouillante 2 (11 MWe bruts).

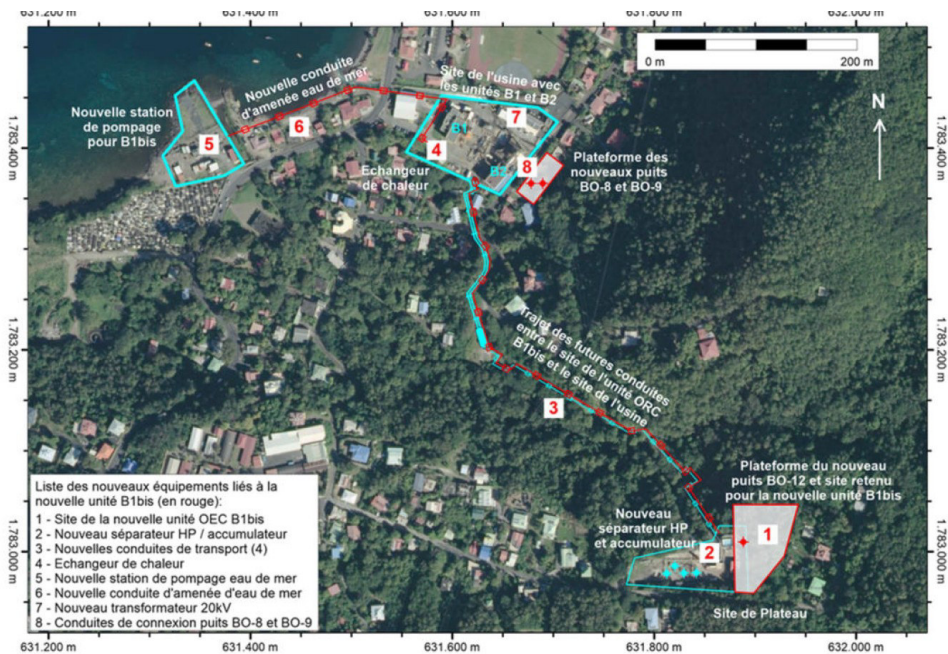


### I-3 Description du projet et des travaux

Le projet porté par Géothermie Bouillante a pour objectif la construction d'une troisième unité de production électrique. Cette unité sera équipée d'une turbine à cycle de Rankine. Son principe est d'utiliser un fluide organique ayant un point d'ébullition inférieur à celui de l'eau comme fluide de travail. Le fluide géothermal (vapeur et eau séparée) est utilisé pour échanger ses calories avec ce fluide de travail à travers une série d'échangeurs de chaleur.

La nouvelle unité B1bis sera constituée d'un ensemble de composants regroupés sur le site de Plateau dont les principaux sont un groupe turbo-alternateur, un évaporateur, un condenseur, deux préchauffeurs, une pompe pour la circulation du fluide organique.

Elle utilisera plusieurs équipements en commun avec les unités existantes Bouillante 1 et Bouillante 2 : les puits de production, le condenseur atmosphérique de l'unité Bouillante 2, le canal de rejet en mer pour l'évacuation des effluents (eau géothermale séparée, eau de mer réchauffée), le système de contrôle et de régulation de l'usine.



Le projet de construction et d'exploitation de l'unité B1bis comprend les travaux dit « principaux » de construction de l'unité B1bis et les travaux secondaires pour intégrer la nouvelle unité à la centrale existante .

Les travaux principaux de construction de l'unité B1bis sont localisés sur le site de « Plateau » sur les parcelles AO227, AO412, AO764 (exAO413) appartenant à la société Géothermie Bouillante. Ils comportent :

- la préparation des terrains destinés à recevoir les différents composants de l'unité B1bis situé sur la parcelle AO764 (génie civil, fondations, réseaux divers, ...) ;
- la préparation de la plateforme de forage du puits BO12 (défrichage, terrassements, talutages, accès des véhicules, etc.) situé sur la parcelle AO412 . L'étude d'impact (p.65) indique que les travaux de préparation de la plateforme du puits BO12 ont déjà été réalisés ;
- Le montage des différents composants de la nouvelle unité ;
- La clôture et les plantations.

Les travaux secondaires d'intégration de la nouvelle unité à la centrale existante regroupent 6 chantiers :

Le premier chantier comporte la construction des 4 nouvelles conduites de transport de fluides, la mise en place d'un câble de transport électrique sur le trajet des conduites existantes entre le site de B1bis et le site de l'usine dans le bourg de Bouillante (environ 600 mètres de long) ainsi que le démontage du séparateur HP existant. Une partie de ces travaux sera réalisée sur des terrains dont Géothermie Bouillante a la propriété ou bénéficie de servitudes de passage. L'autre partie de ces travaux sera réalisée sur le domaine public (bande de servitude le long de Chemin Fifi).

Les autres chantiers concernent :

- la construction d'un nouveau séparateur HP associé à un accumulateur sur la plateforme des puits de Plateau, à proximité de l'unité B1bis et des puits producteurs ;
- la construction d'un échangeur de chaleur à l'intérieur du périmètre de l'usine;
- la mise en place d'un nouveau transformateur 5,5kV/20kV à proximité des transformateurs existants dans l'enceinte de la centrale et le raccordement au réseau Haute Tension de EDF ;
- la construction d'une nouvelle station de pompage à proximité des stations de pompage existantes en bord de mer,
- la pose d'une nouvelle conduite d'amenée d'eau de mer entre la station de pompage et le site de l'usine.

La durée prévisionnelle de l'ensemble des travaux est de 2,5 ans.

#### **I.4 Procédures relatives au projet**

Il convient de rappeler que la société Géothermie Bouillante a déposé en 2018 une première demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers (DAOTM) pour implanter trois nouveaux puits répertoriés BO-8, BO-9, et BO-10 sur un terrain situé dans le bourg de Bouillante, derrière la centrale géothermique.

En 2019, une deuxième demande DAOTM a été déposée concernant deux nouveaux puits (BO-11 et BO-12) d'injection et de production ; le premier situé dans l'enceinte de la centrale géothermique sur la parcelle cadastrée AO612, et le second sur la parcelle AO413 à proximité de la plateforme des puits actuels sur le site de « Plateau »

Chaque dossier a fait l'objet d'un avis de l'autorité environnementale, le premier en date du 04 juillet 2018 et le second en date du 27 mars 2019. Ces

avis sont consultables sur le site internet de la MRAe Guadeloupe à l'adresse suivante : <http://www.mrae.developpement-durable.gouv.fr/archives-r440.html>

Les projets de réalisation des forages des puits d'une part et le projet d'exploitation et de construction de l'unité de production d'autre part, objet du présent avis, constituent dans les faits et au sens de l'article L122-1 du code de l'environnement un même projet.

Le projet d'exploitation et de construction de l'unité de production électrique fait l'objet d'une demande d'autorisation d'ouverture de travaux miniers(DAOTM) en application du décret n°2006-649 modifié du 02 juin 2006 relatif aux travaux miniers.

Le dossier de DAOTM comprend une étude d'impact. Il fera à ce titre l'objet d'une enquête publique<sup>1</sup>

Le projet est également soumis à autorisation au titre de la loi sur l'eau<sup>2</sup> . L'étude d'impact jointe vaut évaluation des incidences du projet sur l'eau et les milieux aquatiques<sup>3</sup>.

Le dossier indique (p.188 de l'étude d'impact) : « *le défrichage et le terrassement des sols ont déjà fait l'objet d'une autorisation dans le cadre de la demande de DAOTM pour la réalisation de deux forages BO-11 et BO-12. L'autorisation concernait une surface de 3 000 m<sup>2</sup> sur la parcelle AO764 (ex parcelle AO413) ce qui correspond à la surface prévue pour l'aménagement de la future unité B1bis* »

Or l'arrêté DEAL du 20 décembre 2019 portant autorisation d'ouverture des travaux miniers en vue de réaliser ces deux forages indique dans son article 4 : « *La présente autorisation ne vaut pas permis de construire, ni autorisation de défrichage. Le cas échéant, les contacts appropriés sont pris au moins trois mois avant le début des travaux avec l'office national des forêts pour une visite préalable* »

***La MRAe rappelle au pétitionnaire qu'il s'était engagé en 2019 à déposer un dossier de demande de dérogation à la protection des espèces et par ailleurs, une demande d'autorisation de défrichage auprès des services de l'État.***

1 Code de l'environnement, article L123-1 et suivants.

2 cf.p.19 du DAOTM, tableau présentant les rubriques de la nomenclature loi sur l'eau concernées par le projet (Code l'environnement, article R214-1).

3 Code de l'environnement R214-6

## **II-PRINCIPAUX ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX RELEVÉS PAR L'AUTORITÉ ENVIRONNEMENTALE**

Pour la Mrae, les principaux enjeux environnementaux du projet concernent les thématiques suivantes:

- Biodiversité : la parcelle AO764( ancienne parcelle cadastrée AO413) concernée par le site de forage du puits BO12 et la plateforme ou sera implantée la nouvelle unité 1Bbis abrite des espèces de flore et de faune protégées ;
- Eau : En phase d'exploitation, des effluents émanant de la centrale seront rejetés dans la baie de Bouillante ;
- Prévention des risques naturels : le projet est concerné par des zones d'aléas variant de faible à fort ;
- Bruit : En phase d'exploitation, des mesures devront être prises pour limiter les nuisances sonores susceptibles d'être générées par les équipements en fonctionnement ;
- Odeur : Une fraction du fluide géothermal sera déchargée par un séparateur atmosphérique et est susceptible de dégager une odeur d'« oeuf pourri » liée à la présence d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) ;
- Consommation énergétique et émissions de gaz à effet de serre : le projet contribue aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre ;

## **III- ANALYSE FORMELLE DE L'ETUDE D'IMPACT**

Le dossier de DAOTM remis à l'Ae est composé de huit parties réparties dans trois classeurs<sup>4</sup>. L'étude d'impact soumise à l'avis de l'Ae ( version du 29 juin 2021) constitue la 4ème partie du dossier. Elle est réunie dans le classeur 2 avec ses annexes et le résumé non technique de l'étude d'impact.

Le résumé non technique est le premier document du classeur. Positionné avant l'étude d'impact, il permet au lecteur non averti de prendre connaissance rapidement du projet et des résultats des différentes analyses développées dans les différentes parties de l'étude d'impact. Il comprend notamment deux tableaux présentant les synthèses des enjeux et des mesures destinées à éviter, réduire voire compenser les impacts potentiels du projet sur l'environnement. Toutefois, il manque un résumé de la méthodologie d'élaboration de l'étude d'impact, élément pourtant requis et présent dans

4 Cf DAOTM p.3

l'étude d'impact. Ce volet est nécessaire pour comprendre la démarche globale utilisée pour réaliser l'étude.

***La MRAe recommande de compléter le résumé non technique par un résumé de la méthodologie d'élaboration de l'étude d'impact afin d'aider le public à comprendre la démarche globale avant de prendre connaissance des éléments détaillés contenus dans l'étude d'impact.***

L'étude d'impact comprend toutes les rubriques requises à l'article R.122-5 du code de l'environnement et rappelées à la page 13 du rapport, à l'exception du point 6 qui requiert «*une description des incidences négatives notables attendues du projet sur l'environnement qui résultent de la vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs en rapport avec le projet concerné* ». L'étude d'impact devra être complétée sur ce point.

De nombreuses illustrations (cartes, graphiques, photographies, schémas) et tableaux globalement de bonne qualité sont présents tout au long du document, ce qui en facilite la lecture et la compréhension.

La MRAE note quelques redondances qui ne sont pas gênantes. Par exemple, les principales étapes des travaux envisagés sont présentées page 64 dans le descriptif du projet puis rappelées et précisées dans l'analyse des impacts (pages 186 et 187).

Des études ont été réalisées spécifiquement pour ce projet et les rapports correspondants ont été annexés à l'étude d'impact. On y trouve notamment un rapport sur la modélisation de panache thermique en mer dans la baie de Bouillante réalisé par Créocéan en juin 2021. Les légendes des figures (2.1 / 2.2) de ce rapport ne semblent pas cohérentes et ne permettent pas d'appréhender correctement les informations présentées. Bien que signalé provisoire, le rapport semble mettre en évidence que les conditions de rejet futures relatives au panache thermique améliore globalement les conditions de dilution en zone proche de rejet. Il est donc indispensable de mettre à la disposition du public le rapport définitif afin d'appréhender au mieux les résultats de cette étude.

***La MRAe recommande de mettre à disposition du public le rapport définitif relatif à la modélisation de panache thermique en mer dans la baie de Bouillante afin de permettre au public d'appréhender au mieux les résultats de cette étude .***

## **IV - ANALYSE DE LA PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT DANS LA DÉFINITION ET LA PERCEPTION DU PROJET**

### **IV.1 Analyse de l'état initial du site et de son environnement**

L'analyse de l'état initial est présentée pages 69 à 181 de l'étude d'impact. Elle aborde toutes les thématiques environnementales relatives aux milieux physique, naturel et humain. Cette analyse appelle les observations ci-dessous.

#### **IV.1. 1 Milieu physique**

##### Contexte hydrographique

Selon le rapport (p.104), des rejets ponctuels de fluide géothermal ont lieu dans la Ravine Blanche souvent à sec (cours d'eau non permanent) puis ce fluide s'infiltré dans le lit de la Ravine Blanche jusqu'au niveau de la nappe phréatique. Le rapport ajoute qu' au niveau du bourg de Bouillante, la nappe phréatique est largement contaminée par des remontées de fluide géothermal. Cette affirmation n'est pas démontrée dans les documents.

***La MRAe recommande d'apporter les éléments permettant de vérifier l'état de la nappe phréatique au niveau du bourg de Bouillante.***

##### Emission de gaz à effet de serre et consommation d'énergie

Le dossier donne des informations sur le contexte climatique (température, pluviométrie), sur le changement climatique et ses impacts sur la consommation d'énergie (pages 71 à 82). Il indique qu'en 2013, la Guadeloupe représente 0,6 % de la population française et est responsable de 0,73 % des émissions de gaz à effet de serre. Les émissions par habitant sont plus élevées que pour le reste du territoire, conséquence de son mix énergétique principalement carboné, comme tous les territoires d'outre-mer. Le rapport indique par ailleurs que le changement climatique va accroître la demande en électricité. Le rapport justifie l'adéquation du projet avec les politiques nationales et locales existant en la matière et présente les objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre fixés dans le Plan Climat et le Schéma Régional Climat, Air Energie (SRCAE) de la Guadeloupe.

Le rapport indique (page 202) que la société Géothermie Bouillante ORMAT réalise déjà un suivi de consommation des énergies au sein du site. Il aurait

été utile de fournir les résultats de ce suivi pour avoir une valeur de la consommation actuelle des énergies au sein du site ce qui correspondrait à la valeur de l'état initial de la consommation d'énergie avant la mise en œuvre du projet.

Il aurait été utile également de fournir des informations sur les émissions de gaz à effet de serre liées à la production de l'électricité à partir des différentes sources d'énergie pour montrer l'impact de la production de l'électricité à partir des ressources géothermiques sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Selon la base carbone de l'Ademe ces émissions sont en moyenne de 55gCO<sub>2e</sub> /KWh au niveau national et les émissions moyennes de l'électricité produite à partir de ressources géothermiques seraient en moyenne de 45gCO<sub>2e</sub> /KWh.

***La MRAe recommande de compléter les informations sur le climat en indiquant :***

- les résultats du suivi de la consommation énergétique au sein du site de la centrale géothermique***
- les émissions de gaz à effet de serre liées à la production de l'électricité à partir des ressources géothermiques ;***

#### Les risques naturels

La station de pompage est située en zone rouge (aléa inondation fort) ainsi que la partie Sud de la parcelle AO196 (aléa mouvement de terrain fort). La plate-forme des puits ainsi que la zone prévue pour l'unité B1bis sont soumises à l'aléa mouvement de terrain faible à moyen. La centrale géothermique existante est soumise à aléa liquéfaction faible. L'ensemble de la zone d'étude est soumis à l'aléa zone de faille. L'enjeu est jugé modéré.

## **IV1. 2 Milieu naturel**

### Milieu naturel marin

Les documents apportent des informations qui peuvent être contradictoires en ce qui concerne les conditions de rejet futures .

L'étude d'impact stipule à la page 49 que la température finale de l'effluent est inférieure à 45 °C à la sortie du premier préchauffeur lorsque l'eau séparée est mélangée avec les effluents de l'unité. Ceci est en inadéquation avec les résultats des analyses réalisées en septembre 2020 sur les eaux en sortie de canal (présentées page 147) qui ont révélé une température de 45,9 °C.

Par ailleurs, à la page 61 de l'étude d'impact, il est stipulé que l'eau séparée sera acidifiée avec de l'acide (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pour abaisser le pH et qu'une fraction

de cette eau séparée, légèrement acidifiée, sera mélangée à l'eau de mer dans le condenseur atmosphérique avant rejet dans le milieu marin avec un facteur de dilution de 40, n'entraînant pas de modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer. Or, le tableau présent à la page 147 de l'étude d'impact semble mettre en évidence que le rejet a un impact sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux marines de surface sur une bonne partie de la baie pour plusieurs éléments tels que : les silicates dissous, l'ammonium (NH<sub>4</sub>), le manganèse (Mn), le baryum (Ba), le lithium (Li), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le zinc (Zn).

***La MRAe recommande d'apporter les clarifications nécessaires afin de lever les contradictions qui peuvent apparaître au sujet des conditions de rejet futures.***

Le rapport de suivi des biocénoses marines de la baie de Bouillante réalisé en juin 2021 révèle la présence d'espèces protégées de coraux aux stations étudiées (*Orbicella annularis*, *Orbicella faveolata*, *Agaricia sp.*). Néanmoins, cet inventaire ne présente pas la liste exhaustive des espèces de coraux retrouvées sur les stations prospectées alors même que la richesse spécifique est précisée.

La liste de l'ensemble des espèces de coraux identifiées doit être transmise et, le cas échéant, le Maître d'ouvrage doit solliciter l'octroi d'une dérogation à la protection des espèces si un impact est prévu.

***La MRAe recommande de compléter l'état initial par la liste de l'ensemble des espèces de coraux retrouvées sur les stations prospectées dans le cadre du suivi des biocénoses marines.***

#### Milieu naturel terrestre

La synthèse des enjeux décrite dans le tableau page 14 de l'étude d'impact indique que l'enjeu sur la faune et la flore terrestre est jugé modéré compte tenu que les enjeux patrimoniaux faunistiques sont importants, mais la structure de la végétation est souvent dégradée par les activités anthropiques. La MRAe considère que, s'il est intéressant de prendre en compte la valeur patrimoniale des espèces retrouvées sur l'emprise des travaux, le classement réglementaire en tant qu'espèces protégées marines ou terrestres »( cf §IV.3.3 du présent avis) ne doit pas être sous-estimé mais doit impérativement être indiqué et traité dans l'étude d'impact. En particulier c'est un critère à prendre en compte impérativement dans l'évaluation de l'intensité des enjeux.

## ***La MRAe recommande de prendre en compte le critère de protection réglementaire dans l'évaluation de l'intensité des enjeux.***

### **IV.1.3 Milieu humain**

L'enjeu sur la population et habitats, les activités économiques, équipements et services ainsi que sur les commodités du voisinage (bruits, vibration, déchets) est fort compte tenu de la proximité immédiate du site du projet, situé dans le bourg de Bouillante, avec des habitations. La plupart des équipements communaux, établissements sensibles et établissements recevant du public(ERP) sont également présents.

Le rapport présente la qualité de l'air de façon générale sur le territoire ainsi que l'étude réalisée sur la côte-sous-le-vent par l'association Gwad'air entre 2009 et 2010. Une attention particulière est portée sur la concentration ambiante en sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) avec la présentation des résultats des campagnes de mesure réalisées en 2007, 2010, 2020 et 2021 (page 82).

L'enjeu lié au trafic routier est pris en compte (page 168). Le site de la centrale est desservi par la RN2( boulevard de front de mer) qui constitue le principal axe de circulation aux abords du site. Le site de l'unité B1bis sera accessible par le chemin Descoude. En 2010, le trafic était estimé à 6799 véhicules par jour avec 0,43 % de poids lourds. L'enjeu « transport et circulation » est jugé faible en raison du trafic modéré voire faible sur la RN2. Toutefois, Il aurait été intéressant d'avoir une estimation plus récente.

En ce qui concerne l'eau destinée à la consommation humaine (EDCH) et les eaux de loisirs, l'étude précise que le secteur du bourg de Bouillante ne se situe pas à proximité d'un captage d' ECDH , notamment de celui de Trou à diable situé sur la commune (page 102).

Le volet sur les eaux de loisirs n'a pas été abordé notamment avec le recensement des zones de baignade déclarées et contrôlées ainsi que la zone de baignade non déclarée mais très fréquentée au droit de l'émissaire du rejet en mer.

S'agissant de la pollution des sols, les bases de données BASOL et BASIAS ont été consultées par le pétitionnaire afin d'identifier les sites et sol potentiellement pollués présents sur la commune (page 106). Aucun site BASOL n'a été identifié et deux sites Basias ont été recensés à plus de 250m du site. L'enjeu est donc jugé faible.

L'analyse de l'environnement humain et industriel montre que plusieurs habitations sont situées à proximité immédiate du site de la centrale à moins de 10 m et à environ 30 m du site du plateau. Plusieurs établissements recevant du public sont présents à proximité du projet (page 157).

Afin de caractériser l'environnement sonore des campagnes de mesures acoustiques ont été réalisées (page 171). L'étude d'impact acoustique est jointe en annexe. Un recensement des sources d'émissions sonores aurait pu être réalisé avec une description de l'ambiance sonore dans la zone concernée par le projet. Par ailleurs, l'environnement sonore au droit de la zone d'implantation de la station de pompage n'a pas été évalué.

***La MRAe recommande de compléter l'état initial par une description de l'ambiance sonore dans la zone concernée par le projet ainsi qu'une évaluation de l'environnement sonore au droit de la zone d'implantation de la station de pompage.***

#### **IV.2 Justification du choix du projet retenu et variantes (pages 183 et 184)**

Le choix du projet retenu est justifié au travers du choix du process utilisé, du choix du site d'implantation, et de la prise en compte des enjeux.

Le porteur de projet a choisi pour la nouvelle unité B1bis un process utilisant un fluide réfrigérant qui a l'avantage d'être ininflammable et non explosif au lieu d'un fluide caloporteur, le pentane. Cette option qui était initialement envisagée a été écartée car elle présentait entre autre des risques technologiques au regard des enjeux de l'environnement du site au bourg de Bouillante.

L'auteur de l'étude indique que le site d'implantation du projet correspond au site retenu pour recevoir le puits BO12 . Il ajoute que le site est localisé en dehors du bourg de Bouillante, dans un environnement arboré où l'habitat est peu dense à proximité de la plateforme actuelle des puits et à 500m à vol d'oiseau du site de l'usine actuelle.

La nouvelle unité de production électrique B1bis sera doté d'un système de refroidissement en circuit fermé entre le condenseur à eau de l'unité B1bis et des échangeurs de chaleurs positionnés au niveau de l'usine actuelle. Ce

procédé présente l'avantage d'être silencieux et de ne pas générer d'émissions de vapeur dans l'atmosphère.

L'énergie électrique produite par l'unité B1bis sera évacuée jusqu'à un nouveau transformateur par un câble terrestre 11 KV qui suivra le trajet des conduites de transport des fluides. Le choix d'un câble terrestre pour évacuer l'énergie de B1bis a pour avantage d'éviter la création d'une ligne à haute tension avec un ou deux pylônes ce qui aurait engendré un impact visuel fort.

La MRAe considère que le choix d'implantation du site du projet aurait dû indiquer qu'un premier site avait été choisi sur une parcelle proche du site principal et desservie par la rue Vannier mais cette variante a été abandonnée en raison de la présence d'un aléa liquéfaction sur la parcelle considérée.

### **IV.3 Analyse des impacts du projet et mesures d'évitement, de réduction et de compensation**

C'est l'objet du chapitre 4 de l'étude d'impact. L'auteur analyse les effets du projet sur les différentes composantes environnementales d'abord en phase travaux (p.185 à 200) puis en phase d'exploitation (p. 200 à 228). A la suite de chaque impact identifié, une mesure est proposée. Les résultats sont synthétisés dans deux tableaux : pages 230 à 231 pour la phase travaux et 234 à 238 pour la phase d'exploitation. Le chapitre s'achève par un tableau récapitulatif de l'ensemble des mesures et une estimation de leur coût global. ( pages 239 et 240).

Les incidences présentées dans le dossier au titre des incidences en phase travaux sont celles liées aux travaux principaux de création de l'unité B1bis et aux travaux secondaires d'intégration de cette nouvelle unité de production à la centrale existante (avec notamment la pose de conduites de transport des fluides et la construction de la station de pompage). La MRAe note que l'étude d'impact ne fournit pas d'informations sur les modalités de réalisation du forage des puits pendant la phase travaux ni sur les impacts pouvant être observés. Elle rappelle que lorsqu'un projet est constitué de plusieurs travaux, installations, ouvrages ou autres interventions dans le milieu naturel ou le paysage, il doit être appréhendé dans son ensemble, y compris en cas de fractionnement dans le temps et dans l'espace [.....] afin que ses incidences sur l'environnement soient évaluées dans leur globalité.

***La MRAe recommande de compléter l'analyse des impacts en indiquant les modalités de réalisation du forage des puits et en précisant les incidences liées à la réalisation de ces travaux.***

### **IV.3.1 Milieu humain**

Les principaux impacts identifiés dans l'étude sur les eaux, les sols, l'ambiance sonore, la qualité de l'air et le trafic routier sont les suivants :

En phase travaux : principalement une pollution accidentelle des eaux et sol par les engins de chantier, des nuisances sonores liées au bruit des engins de chantier et aux outils lors des constructions, l'émission de poussières et de gaz d'échappement, l'augmentation du trafic.

En phase d'exploitation: les rejets ponctuels de fluide géothermal dans la ravine à proximité en cas de trop plein du bassin de rétention ; la pollution potentielle par les eaux de ruissellement ou suite à des déversements accidentels, l'augmentation des effluents rejetés dans la baie de Bouillante, site de baignade non déclaré très fréquenté ; l'augmentation des émissions de gaz incondensables ; l'augmentation des émissions sonores des sources ponctuelles identifiées.

L'analyse développée dans le dossier appelle les observations suivantes :

- L'impact temporaire sur la qualité des eaux de baignade n'a pas été évalué. un affichage informant de la réalisation des travaux devra être mis en place à proximité de la zone de baignade non déclarée.
- Le pétitionnaire devra s'assurer du respect des émergences pour les bruits de voisinage à la fois au cours de la phase travaux et de la phase d'exploitation (articles R. 1336-4 à R. 1336-13 du Code de la santé publique) ;
- Le calcul des émergences de bruit a été réalisé uniquement pour les installations situées sur le site du plateau ; ce calcul aurait dû être conduit également pour les installations de la station de pompage et du système de refroidissement.

***La MRAe recommande de compléter l'analyse des impacts sur l'ambiance acoustique en calculant les émergences de bruit pour les installations de la station de pompage et du système de refroidissement.***

### **IV.3.2 Sur le milieu physique**

#### Consommation énergétique et émission de gaz à effet de serre

Le rapport indique (p.202) qu'en phase d'exploitation, le projet aura un impact négatif sur la consommation d'énergie et que cet impact est négligeable puisque les besoins électriques de la centrale seront couverts par une partie de l'énergie produite. L'Ae relève que les besoins électriques de la centrale ne sont pas quantifiés précisément : la part d'électricité consommée par chaque unité de la centrale (Bouillante 1, Bouillante 2 et B1bis) est donnée à titre indicatif mais l'énergie consommée par le fonctionnement des pompes eau de mer au niveau de la station de pompage, des compresseurs d'air, de l'éclairage du site de l'usine et des sites déportés n'est pas indiquée.

***La MRAe recommande de compléter l'analyse des impacts par des indications chiffrées de l'énergie consommée par le fonctionnement des pompes eau de mer au niveau de la station de pompage, des compresseurs d'air, de l'éclairage du site de l'usine et des sites déportés.***

La consommation énergétique générée par la phase travaux n'a pas été prise en compte dans l'analyse des impacts du projet alors que ces travaux bien que temporaires sont prévus pour durer deux ans et demi ce qui n'est pas négligeable.

Les émissions de gaz à effet de serre doivent être évaluées en prenant en compte notamment l'ensemble les émissions liées à l'utilisation et au transport des matériaux et les composantes du chantier ( fonctionnement des installations, artificialisation des sols, éventuelles émissions de gaz carbonique et de méthane lors des forages des puits).

***La MRAe recommande de compléter l'analyse des impacts du projet en phase travaux sur la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre.***

#### Les risques naturels

En phase travaux, un risque de mouvement de terrain sur la zone pentue des nouvelles canalisations traversant la Ravine Blanche a été identifié comme impact négatif. La mesure correspondante indiquée dans l'étude d'impact « précautions habituelles en matière de stabilité des sols » n'est pas définie. Le pétitionnaire devra respecter les prescriptions du plan de prévention des risques naturels de la commune.

En phase d'exploitation, l'impact négatif identifié est une augmentation du risque de micro-sismicité avec les réinjections augmentées dans BO-8 et BO-9. L'une des mesures prévues concerne la mise en place d'un réseau de surveillance de la micro-sismicité.

### **IV.3.3 Sur le milieu naturel**

#### Milieu naturel marin (y compris faune flore marine)

L'impact du projet sur le milieu naturel marin en phase d'exploitation est jugé modéré.

Deux mesures de réduction sont proposées pour limiter les impacts des effluents rejetés dans la baie de Bouillante : la diminution de 15% d'eau séparée rejetée à la mer par rapport à la situation actuelle(MR21) et la baisse de la température de rejet de 3°C de moins environ (MR20).

Par ailleurs deux mesures qualifiées par l'auteur de l'étude de mesures d'accompagnement sont proposées alors qu'il s'agit de mesures de suivi qui doivent être réalisées afin d'évaluer l'efficacité des mesures mises en œuvre en faveur de la flore et la faune marine : suivi de l'évolution de la biocénose(MA2) , suivi de la qualité du rejet (température et chimie du fluide) (MA3).

La modélisation du panache thermique en mer de Bouillante(MA4) est également proposée comme mesure d'accompagnement. La MRAe note que cette étude a été réalisée en 2021 pour étudier l'impact des modifications de conditions de rejet sur les conditions de dilution du panache thermique. Elle s'interroge sur la classification de cette étude en mesure d'accompagnement.

La MRAe note que l'analyse de l'impact du projet sur le milieu naturel marin s'appuie sur un rapport provisoire de 2021 de Créocéan. Ce rapport semble mettre en évidence que les conditions de rejet futur relatives au panache thermique améliore globalement les conditions de dilution en zone proche de rejet.

En outre, cette analyse fait référence au suivi des biocénoses marines de 2014 qui indique l'absence d'impact du rejet actuel sur l'état de santé des coraux. Or l'analyse des résultats du suivi des biocénoses marines réalisée en 2021 annexée à l'étude d'impact montre le contraire.

Sur l'ensemble des 4 stations étudiées dans le cadre de ce suivi, des colonies coralliennes ont présenté des signes de maladies, voire une mortalité. De plus, si l'on considère un gradient du nord vers le sud de la baie, les stations étudiées présentent certains indicateurs de santé des biocénoses qui illustrent

une perturbation croissante en corrélation apparente avec la proximité croissante vis-à-vis du rejet de la station géothermique (cf. le pourcentage de couverture corallienne et la richesse spécifique qui diminuent).

Par ailleurs, la station 3 relativement proche du canal de rejet de la station géothermique présente un état de santé inquiétant des biocénoses coralliennes avec l'apparition d'algue du genre *Lobophora*, la présence de grandes plaques de cyanobactéries et une diminution importante de la population d'oursins diadèmes qui démontre une possible pollution organique. L'augmentation prévue de la surface du panache pourrait conduire à la mort de colonies coralliennes encore vivantes mais déjà fragilisées par une augmentation concomitante de certains facteurs de pression (via la présence de certains éléments, notamment métalliques et l'augmentation de la température de l'eau).

Par conséquent des mesures convaincantes relatives à une séquence Eviter-Réduire-Compenser propre aux biocénoses coralliennes doivent être proposées.

***La MRAe recommande de mettre en œuvre une séquence Eviter-Réduire-Compenser propre aux biocénoses coralliennes afin de définir des mesures convaincantes.***

#### Milieu naturel terrestre

Les études faunistiques et floristiques de 2018 (par Caraïbe environnement sur la parcelle AO413) et de 2021 (par Gilles LEBLOND sur les parcelles AO412 et AO413) décrivent la présence de plusieurs espèces protégées : 19 espèces d'avifaune, 3 espèces d'herpétofaune (dont 2 protégées intégralement l'Hylode de Martinique et le Sphérodactyle bizarre), 6 espèces de chiroptères, tous protégées intégralement. Certaines de ces espèces possèdent de surcroît un fort enjeu de conservation. En outre, l'inventaire de 2021 indique que le défrichement a été circonscrit à un habitat moins structuré mais utilisé par la faune patrimoniale. Par conséquent l'étude d'impact incluse dans le dossier de demande d'AOTM doit permettre de proposer des mesures évitant la destruction des espèces protégées ainsi que de leur habitat et tout dérangement pour les espèces protégées intégralement.

Concernant la faune et la flore terrestre, l'étude d'impact propose (p.208) deux mesures de compensation : la protection des terrains boisés (MC1) et l'extension de la protection des boisements (MC2).

La première mesure a pour objectif de protéger les boisements des deux parcelles impactées, AO412 et AO764 (ex AO413), mais aussi ceux de deux

autres terrains situés près de l'usine actuelle et appartenant à Géothermie Bouillante, AO 196 et AO255, à l'interface du bourg et du massif boisé. La mise en œuvre de cette mesure passe par différentes actions notamment la restauration des parties dégradées de la forêt et la lutte contre les espèces exotiques envahissantes.

La seconde a pour objet d'étendre la protection des boisements à l'ensemble des terrains boisés du groupe Géothermie Bouillante par la mise en place d'un Arrêté de Protection du Biotope (APB) ou un Arrêté de Protection des Habitats (APH), assorti de mesures de gestion simple comme la mise en défend des boisements (clôture) pour interdire toutes coupes de bois (charbon et gaulette) et intrusion de cabris.

Les mesures de compensation doivent être explicitées : l'état initial de la parcelle à mettre en protection, les outils de garantie de mise en œuvre, les indicateurs de suivi et de réussite pour la restauration de forêt doivent être définis.

L'étude d'impact propose également d'éviter la pollution lumineuse, mais actuellement cette mesure n'est pas mise en œuvre ( pages 28 et 29 de l'inventaire faune).

***La MRAe recommande d'une part, d'expliciter les mesures de compensation afin de garantir leur mise en œuvre et leur suivi et d'autre part, de s'engager sur l'application des mesures de réduction de la pollution lumineuse.***

#### **IV.3.4 Coût des mesures**

Le coût de l'ensemble des mesures proposées est estimé à 300 000 €. Le coût global du projet inclut le coût de ces mesures et s'élève à 57 millions d'euros. Il ressort que le coût des mesures représente 0,5 % du coût du projet.

L'étude d'impact n'indique pas le coût du projet dans sa globalité ni le coût des mesures environnementales correspondant.

***La MRAe recommande de compléter l'étude d'impact par une appréciation des coûts du projet dans sa globalité.***

#### **IV.4 Analyse des effets cumulés (p.241 à 242)**

Le rapport analyse les effets cumulés du projet avec d'autres projets connus. Il se base sur le décret n°2011-2019. Il conclut qu'aucun projet connu n'est susceptible d'avoir des effets cumulés avec le projet d'exploitation et de construction de l'unité de production B1bis.

Toutefois, l'inventaire faune des parcelles AO412, AO413 réalisé en juin 2021 montre que le projet participe à l'artificialisation du secteur. Il se cumule avec les structures existantes pour augmenter la fragmentation et ainsi contribuer à une érosion des habitats et de la biodiversité.

#### **V EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES**

Selon l'Agence régionale de santé (ARS), l'Evaluation des Risques Sanitaires présentée par le pétitionnaire est complète, les étapes de cette évaluation ont été respectées. Les valeurs toxicologiques de référence (VTR) des substances d'intérêt émises sont présentées avec la justification de la méthode et du choix de sélection de ces valeurs. L'exposition des populations a été évaluée en considérant le scénario le plus majorant.

Cette évaluation a montré que les impacts sanitaires pour les effets sans seuil et avec seuil sont considérés comme non préoccupants. Toutefois la durée d'exposition de 60 jours par an retenue pour le scénario « ingestion eau de baignade » semble faible eu égard aux pratiques locales de baignade sur le territoire.

#### **VI - ETUDE DE DANGERS**

L'étude de dangers (classeur 3 du DAOTM) a permis d'identifier les risques présentés par les produits et procédés mis en œuvre et les effets des accidents susceptibles d'intervenir sur le site ainsi que les mesures existantes ou envisagées permettant de prévenir ou de se protéger des principaux événements redoutés. L'étude de danger vient compléter l'étude d'impact en particulier sur le point n°6 attendu dans l'étude d'impact.

Annexe II : Inventaire des espèces coralliennes rencontrées sur les transects ( 60m/ station) et statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2017

## Suivi des biocénoses marines De la baie de Bouillante

Rapport de mission campagne juin 2021 –

ORMAT - Géothermie Bouillante

Tableau : Inventaire des espèces coralliennes rencontrées sur les transects ( 60m/ station) et statut vis à vi de l'arrêté du 25/04/2017

Date de l'inventaire	Réf Station baie de Bouillante	Noms des espèces présentes sur les transects (60m/site)	Statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2017
04/06/2021	Station 1	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Orbicella annularis</i>	inscrit
		<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
		<i>Siderastrea siderea</i>	-
		<i>Agaricia humilis</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Millepora sp</i>	-
		<i>Porites porites</i>	-
		<i>Madracis decatis</i>	-
		<i>Pseudodiploria clivosa</i>	-
		<i>Mussa angulosa</i>	-
		<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
		<i>Stephanocoenia intersepta</i>	-
<i>Madracis auretenra</i>	-		
02/06/2021	Station 2	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Madracis auretenra</i>	-
		<i>Orbicella annularis</i>	inscrit
		<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
		<i>Porites porites</i>	-
		<i>Millepora sp</i>	-
		<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
		<i>Diploria sp</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Siderastrea siderea</i>	-
		<i>Scolymia cubensis</i>	-
		<i>Colpophyllia natans</i>	-
		<i>Eusmilia fastigiata</i>	-
		<i>Porites astreoides</i>	-
<i>Madracis auretenra</i>	-		
02/06/2021	Station 3	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Madracis auretenra</i>	-
		<i>Porites porites</i>	-

<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
<i>Orbicella annualaris</i>	inscrit
<i>Siderastrea siderea</i>	-
<i>Pseudodiploria clivosa</i>	-
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	-
<i>Scolymia cubensis</i>	-
<i>Millepora sp</i>	-
<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
<i>Montastrea cavernosa</i>	-

02/06/2021	<b>Station 4</b>	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Orbicella annularis</i>	inscrit
		<i>Siderastrea siderea</i>	-
		<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
		<i>Madracis auretenra</i>	-
		<i>Millepora sp</i>	-
		<i>Pseudodiploria clivosa</i>	-
		<i>Porites porites</i>	-
		<i>Agaricia humilis</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
		<i>Madracis decatis</i>	-
		<i>Agaricia agaricites</i>	-
		<i>Stephanocoenia intersepta</i>	-
		<i>Diploria sp</i>	-

Annexe III : Etat initial sonore de la station de pompage



**ORMAT**

## **CENTRALE GÉOTHERMIQUE DE BOUILLANTE**

**Mesurages acoustiques – 7 et 8 octobre 2021**

### **RAPPORT DE MESURAGE**

<b>Référence</b>	<b>Date</b>	<b>Affaire suivie par</b>
A3759-R14	12 octobre 2021	Enneric Valmorin

**Acoustic Environment Consulting**

2 rue Blondel, ZI Jarry, 97122 Baie-Mahault 0590 57 01 20 [contact@aec-sarl.com](mailto:contact@aec-sarl.com)  
SARL au capital de 10 000 € RCS Pointe-à-Pitre 830 391 678 APE : 7112 B

## Table des matières

<b>1 La mission</b>	<b>2</b>
<b>2 Modalités des mesurages acoustiques</b>	<b>3</b>
2.1 Contexte normatif . . . . .	3
2.2 Période des mesurages . . . . .	3
2.3 Emplacements des mesurages . . . . .	3
2.4 Appareillage utilisé . . . . .	3
2.5 Conditions météorologiques . . . . .	3
<b>3 Résultats détaillés des mesurages</b>	<b>4</b>
3.1 Résultats détaillés du mesurage au Point 1 . . . . .	5
3.2 Résultats détaillés du mesurage au Point 2 . . . . .	6
3.3 Résultats détaillés du mesurage au Point 3 . . . . .	7
<b>Annexe A Glossaire acoustique</b>	<b>8</b>

# 1 La mission

La société ORMAT a missionné le bureau d'études *Acoustic Environment Consulting* pour relever les niveaux sonores sur un site de stockage de sa centrale géothermique de Bouillante en Guadeloupe.

Les modalités et les résultats des mesurages sont présentés dans ce rapport.

**Figure 1** Emplacement des mesurages sur le site de la Géothermie Bouillante



## 2 Modalités des mesurages acoustiques

### 2.1 Contexte normatif

Les mesurages ont été effectués conformément à la norme NF S 31-010 relative à la caractérisation et au mesurage des bruits de l'environnement sans déroger à aucune de ses dispositions. La méthode utilisée est celle dite « d'expertise ».

### 2.2 Période des mesurages

Les mesurages se sont déroulés du 7 au 8 octobre 2021.

### 2.3 Emplacements des mesurages

Les emplacements des mesurages sont indiqués sur la figure 1.

### 2.4 Appareillage utilisé

Les mesurages acoustiques ont été effectués avec des sonomètres Rion NL-52 et un calibre Rion NC-74. L'appareillage utilisé satisfait les exigences de Classe 1 de la norme NF EN 61672.

Lors des mesurages chaque sonomètre était muni d'un écran anti-intempérie. Un calibrage des sonomètres a été effectué avant et après chaque mesurage et aucune dérive supérieure à 0,1 dB n'a été relevée.

Les sonomètres étaient réglés pour mesurer le niveau de pression acoustique continu équivalent avec une durée d'intégration d'une seconde ( $L_{eq,1s}$ ), en pondération A et par bande de tiers d'octave. L'analyse des données obtenues a été réalisée avec le logiciel de calcul numérique GNU Octave.

### 2.5 Conditions météorologiques

Les mesurages ont été effectués par ciel dégagé, avec un sol sec et des vitesses de vents faibles. Selon la nomenclature de la norme NF S 31-010, les conditions météorologiques correspondaient à U3/T2 le jour et U3/T4 la nuit. Ces conditions sont respectivement, défavorables et favorables pour la propagation sonore.

### 3 Résultats détaillés des mesurages

### 3.1 Résultats détaillés du mesurage au Point 1

Photo du point de mesure



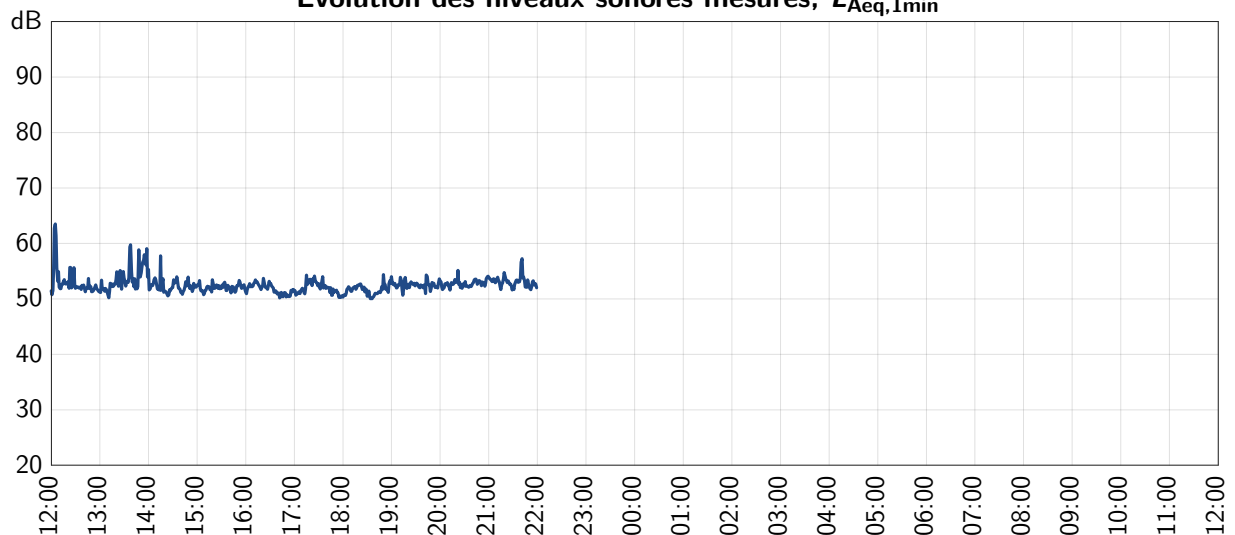
Situation



Nom de l'opérateur : Enneric Valmorin  
 Début du mesurage : 07/10/2021 12:00  
 Hauteur du microphone : 1,5 m  
 Sonomètre utilisé : Rion NL-52 n° 598 188  
 Calibrage début : 94,0 dB à 1 kHz

Type du mesurage :  $L_{eq,courts,1s}$   
 Fin du mesurage : 07/10/2021 22:00  
 Coordonnées : 631340 , 1783410  
 Calibre utilisé : Rion NC-74 n° 34 678 515  
 Calibrage fin : 94,0 dB à 1 kHz

Évolution des niveaux sonores mesurés,  $L_{Aeq,1min}$



Condition de mesurage	Codification	Durée	Niveaux sonores mesurés, dB				
			$L_{Aeq}$	$L_{A10}$	$L_{A50}$	$L_{A90}$	$L_{A95}$
Période diurne (12h-22h)	—	15:00:00	53,0	53,5	52,0	51,0	50,5

### 3.2 Résultats détaillés du mesurage au Point 2

Photo du point de mesure



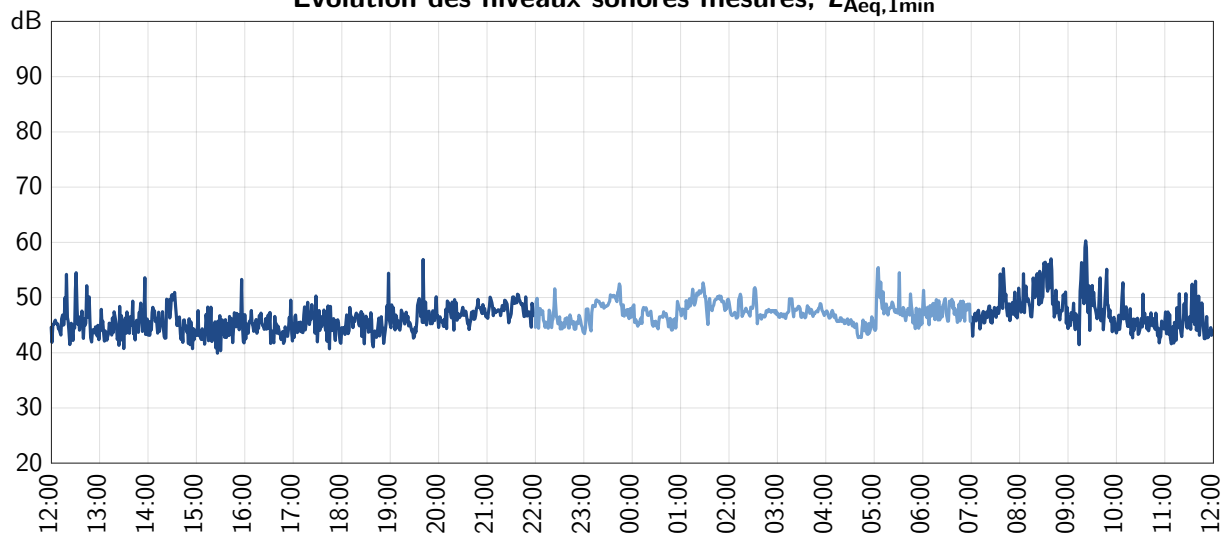
Situation



**Nom de l'opérateur :** Enneric Valmorin  
**Début du mesurage :** 07/10/2021 12:00  
**Hauteur du microphone :** 1,5 m  
**Sonomètre utilisé :** Rion NL-52 n° 698 192  
**Calibrage début :** 94,0 dB à 1 kHz

**Type du mesurage :**  $L_{eq,courts,1s}$   
**Fin du mesurage :** 08/10/2021 12:00  
**Coordonnées :** 631321 , 1783367  
**Calibreur utilisé :** Rion NC-74 n° 34 678 515  
**Calibrage fin :** 94,0 dB à 1 kHz

Évolution des niveaux sonores mesurés,  $L_{Aeq,1min}$



Condition de mesurage	Codification	Durée	Niveaux sonores mesurés, dB				
			$L_{Aeq}$	$L_{A10}$	$L_{A50}$	$L_{A90}$	$L_{A95}$
Période diurne (7h-22h)	—	15:00:00	47,5	49,5	45,5	41,0	40,0
Période nocturne (22h-7h)	—	09:00:00	48,0	50,0	47,0	44,5	43,5

### 3.3 Résultats détaillés du mesurage au Point 3

Photo du point de mesure



Situation



Nom de l'opérateur : Enneric Valmorin

Début du mesurage : 07/10/2021 12:00

Hauteur du microphone : 1,5 m

Sonomètre utilisé : Rion NL-52 n° 698 191

Calibrage début : 94,0 dB à 1 kHz

Type du mesurage :  $L_{eq,courts,1s}$

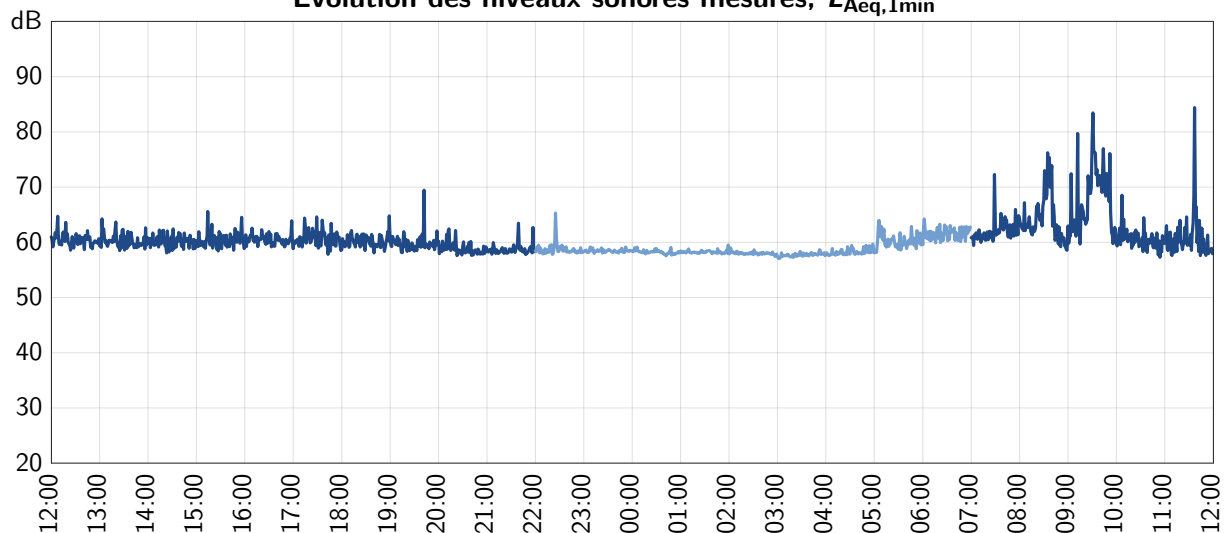
Fin du mesurage : 08/10/2021 12:00

Coordonnées : 631372 , 1783380

Calibreur utilisé : Rion NC-74 n° 34 678 515

Calibrage fin : 94,0 dB à 1 kHz

Évolution des niveaux sonores mesurés,  $L_{Aeq,1min}$



Condition de mesurage	Codification	Durée	Niveaux sonores mesurés, dB				
			$L_{Aeq}$	$L_{A10}$	$L_{A50}$	$L_{A90}$	$L_{A95}$
Période diurne (7h-22h)	—	15:00:00	64,5	64,5	59,0	57,5	57,0
Période nocturne (22h-7h)	—	09:00:00	59,0	60,0	58,0	57,5	57,5

## Annexe A Glossaire acoustique

### Pondération A

La pondération « A » correspond à une adaptation physiologique du niveau sonore global. Il représente la sensation perçue par l'oreille. Pour l'obtenir, chaque bande d'octave est modifiée par un facteur physiologique pour se rapprocher de la sensibilité auditive de l'oreille humaine.

### Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, $L_{Aeq,T}$

Valeur du niveau de pression acoustique pondéré A d'un son continu stable qui, au cours d'une période spécifiée  $T$ , a la même pression acoustique quadratique moyenne qu'un son considéré dont le niveau varie en fonction du temps.

$L_{Aeq,T}$  est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, en décibels, déterminé pour un intervalle de temps  $T$ .

### Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A « court », $L_{Aeq,\tau}$

Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A obtenu sur un intervalle de temps « court ». Cet intervalle de temps, appelé durée d'intégration, a pour symbole  $\tau$ .

### Niveau acoustique fractile, $L_{AN,\tau}$

Par analyse statistique des  $L_{Aeq,\tau}$  courts, on peut déterminer le niveau de pression acoustique pondéré A qui est dépassé pendant N % de l'intervalle de temps considéré, dénommé « Niveau acoustique fractile ». Son symbole est  $L_{AN,\tau}$  par exemple  $L_{A50,1s}$  est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A dépassé pendant 50 % de l'intervalle de mesure, avec une durée d'intégration d'une seconde.

### Émergence

L'émergence est la différence entre le niveau sonore ambiant et le niveau sonore résiduel.

### Niveau sonore ambiant

Niveau sonore total mesuré dans une situation donnée pendant un intervalle de temps donné. Il est composé des émissions sonores provenant de toutes les sources proches et éloignées.

### Niveau sonore résiduel

Niveau sonore ambiant mesuré en l'absence d'un son particulier mise en cause.

### Niveau sonore particulier

Composante du niveau sonore ambiant que l'on désire distinguer.

**Acoustic Environment Consulting**

2 Rue Blondel, ZI Jarry

97122 Baie-Mahault

0590 57 01 20 – [contact@aec-sarl.com](mailto:contact@aec-sarl.com)



Annexe IV : Modélisation de panache thermique en mer dans la Baie de Bouillante en Guadeloupe



RAPPORT

# Modélisation de panache thermique en mer dans la Baie de Bouillante en Guadeloupe

Rapport d'études

Juin 2021

GÉOTHERMIE BOUILLANTE



## CLIENT : GEOOTHERMIE BOUILLANTE

<b>COORDONNÉES</b>	Le Bourg Basse Terre 97125 Bouillante
<b>INTERLOCUTEUR</b>	<b>Hervé TRAINÉAU</b> Tel : + 33 (0)2 38 64 31 86 Port : + 33 (0)6 19 05 82 50 E-mail : h.traineau@cfg-geo.fr

---

## CREOCEAN

<b>COORDONNÉES</b>	<b>SIEGE DE CREOCEAN</b> Zone Technocéan – Chef de Baie – Rue Charles Tellier 17000 LA ROCHELLE Tél. : 05.46.41.13.13 - Fax : 05.46.50.51.02 E-mail : <a href="mailto:creocean@creocean.fr">creocean@creocean.fr</a>
	<b>AGENCE PACA CORSE</b> Valparc – Bâtiment B - 230 avenue de Rome 83500 LA SEYNE SUR MER Tél. 04.98.00.25.80 E-mail : pacacorse@creocean.fr
<b>INTERLOCUTEUR</b>	<b>Monsieur Nicolas JARRY</b> Tél. +33(6).40.48.18.28 E-mail : nicolas.jarry@creocean.fr

---

## RAPPORT

<b>TITRE</b>	<b>Modélisation de panache thermique en mer dans la Baie de Bouillante en Guadeloupe</b> <b>Rapport d'études</b>
<b>N° DE COMMANDE</b>	
<b>NOMBRE DE PAGES TOTAL</b>	53
<b>NOMBRE D'ANNEXES</b>	1

---

## VERSION

RÉFÉRENCE	VERSION	DATE	REDACTEUR	CONTRÔLE QUALITE
210500 RE	V1	21/06/2021	NJA	NJA

---

## **Sommaire**

<b>LEXIQUE.....</b>	<b>11</b>
<b>Conventions.....</b>	<b>11</b>
<b>Préambule .....</b>	<b>12</b>
<b>1. Récolte et analyse des données existantes .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1. Le site d'étude .....</b>	<b>13</b>
<b>1.2. Etudes précédentes.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. Niveaux d'eaux .....</b>	<b>14</b>
1.3.1. Niveaux de marée.....	14
<b>1.4. Les courants .....</b>	<b>15</b>
<b>1.5. Les conditions d'état de mer .....</b>	<b>15</b>
1.5.1. Mise en œuvre du modèle d'états de mer sur un point OP au large.....	15
1.5.2. Données appliquées en entrée d'états de mer.....	16
1.5.3. Validation des états de mer générés jusque sur le point OP .....	18
1.5.4. Création de la base de données continue de vent sur le point OP .....	18
1.5.5. Traitements et résultats .....	18
<b>2. Présentation du modèle hydrodynamique, hypothèses et calibration .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1. Emprise du modèle.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2. Conditions de rejets simulés.....</b>	<b>21</b>
<b>2.3. Conditions métocéaniques retenues pour la modélisation .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4. Présentation du modèle utilisé.....</b>	<b>22</b>
2.4.1. Le modèle TELEMAC .....	22
<b>2.5. Calibration du modèle .....</b>	<b>23</b>
2.5.1. Calibration hydrodynamique .....	23
2.5.2. Calibration thermique.....	27
<b>3. Modélisation du panache thermique.....</b>	<b>30</b>
<b>3.1. Résultats pour le scénario 1 .....</b>	<b>31</b>
<b>3.2. Résultats pour le scénario 2.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3. Résultats pour le scénario 3.....</b>	<b>37</b>
<b>3.4. Résultats pour le scénario 4.....</b>	<b>40</b>
<b>3.5. Résultats pour le scénario 5.....</b>	<b>43</b>

3.5.1. Hypothèses.....	43
3.5.2. Effet de la modification des rejets sur l'étendue du panache.....	43
3.5.3. Effet de la modification des rejets sur les températures ponctuelles .....	44
<b>4. Risques de recirculation .....</b>	<b>46</b>
<b>5. Conclusions .....</b>	<b>47</b>
<b>6. Références .....</b>	<b>48</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>49</b>
<b>Annexe 1 : Climat de houles au large .....</b>	<b>49</b>

## Liste des Figures

<i>Figure 1.1 : Site d'étude et position du rejet.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 1.2 : Exemple de marégramme à Pointe-à-Pitre en Mai 2000 (1<sup>er</sup> test de fluorescéine) ...</i>	<i>14</i>
<i>Figure 1.3 : Exemple de marégramme à Pointe-à-Pitre en Juillet 2003 (2<sup>ème</sup> test de fluorescéine) .....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 1.4 : Bathymétrie de la zone Caraïbes et point OP d'extractions des données d'états de mer .....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 1.5 : Rose des houles au point au OP .....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 1.6 : Rose des vents au point au OP .....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 2.1 : Rose des vents au point au OP .....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 2.2 : Rose des vents au point au OP .....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 2.3 : Position des points de mesures (Rapport NORTEKMED [2]).....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 2.4 : Niveaux d'eau mesurés pour chacun des 3 points .....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 2.5 : Niveau d'eau reproduit par le modèle numérique .....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 2.6 : Circulation des courants dans la baie en marée de ME (journée du 15/01 – à gauche BM et à droite PM) .....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 2.7 : Circulation des courants dans la baie en Marée de VE (le 11/01/2009 – à droite BM, à gauche PM) .....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 2.8 : Répartition des courants en sortie du rejet – Marée de VE (la figure de gauche correspond à la BM et la figure de droite à PM).....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 2.9 : Panache thermique par marée de VE.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 2.10 : Panache thermique par marée de ME .....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 2.11 : Vue 2D du panache en surface le 18/01/2009 – La figure de gauche correspond à la pleine mer (PM à 13:00) et celle de droite à la BM. ....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 2.12 : Dispersion du panache – Configuration à deux branches (à gauche) pour PM et une branche (à droite) pour BM. ....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 3.1 : Variation de la surface libre – Rejets en ME.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 3.2 : Résultats pour le scénario 1 : Pas de vent, marée de Mer. Vue globale .....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 3.3 : Résultats pour le scénario 1 : Pas de vent, marée de ME Vue globale .....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 3.4 : Résultats pour le scénario 1 : Pas de vent, marée de Mer. Vue zoomée .....</i>	<i>32</i>

<b>Figure 3.5 : Résultats pour le scénario 1 : Pas de vent, marée de Mer. Vue zoomée .....</b>	<b>32</b>
<b>Figure 3.6 : Variation des températures aux trois points de contrôle– comparaison des conditions de rejet actuelle (trait plein) et futures (trait pointillé) pour le scénario 1 .....</b>	<b>33</b>
<b>Figure 3.7 : Résultats pour le scénario 2 : Vent d’Est 8m/s. Vue globale.....</b>	<b>34</b>
<b>Figure 3.8 : Résultats pour le scénario 2 : Vent d’Est 8m/s. Vue globale.....</b>	<b>34</b>
<b>Figure 3.9 : Résultats pour le scénario 2 : Vent d’Est 8m/s. Vue zoomée.....</b>	<b>35</b>
<b>Figure 3.10 : Résultats pour le scénario 2 : Vent d’Est 8m/s. Vue zoomée.....</b>	<b>35</b>
<b>Figure 3.11 : Variation des températures aux trois points de contrôle– comparaison des conditions de rejet actuelle (trait plein) et futures (trait pointillé) pour le scénario 2.....</b>	<b>36</b>
<b>Figure 3.12 : Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue globale.....</b>	<b>37</b>
<b>Figure 3.13 : Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue globale.....</b>	<b>37</b>
<b>Figure 3.14 : Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue zoomée .....</b>	<b>38</b>
<b>Figure 3.15 : Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue zoomée .....</b>	<b>38</b>
<b>Figure 3.16 : Variation des températures aux trois points de contrôle– comparaison des conditions de rejet actuelle (trait plein) et futures (trait pointillé) pour le scénario 3.....</b>	<b>39</b>
<b>Figure 3.17 : Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue globale.....</b>	<b>40</b>
<b>Figure 3.18 : Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue globale.....</b>	<b>40</b>
<b>Figure 3.19 : Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue zoomée .....</b>	<b>41</b>
<b>Figure 3.20 : Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue zommée.....</b>	<b>41</b>
<b>Figure 3.21 : Variation des températures aux trois points de contrôle– comparaison des conditions de rejet actuelle (trait plein) et futures (trait pointillé) pour le scénario 4.....</b>	<b>42</b>
<b>Figure 3.22 : Variation de la surface libre (figures du haut) et du vent (intensité et direction) pendant toute la période de mesures (09/01/2009 au 24/01/2009).....</b>	<b>43</b>
<b>Figure 3.23 : Vue 2D du panache en surface pendant la journée du 18/01/2009 .....</b>	<b>44</b>
<b>Figure 3.24 : Variation des températures au niveau des différents points de mesure. En trait plein les rejets actuels et en trait continu les rejets futurs. ....</b>	<b>45</b>
<b>Figure 4.1 : Température au niveau de l’aspiration – Marée de ME.....</b>	<b>46</b>

## **Liste des tableaux**

<b>Tableau 1.1 : Niveaux de marée caractéristiques à Deshaies .....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 1.2 : Niveaux de marée caractéristiques à Basse-Terre .....</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 1.3 : Caractéristiques principales de ces champs de vent utilisés .....</b>	<b>17</b>

## Liste des annexes

Annexe 1 : Climat de houles au large

## LEXIQUE

Notation	Unité	Déinition
<b>Hm0 or Hs</b>	m	<b>Hauteur de houle significative spectrale</b> = $4 \sqrt{E}$ , où E est l'énergie du spectre total
<b>H1/3</b>	m	<b>Hauteur de houle significative</b> Définie comme la moyenne du 1/3 supérieur des vagues
<b>Hmax</b>	m	<b>Hauteur de houle maximum</b> = $0.707 \times H1/3 \sqrt{\ln N}$ où N est le nombre de vagues
<b>Tp</b>	s	<b>Période pic</b> Définie comme l'inverse de la fréquence la plus énergétique du spectre total, après somme des directions
<b>Dirm</b>	° / North	<b>Direction moyenne</b> Définie comme la direction Moyenne du spectre total
<b>DirTp</b>	° / North	<b>Direction pic</b> Définie comme la direction la plus énergétique de la bande de fréquence correspondant au Tp
<b>Ws</b>	m/s	<b>Vitesse moyenne du vent sur 10 minutes</b> À une altitude de 10 m
<b>Wd</b>	° / Nord	<b>Direction du vent</b> Associée à Ws
<b>Index cyclonique</b>	Sans unité	<b>Index cyclonique</b> 1= Activité cyclonique 0= absence de cyclone
<b>ME</b>	Sans unité	<b>Mortes-eaux</b>
<b>VE</b>	Sans unité	<b>Vives-eaux</b>

- ▶ Un **Scatter plot** (ou **corrélogramme**) est une représentation graphique permettant de montrer les valeurs simultanées de deux variables issues d'une base de données. Les couples de données sont affichés sous forme de collection de points, la valeur du premier paramètre déterminant la position sur l'axe horizontal, la valeur du second celle sur l'axe vertical.
- ▶ Un **diagramme quantile-quantile** (ou **Q-Q plot**) est une méthode graphique pour comparer les distributions statistiques de deux paramètres en affichant pour chaque quantile leur valeur respective.

## Conventions

TRES IMPORTANT : Par convention, les directions données sont :

- ▶ Celles d'où viennent les vagues,
- ▶ Celles d'où vient le vent.

## Préambule

La centrale géothermique de Bouillante en Guadeloupe est située sur la côte Ouest sur l'île de Basse-Terre. La capacité actuelle des 2 unités de production (Bouillante I et II) est de 15 MW et devrait être augmentée dans le futur par la construction d'une 3<sup>e</sup> unité. La centrale géothermique puise son énergie dans un réservoir d'eau chaude situé en profondeur. Un circuit de refroidissement à l'eau de mer permet de condenser la vapeur d'eau.

Le projet d'extension de la capacité de production de la centrale prévoit ainsi une augmentation des débits du circuit de refroidissement (composé à 95% d'eau de mer), de 9 000 m<sup>3</sup>/h actuellement à 13 870 T/h (soit environ 14 286 m<sup>3</sup>/h) et à une température de 38,9°C contre 42,0°C aujourd'hui.

Dans le cadre de la préparation d'un dossier réglementaire pour la centrale géothermique de Bouillante en Guadeloupe en partenariat avec ANTE, la société Géothermique Bouillante a demandé à CREOCEAN d'étudier l'impact des modifications des conditions de rejet les conditions de dilution du panache thermique.



***Localisation du site d'études***

Un modèle Telemac3D a été développé pour calculer les conditions de circulation océanique dans la baie par temps calme et pour les conditions met-océaniques les plus fréquentes.

Ce rapport présente le modèle et les conditions de simulation, sa validation par rapport à des mesures réalisées en janvier 2009 et une comparaison des résultats obtenus dans les conditions de rejet actuel et futur.

## 1. Récolte et analyse des données existantes

### 1.1. Le site d'étude

La centrale géothermique de Bouillante en Guadeloupe est située sur la côte Ouest sur l'île de Basse-Terre côté mer des Caraïbes. La centrale rejette son effluent au travers d'un canal ouvert endigué



*Figure 1.1 : Site d'étude et position du rejet*

### 1.2. Etudes précédentes

Au début de la mission, il nous a été communiqué les rapports suivants :

- ▶ Données bathymétriques de la baie de Bouillante (26/05/2018) ;
- ▶ MNT de Bouillante et St Anne ;
- ▶ Etude de faisabilité d'une simulation du panache de rejet en mer, expertise préliminaire du rejet de la centrale, note technique n°101633NT1indA, CREOCEAN 2002 ;
- ▶ Rapport d'étude pour Caraïbes Environnement, mesures de courant et houle, NORTEKMED Février 2009 ;
- ▶ Analyse comparée de la dispersion du panache de rejet dans la baie de Bouillante en 2000 et 2003, CFG ;
- ▶ Rejets en mer de la centrale Géothermique de Bouillante (unités 1 et 2), compléments à l'étude d'impacts de 2005, études des biocénoses marines, Pareto, Impact Mer, Janvier 2009 ;

- ▶ Cartographie environnementale des fonds sous-marins de la Baie de Bouillante (Guadeloupe), état de santé des peuplements, CREOCEAN, Septembre 2000 ;
- ▶ Rapport d'étude pour Caraïbes Environnement, mesures des températures, salinités et oxygènes dans la baie de Bouillante, NORTEKMED Janvier 2009 ;

## 1.3. Niveaux d'eaux

### 1.3.1. Niveaux de marée

La marée en Guadeloupe est de type semi-diurne à inégalité diurne et mixte.

Bouillante étant situé sur la côte occidentale de Basse-Terre à mi-distance entre Deshaies et la Ville de Basse-Terre, les niveaux de marées caractéristiques sont présentés pour ces deux sites, respectivement Tableau 1.1 et Tableau 1.2, issu du SHOM RAM 2020 [1].

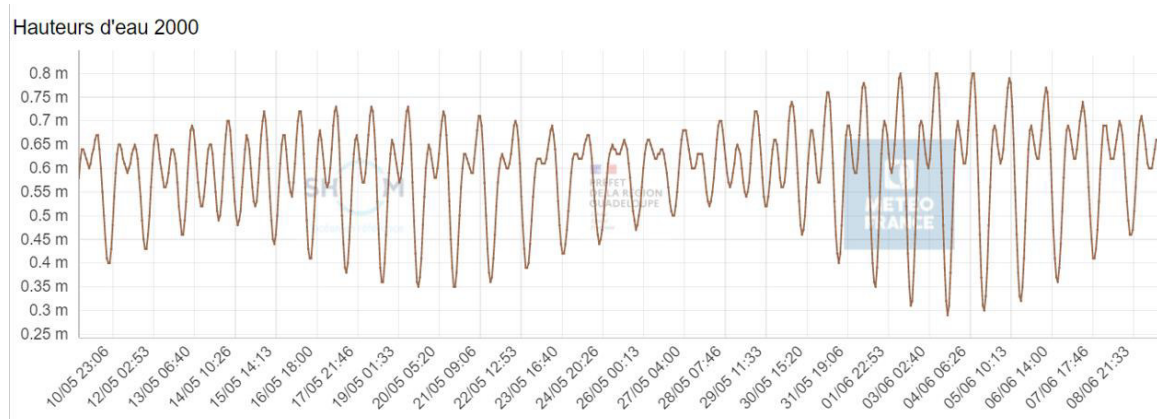
**Tableau 1.1 : Niveaux de marée caractéristiques à Deshaies**

Niveau de marée caractéristiques	Elévation en mètre par rapport au niveau hydrographique – Carte Marine (IGN88)
Plus Haute Mer Astronomique (PHMA)	+00.59 m CM
Niveau moyen (NM)	+00.42 m CM
Plus Basse Mer Astronomique (PBMA)	+00.08 m CM
Cote du Zéro Hydrographique	-0.527 m IGN88

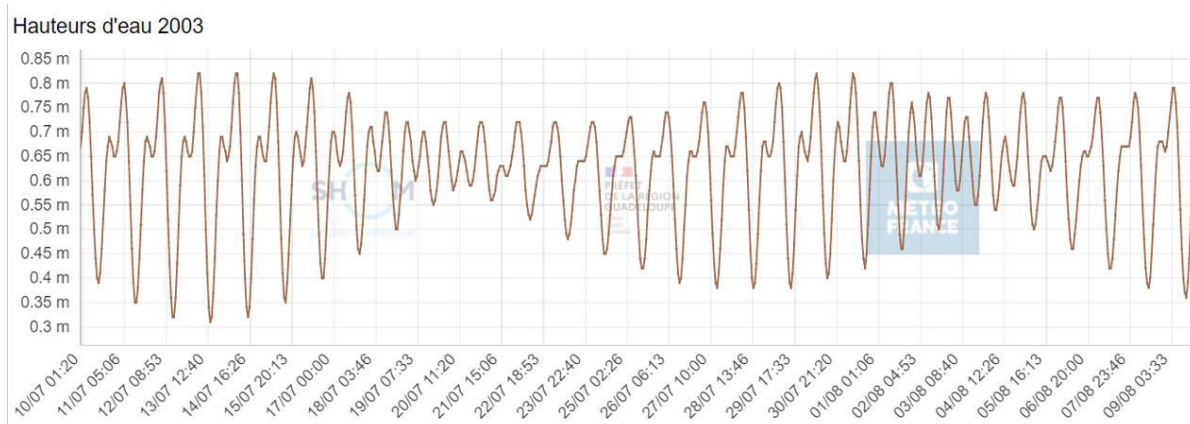
**Tableau 1.2 : Niveaux de marée caractéristiques à Basse-Terre**

Niveau de marée caractéristiques	Elévation en mètre par rapport au niveau hydrographique – Carte Marine (IGN88)
Plus Haute Mer Astronomique (PHMA)	+00.69 m CM
Niveau moyen (NM)	+00.45 m CM
Plus Basse Mer Astronomique (PBMA)	+00.13 m CM
Cote du Zéro Hydrographique	-0.492 m IGN88

Le seul marégraphe présent est situé à Pointe-à-Pitre.



**Figure 1.2 : Exemple de marégramme à Pointe-à-Pitre en Mai 2000 (1<sup>er</sup> test de fluorescéine)**



**Figure 1.3 : Exemple de marégramme à Pointe-à-Pitre en Juillet 2003 (2<sup>ème</sup> test de fluorescéine)**

## 1.4. Les courants

Lors d'une campagne d'investigation menée par NortkeMed [2], des capteurs ont été placés entre le 9 et le 29 Janvier 2009. Cette étude a montré que les vitesses relevées sont extrêmement faibles puisque les vitesses moyennes relevées sont comprises entre 4 et 5 cm/s.

Du fait des très faibles vitesses observées, les directions des courants sont très diffuses et une analyse statistique a été nécessaire afin de mettre en évidence les tendances générales de circulation.

En surface les mesures ont montré un type de circulation dirigé vers le Nord correspondant plutôt aux épisodes de basse mer. Tout au long de la phase ascendante de la marée, les directions tournent graduellement dans le sens horaire pour arriver au second type de circulation. Puis une circulation dirigée vers le Sud, correspondant généralement aux étales de pleine mer. Le courant local de surface généré par le rejet est pendant ces épisodes 'contrarié' par la circulation général du Nord vers le Sud.

Au fond, les tendances sont identiques. A proximité immédiate du rejet, on observe un courant de retour près du fond, ce courant est une conséquence du fort rejet observé en surface et est un phénomène local.

## 1.5. Les conditions d'état de mer

La Guadeloupe est située à 16° de latitude Nord et bénéficie d'un climat tropical avec une saison chaude et pluvieuse de mi-Juin à mi-Novembre et une saison fraîche et sèche (Janvier à mi-Avril). Les conditions met-océaniques sont dominées par le régime des alizés dirigés du Nord-Est vers le Sud-Ouest. La période humide (hivernage) coïncide avec l'apparition de cyclones qui peuvent avoir des effets ravageurs. La baie orientée à l'Ouest, est bien protégée des houles générées par les alizés.

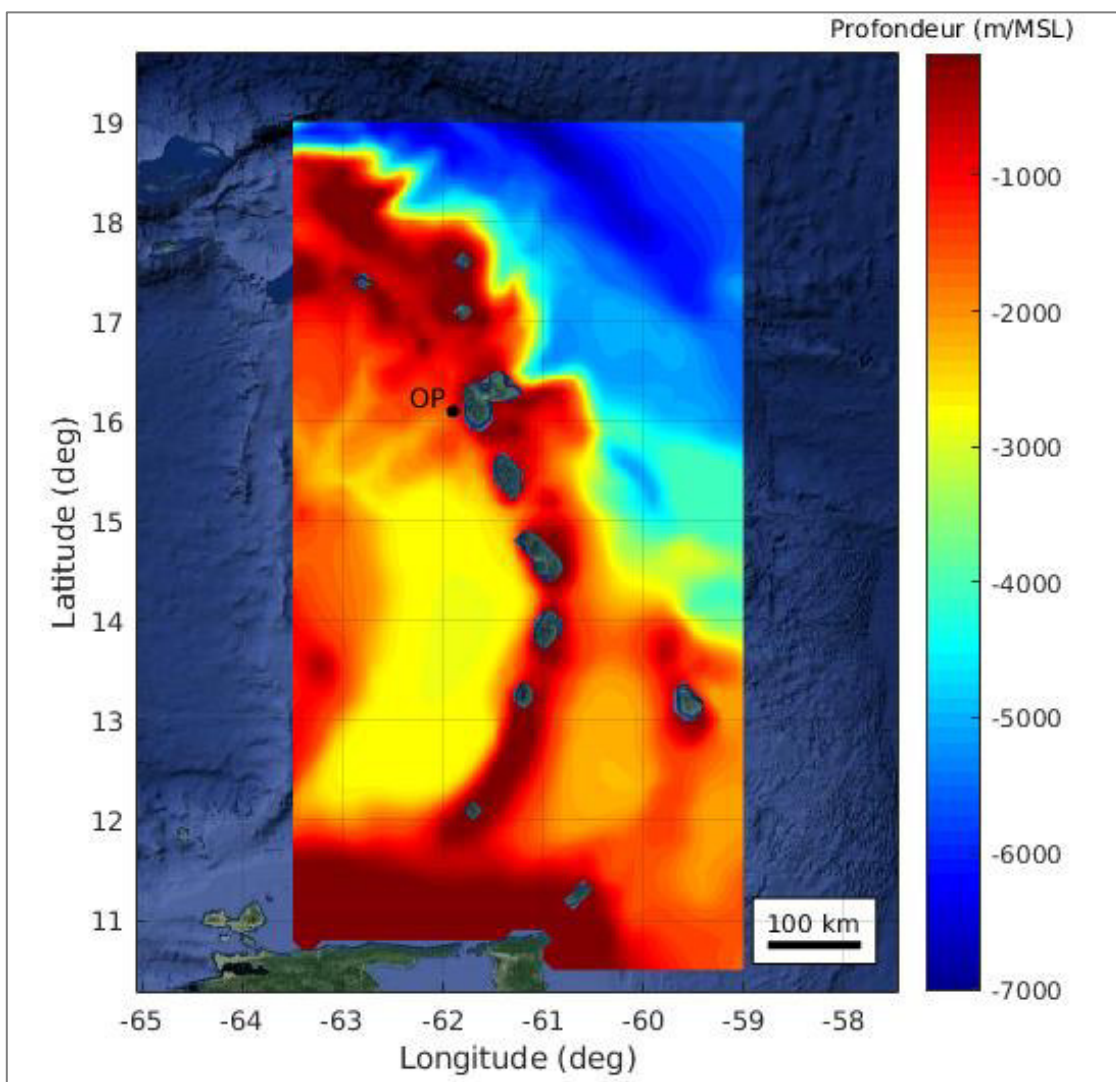
Les états de mer ont été reproduits sur une période s'étant de 1992 à 2017 et les données extraites au niveau d'un point OP situé au large comme le montre la Figure 1.4, par 1 500 m de fond.

### 1.5.1. Mise en œuvre du modèle d'états de mer sur un point OP au large

La modélisation des états de mer sur le point OP a été effectuée par l'utilisation du modèle de vagues WaveWatchIII v5.16, qui est un modèle d'états de mer en points de grille de 3<sup>ème</sup> génération. Il calcule les champs de vagues par génération, propagation et dissipation des états de mer sur les zones de simulations concernées, en utilisant les champs de vent en entrées (forçage atmosphérique).

Les spectres d'énergie d'états de mer générés avec WaveWatchIII sur le point OP et utilisés pour la création de la série temporelle des paramètres réduits d'états de mer sont issus de la modélisation à l'aide d'un jeu de 3 grilles emboîtées

Avant tout traitement, les spectres d'énergie d'états de mer sur le point OP ont été validés à l'aide des mesures satellitales altimétriques disponibles sur la totalité de la période de modélisation autour du point d'étude.



**Figure 1.4 : Bathymétrie de la zone Caraïbes et point OP d'extractions des données d'états de mer**

### 1.5.2. Données appliquées en entrée d'états de mer

#### **Bathymétrie**

La bathymétrie utilisée pour les grilles de calculs est issue de la base de données bathymétrique numérique mondiale GEBCO<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> General Bathymetric Charts of the Oceans

La version de WAVEWATCH III (v5.16) utilisée lors de cette étude est également capable de prendre en compte des données d'obstruction pour améliorer la modélisation de la propagation des états de mer autour des îles et des parties de terre dont les dimensions sont inférieures à la résolution du modèle. Un pourcentage, représentant la proportion de terre et de mer en propagation zonale et méridionale, est attribué à chaque point de grille. Cette valeur définit la proportion de chacune des composantes d'état de mer qui passe par le point de grille considéré.

### **Champ de vent**

Les champs de vent globaux utilisés (vitesse moyennée sur 10 minutes à 10 mètres au-dessus de la mer) pour la génération des états de mer sur la période Janvier 1993 – Décembre 2019 sont les réanalyses du modèle atmosphérique CFSR NCEP<sup>2</sup> couvrant toute la zone de génération. La table présentée ci-dessous montre les caractéristiques principales de ces champs de vent.

**Tableau 1.3 : Caractéristiques principales de ces champs de vent utilisés**

Paramètre	CFSR NCEP
Résolution spatiale	0.5° x 0.5°
Pas de temps	6 heures
Période temporelle	Janvier 1993 – Décembre 2019
Utilisés en input	Toutes les grilles

Ces champs de vent ont été validés à l'aide des données satellitales altimétriques disponibles, puis appliqués en forçage du modèle d'états de mer au large du site d'étude.

Dans ce rapport sont exposés les éléments de validation sur le forçage éolien appliqué au sein du Domaine local uniquement.

Afin de valider les champs de vent, une colocalisation des données de vitesse avec les données satellitales altimétriques disponibles sur l'ensemble de la période de modélisation, au niveau de la zone de génération locale, a été faite.

A partir de ces données colocalisées ont été effectués :

- ▶ Un Scatter plot ;
- ▶ Un Q-Q plot.

L'analyse de ces résultats montre la bonne corrélation entre les vitesses de vent issues de la base de données CFSR et celles issues de la base de données satellitales altimétriques, et valide les champs de vents calibrés utilisés en forçage pour la modélisation des états de mer dans le domaine local.

---

<sup>2</sup> The National Centers for Environmental Prediction

### 1.5.3. Validation des états de mer générés jusque sur le point OP

Les états de mer générés à l'aide de WaveWatch III jusque sur le point OP sont validés avant création de la série temporelle des paramètres réduits d'états de mer et détermination des conditions extrêmes non-cycloniques.

Les états de mer simulés dans la zone de validation, ont été comparés aux mesures satellitales de Hm0 (après colocalisation des données).

### 1.5.4. Création de la base de données continue de vent sur le point OP

Les vitesses et directions de vent sur le point OP ont été extraites directement de la base de données CRSF calibrée utilisée en forçage du modèle des états de mer. Les vitesses de vent sur le point OP ont ensuite été validées localement avant création de la série temporelle et détermination des conditions extrêmes cycloniques et non-cycloniques.

### 1.5.5. Traitements et résultats

#### **Détermination des séries temporelles non cycloniques**

Cette phase de l'étude a consisté à analyser la base de données d'archives cycloniques relative à la zone d'étude afin de sélectionner les cyclones historiques ayant potentiellement eu un impact en termes de génération d'états de mer et de vent sur le site.

Un cyclone historique a été sélectionné si sa trajectoire l'a fait passer dans une zone de détection délimitée. L'hypothèse a été faite que tout cyclone passant dans cette zone a eu une influence sur le site d'étude, et que, au contraire, les cyclones hors de cette zone n'en ont eu aucune.

Ainsi, plusieurs cyclones historiques sur la période 1993 – 2019 ont été recensés.

Ces événements cycloniques ont ensuite été indicé dans la série chronologique des états de mer et de vents de telle manière à ce qu'une échéance durant laquelle un cyclone est dans la zone de détection soit considéré comme une échéance cyclonique (indice 1). Les états de mer et de vents relatifs à ces échéances ne sont pas pris en compte dans l'analyse extrême.

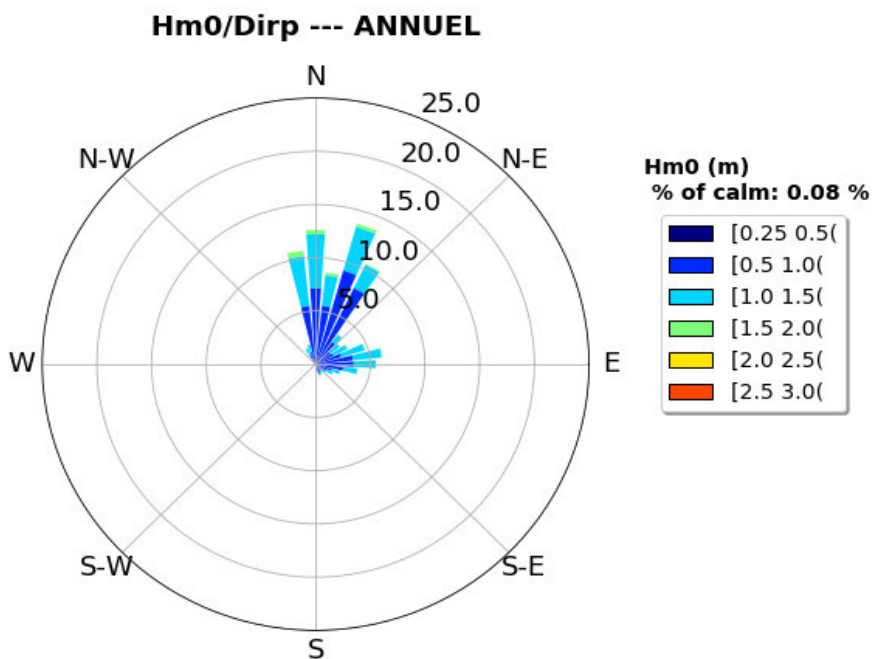
#### **Analyses statistiques au point OP**

Le roses de houles et de vent au point OP sont présentées respectivement sur la Figure 1.5 et sur la Figure 1.6.

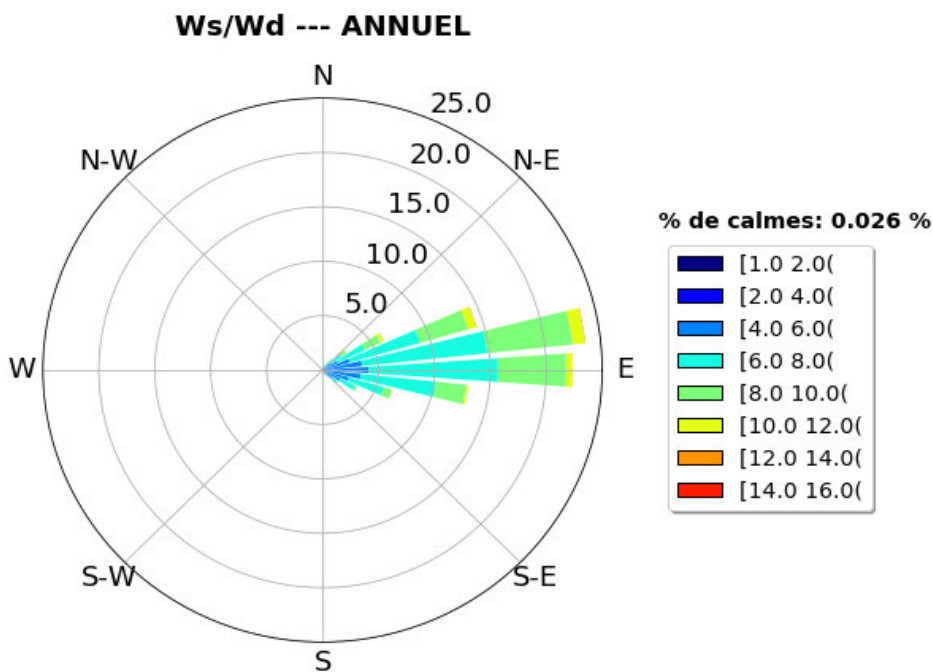
On note qu'au large les houles arrivent majoritairement du Nord, par effet de réfraction / diffraction autour de l'île. Quant aux vents, ils sont représentatifs des régimes d'alizés au niveau des Caraïbes et de l'atlantique équatoriale avec une direction majoritairement d'Est.

Tous les tableaux de statistiques sont présentés en annexe.

Les mesures de houle (réalisées en janvier 2009 par la société NORTEKMED pendant la saison sèche et par conditions non-cycloniques) ont confirmé un clapot très faible dans la baie avec une hauteur significative généralement inférieur à 25 cm et de secteur Ouest, pour une période de pic de 10s environ.



*Figure 1.5 : Rose des houles au point au OP*



*Figure 1.6 : Rose des vents au point au OP*

## 2. Présentation du modèle hydrodynamique, hypothèses et calibration

### 2.1. Emprise du modèle

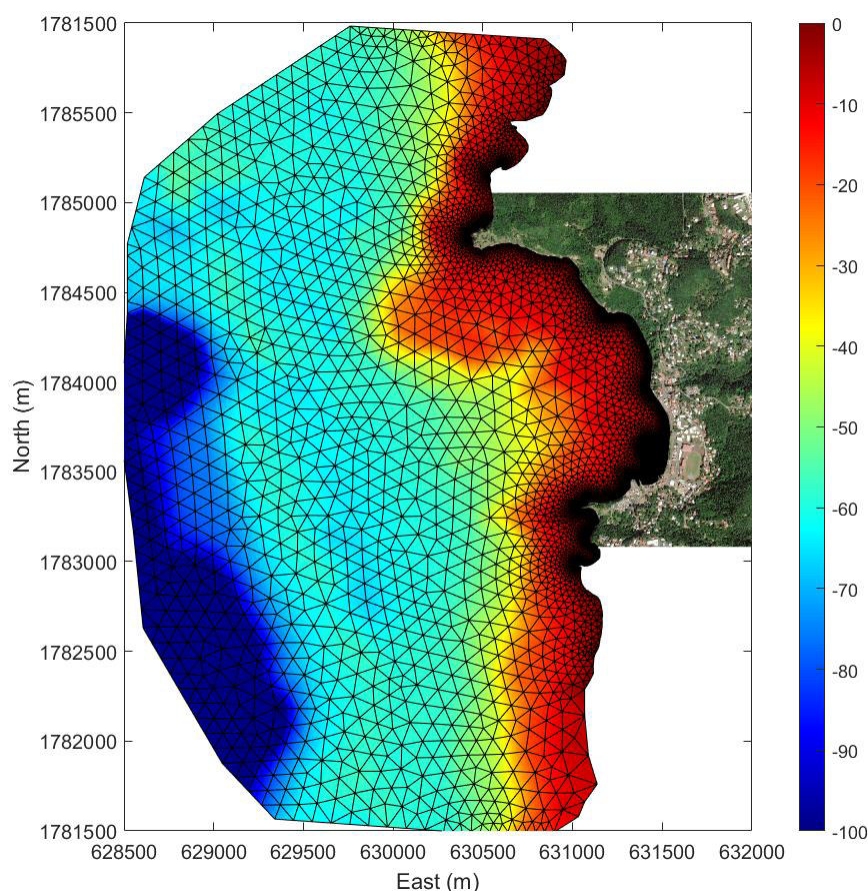
L'emprise du modèle hydrodynamique utilisé représente de manière détaillée 5 km de littoral et s'étend vers le large à une distance de 4km environ

L'emprise globale du modèle et le maillage constitué de 62 000 éléments (32 000 nœuds) sont représentés sur la Figure 2.1. La maille varie de plus d'une centaine de m au large, à moins de 1 m dans la baie

Le maillage a été interpolé sur une bathymétrie globale issue de la base de données compilée à partir des jeux de données suivants :

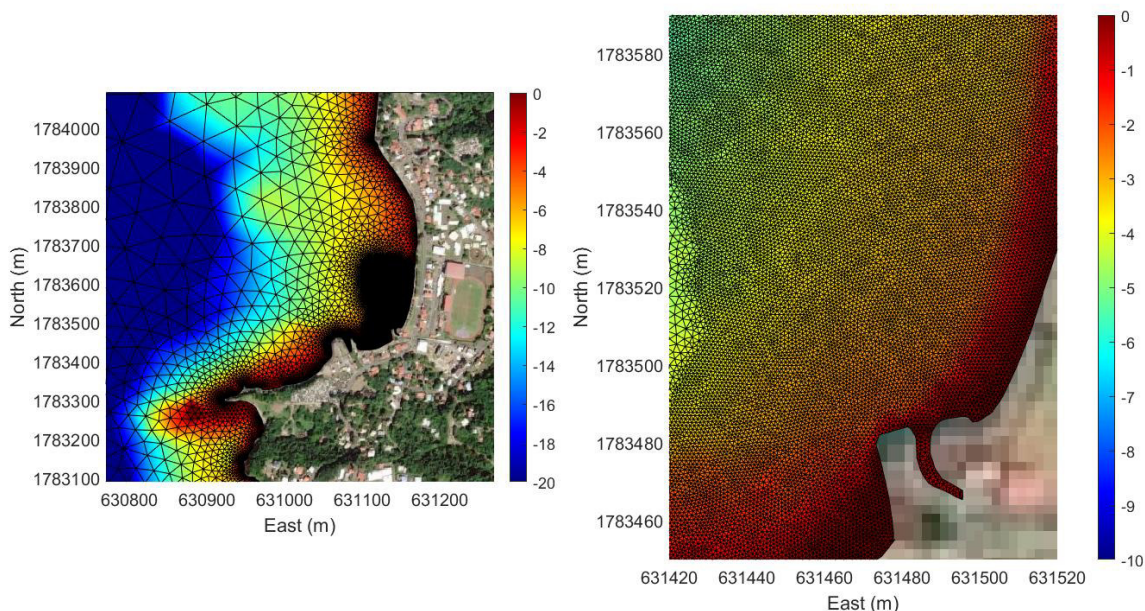
- ▶ Bathy Lidar (résolution 1m) ;
- ▶ Bathy du client (résolution 5m) ;
- ▶ Bathy du client (résolution 20m) ;
- ▶ Homonim du SHOM (résolution 100m).

Le système de référence verticale est basé sur le niveau ZH (NGG pour Guadeloupe). La différence ZH/NM est de 0.40 m.



**Figure 2.1 : Rose des vents au point au OP**

La bathymétrie et le maillage au niveau de la baie de Bouillante sont tracés sur la Figure 2.2



**Figure 2.2 : Rose des vents au point au OP**

Le modèle mis en place est rapporté au système de coordonnées suivants :

- ▶ Système de coordonnées de référence : UTM Zone 20N (<https://epsg.io/4559>);
- ▶ Origine verticale : Zéro Hydrographique (NGG pour la Guadeloupe).

## 2.2. Conditions de rejets simulés

L'évacuation des eaux du circuit de refroidissement se fait par un canal à surface libre, dont l'embouchure est située à environ 2m de la côte et dirigée vers le Nord.

L'aspiration est située à 130 m environ à l'Ouest du rejet.

Les conditions de rejet actuel sont les suivantes :

- ▶  $T = 42^{\circ}\text{C}$  ;
- ▶  $Q = 9\,000\text{ m}^3/\text{h}$ .

Les conditions de rejet futur sont :

- ▶  $T = 39^{\circ}\text{C}$  ;
- ▶  $Q = 13\,800\text{ T/h}$  soit  $13\,500\text{ m}^3/\text{h}$  (pour une densité de l'eau de mer de  $1024\text{ Kg/m}^3$ )

La température ambiante de l'eau de mer varie entre  $26^{\circ}\text{C}$  et  $28^{\circ}\text{C}$  au cours de l'année avec une moyenne autour de  $27^{\circ}\text{C}$ .

## **2.3. Conditions métocéaniques retenues pour la modélisation**

Compte tenu des faibles valeurs de houle mise en évidence dans l'étude des conditions d'états de mer au large (cf Section 1.5) et confirmé par les mesures enregistrées par NORTEKMED, la houle n'a pas été prise en compte dans la modélisation.

Les conditions de vent suivantes ont en revanche été considérées car elles sont représentatives des conditions met-océaniques fréquentes.

Les vents les plus fréquents (hors conditions cycloniques) sont de secteur Sud-Est à Est-Nord-Est et peuvent atteindre 10m/s (Figure 1.6).

Les conditions met-océaniques sont retenues pour la modélisation sont les suivantes :

- ▶ Temps calme ;
- ▶ Vent d'Est à 8m/s ;
- ▶ Vent de Sud-Ouest à 5m/s ;
- ▶ Vent de Nord à 6m/s.

Pour des raisons conservatives, une marée de ME (morte-eau) a été retenue dans la modélisation pour réduire les conditions de dilution du panache et maximiser l'impact du panache en zone proche des rejets. Les rejets ont été considérés comme continus sur la période du 15 au 18 janvier 2009.

Une simulation sur un cycle complet a été réalisée sur la période du 9 au 29 janvier 2009 dans les conditions de vent réel (Est dominant) dans les deux conditions de rejet actuel et futur.

## **2.4. Présentation du modèle utilisé**

### **2.4.1. Le modèle TELEMAC**

La version v8p2r0 du système TELEMAC a été mise en œuvre. Les notices théoriques et utilisateurs des différents codes sont téléchargeables sur le site ([www.opentelemac.org](http://www.opentelemac.org)).

#### **TELEMAC-3D**

Le modèle TELEMAC 3D a été utilisé pour calculer la répartition des courants dus au vent et à la marée ainsi que l'étendue du panache thermique. Le code permet de résoudre par la méthode des éléments finis les équations de Navier-Stokes (nous avons ici utilisé la version hydrostatique, moins coûteuse en temps CPU).

Le modèle est forcé au niveau des conditions aux limites maritimes par le signal de marée. Les amplitudes et phases des différentes composantes de la marée sont interpolées à partir de l'Atlas de prédiction de marée TPXO. Le signal de marée est reconstruit à une date donnée et imposé en tous points de la frontière maritime.

Les termes de frottement en surface et sur le fond sont pris en compte par le biais d'un coefficient de frottement quadratique. Le vent est considéré comme constant sur l'ensemble du domaine. Le coefficient de rugosité (Nikuradse) est aussi constant et fixé arbitrairement à  $k_s=5$  cm. Cette valeur est caractéristique de fond sableux.

#### **Modélisation des rejets**

La température de la mer est considérée comme constante et égale à la température ambiante ( $T=27^{\circ}\text{C}$ ). Les rejets sont imposés en entrée du canal de rejet à une température maximale de  $T= 42^{\circ}\text{C}$

dans les conditions de rejet actuel,  $T = 39^{\circ}\text{C}$  dans les conditions futures, et à un débit constant équivalent à :

- ▶  $Q = 9\,000\text{ m}^3/\text{h}$  pour le rejet actuel ;
- ▶  $Q = 13\,500\text{ m}^3/\text{h}$  pour le rejet futur (soit environ  $13\,800\text{ T/h}$ ).

### **Effets de stratification**

La différence de densité entre l'eau réchauffée (plus légère) et la mer génère des effets de stratification « stable » qui sont pris en compte dans le modèle de turbulence.

Plusieurs modèles sont disponibles dans TELEMAC 3D, nous avons ici utilisé le modèle de longueur de mélange avec fonction d'amortissement (ie la diffusion turbulente diminue lorsque le gradient vertical de température augmente).

### **Effets non pris en compte**

La présence de la houle, du fait de ses faibles valeurs de  $H_s$ , ne joue pas un rôle prépondérant ni sur la courantologie ni sur les mélanges turbulents et n'a donc pas été prise en compte.

Les rejets sont composés de 95% d'eau de mer et la différence de densité due à la variation de salinité entre les rejets et le milieu ambiant est considérée comme peu significative.

### **Paramètres numériques utilisés**

- ▶ Répartition sur la verticale :

Le modèle 3D est constitué de 10 plans équirépartis.

- ▶ Phase transitoire :

Un premier calcul TELEMAC 2D a permis d'initialiser les courants pendant 1 journée. Les conditions du modèle utilisés sont :

- $Dt = 1\text{ s}$ ,
- Coefficient de dispersion horizontal : Modèle de Elder,
- Coefficient de frottement dû au vent :  $Cd = 1.25 \cdot 10^{-6}$ ,
- Coefficient de frottement au fond (rugosité de Nikuradse):  $ks = 0.05\text{ m}$ .
- ▶ Modélisation 3D des rejets :
  - Démarrage des rejets démarrent à  $t=0$ ,
  - Pas de temps :  $Dt = 1\text{ s}$ ,
  - Modèle de dispersion : Elder sur l'horizontal,
  - Modèle de longueur de mélange sur la verticale,
  - Effets de stratification inclus (fonction d'amortissement),
  - Coefficient de frottement dû au vent :  $Cd = 1.25 \cdot 10^{-6}$ ,
  - Coefficient de frottement au fond (rugosité de Nikuradse):  $ks = 0.05\text{ m}$ .

## **2.5. Calibration du modèle**

### **2.5.1. Calibration hydrodynamique**

La calibration du modèle numérique a été réalisée à partir des mesures de la campagne de NORTEKMED [2]

Les hauteurs d'eau mesurées au large (sur les trois points présentés sur la Figure 2.3) sont présentées sur la Figure 2.4 sur toute la période de mesure (9 au 21 janvier 2009).

## GÉOTHERMIE BOUILLANTE

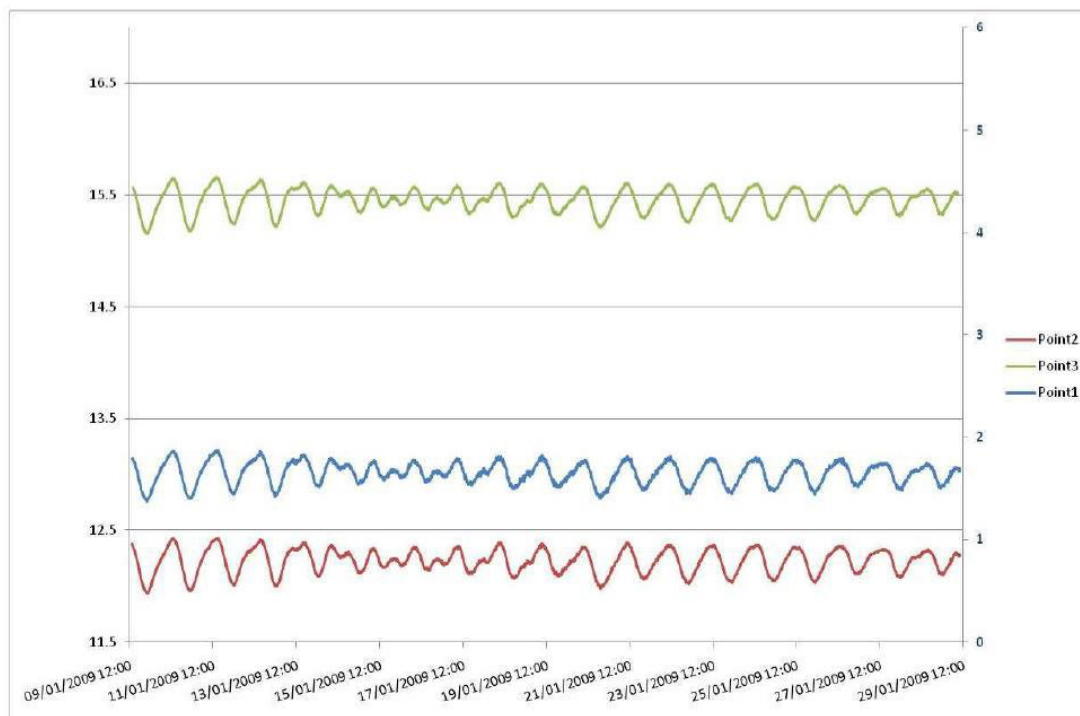
### MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE

Les niveaux d'eau calculés par le modèle numérique sont présentés sur la Figure 2.5 sur la période 3-20/01 (cycle mortes-eaux-vives-eaux)

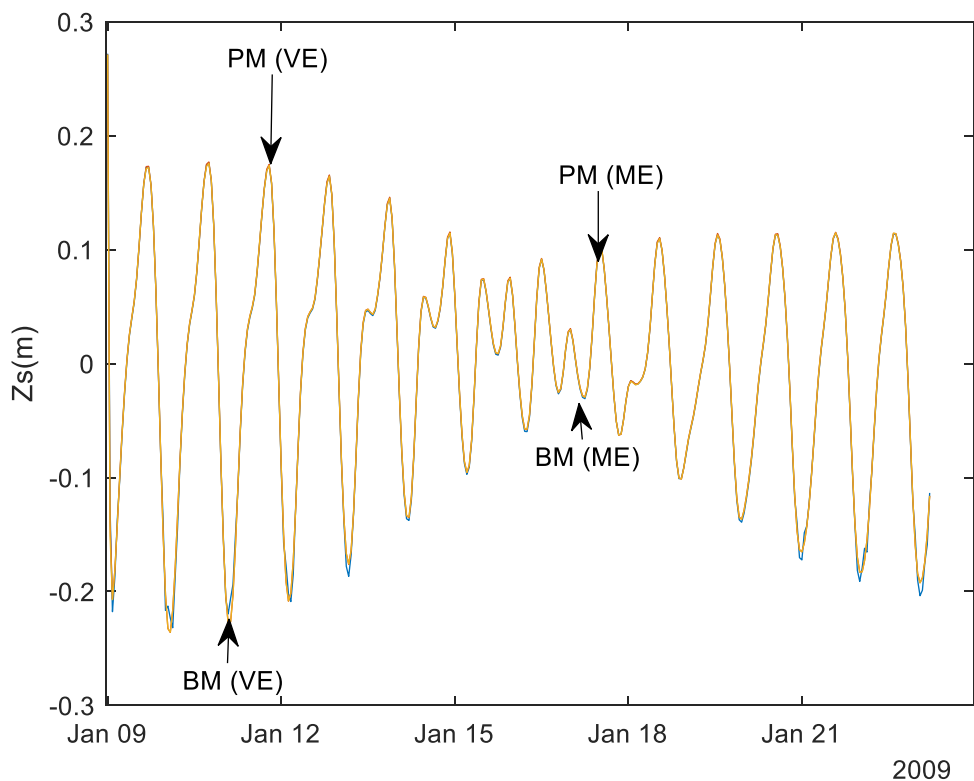
Globalement, le modèle permet de reproduire la variabilité du signal de marées, de type diurne en période de vive-eau (VE) avec une composante semi-diurne plus marquée en morte-eau (ME). En accord avec les observations, l'amplitude de la marée est faible, avec un marnage compris entre 20 et 45cm.



**Figure 2.3 : Position des points de mesures (Rapport NORTEKMED [2])**



**Figure 2.4 : Niveaux d'eau mesurés pour chacun des 3 points**



**Figure 2.5 : Niveau d'eau reproduit par le modèle numérique**

Les courants sont généralement très faibles dans la baie (<10 cm/s), avec des courants les plus forts enregistrés du Sud vers le Nord notamment pour la pleine mer.

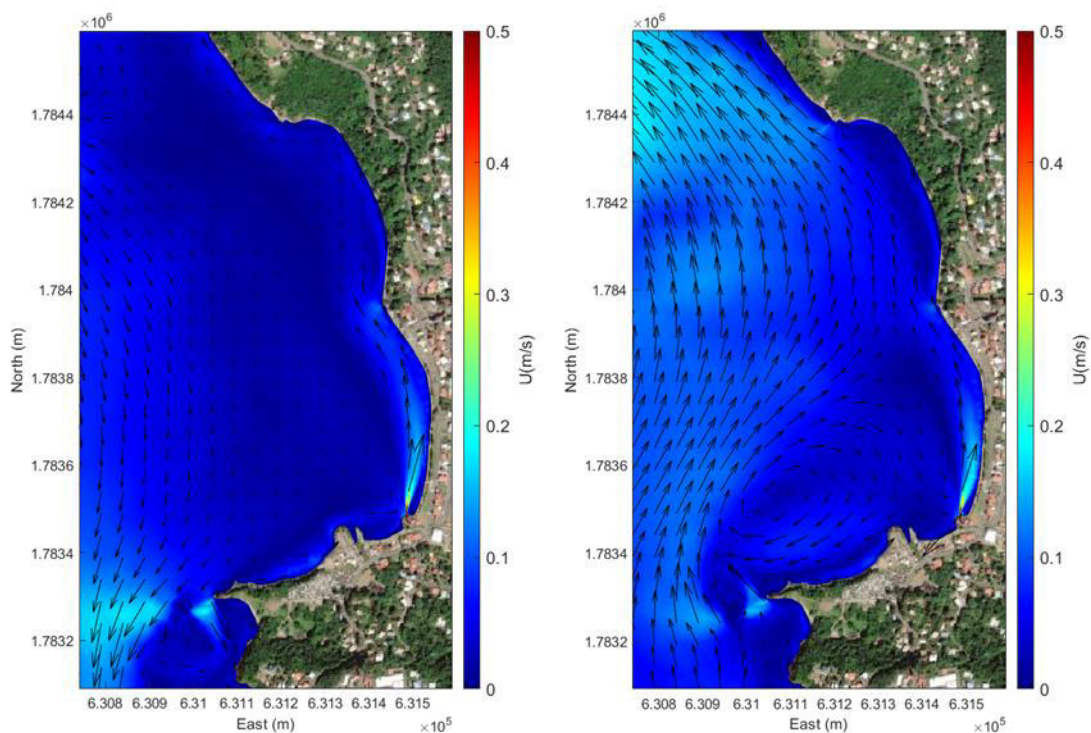
La Figure 2.6 montre une vue 2D des courants moyens simulés en période de morte-eau et la Figure 2.7 en période vive-eau. Les courants simulés sont correctement orientés du Nord vers le Sud en basse-mer (BM) et du Sud vers le Nord à pleine mer (PM).

Ces résultats sont globalement similaires aux observations réalisées sur la période du 9-25/01/2009.

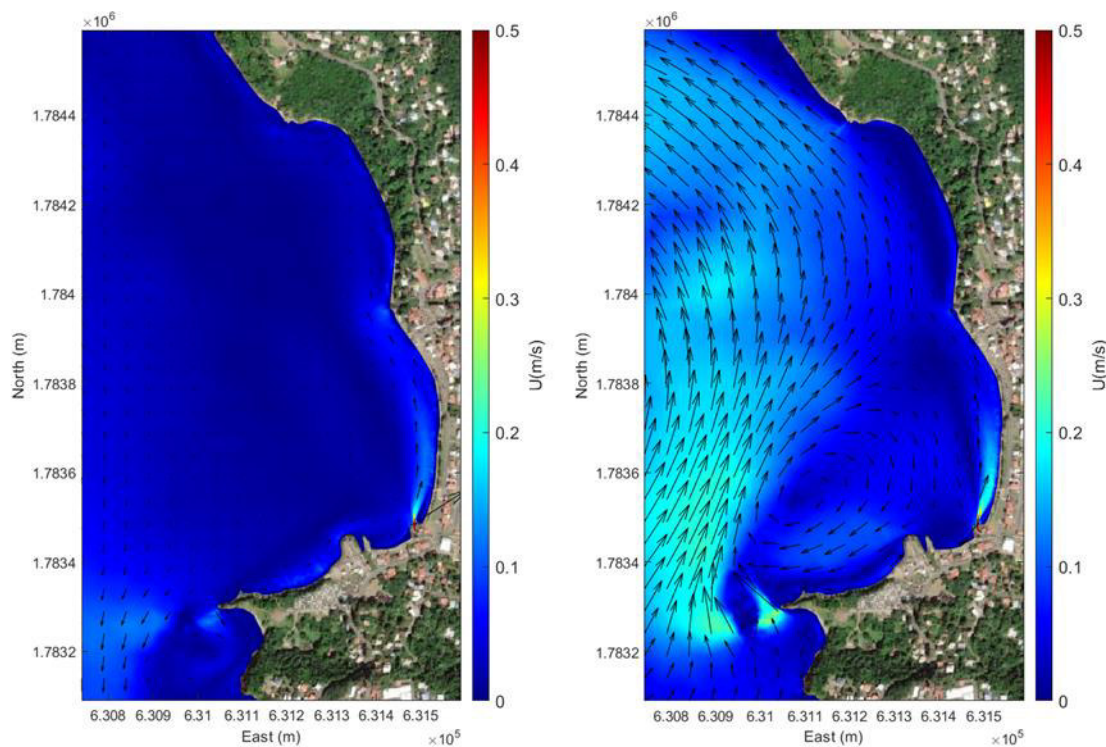
En zoomant sur la localisation de la sortie des rejets, on observe sur la Figure 2.8 que les courants atteignent plus de 1m/s. L'intensité du jet est plus marquée en épisode de pleine-mer car le courant du rejet va dans le sens de celui de la baie.

**GEOthermie Bouillante**  
**MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE**

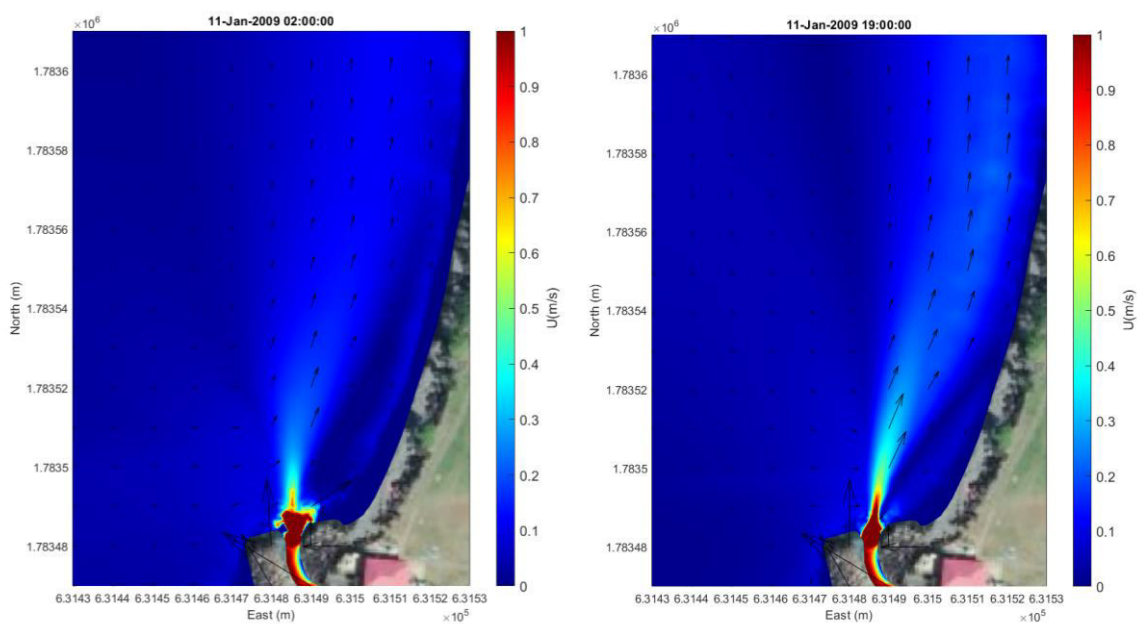
---



**Figure 2.6 : Circulation des courants dans la baie en marée de ME (journée du 15/01 – à gauche BM et à droite PM)**



**Figure 2.7 : Circulation des courants dans la baie en Marée de VE (le 11/01/2009 – à droite BM, à gauche PM)**



**Figure 2.8 : Répartition des courants en sortie du rejet – Marée de VE (la figure de gauche correspond à la BM et la figure de droite à PM)**

## 2.5.2. Calibration thermique

Les écoulements sont nettement stratifiés en zone proche rejet avec des températures en surface supérieures à celle du fond. L’empreinte du panache thermique est donc observée en surface.

La Figure 2.9 montre une vue 2D du panache en marée de VE (le 11 janvier 2009) et la Figure 2.10 en marée de ME (le 17 janvier 2009).

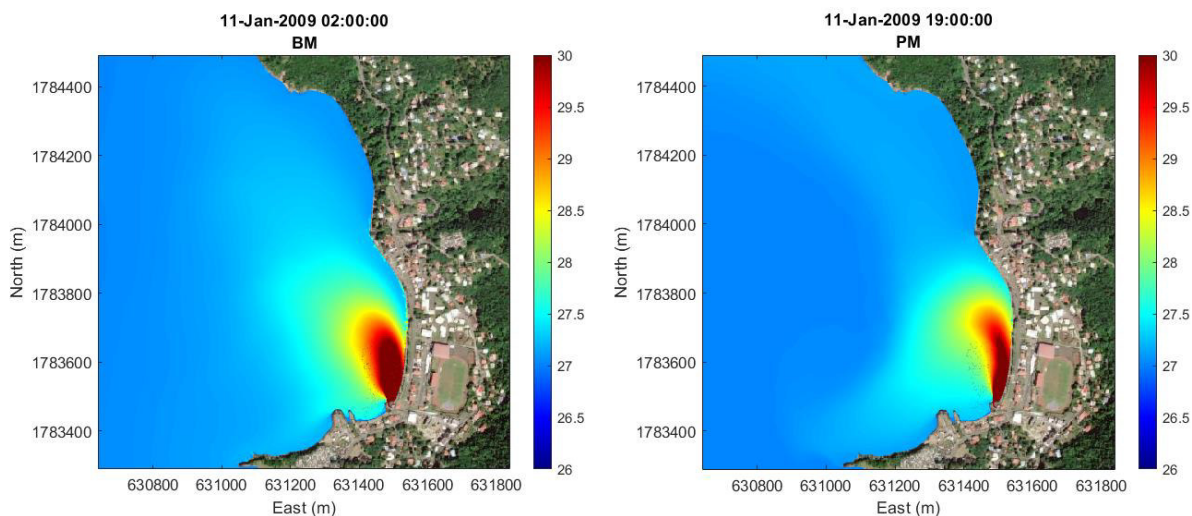
Les résultats sont en accord qualitatif avec les observations réalisées pendant cette période. C’est en marée de ME que les températures maximales dans la baie sont atteintes.

On retrouve sur cette figure la configuration du rejet avec deux branches de dispersion (une vers le sud et une vers le Nord) à PM. A BM le panache diffuse vers le centre de la baie.

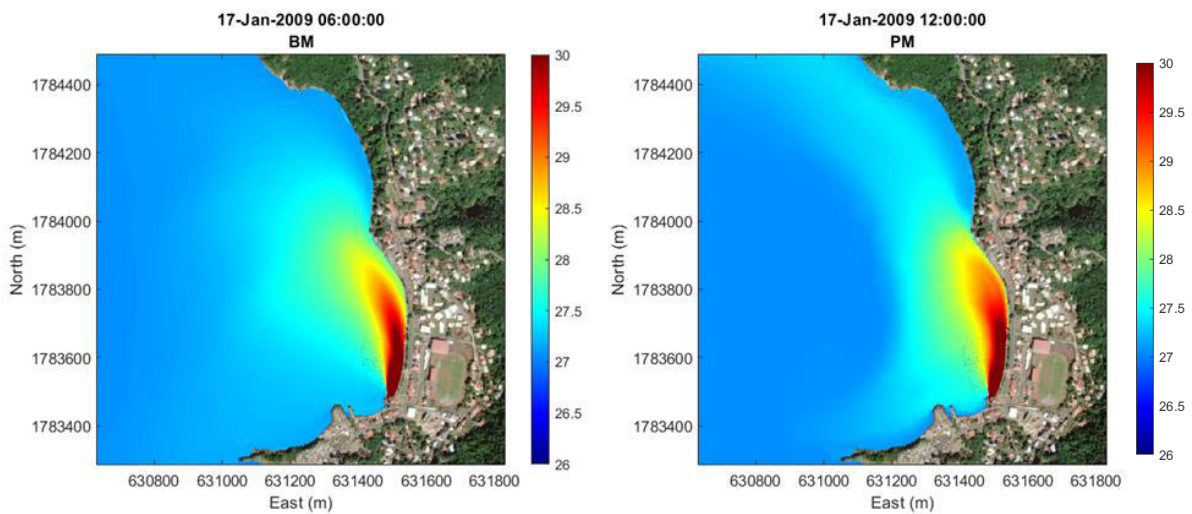
Ces résultats sont en accord qualitatif avec les observations réalisées pendant cette période (cf. Figure 2.12).

**GÉOTHERMIE BOUILLANTE**  
**MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE**

---

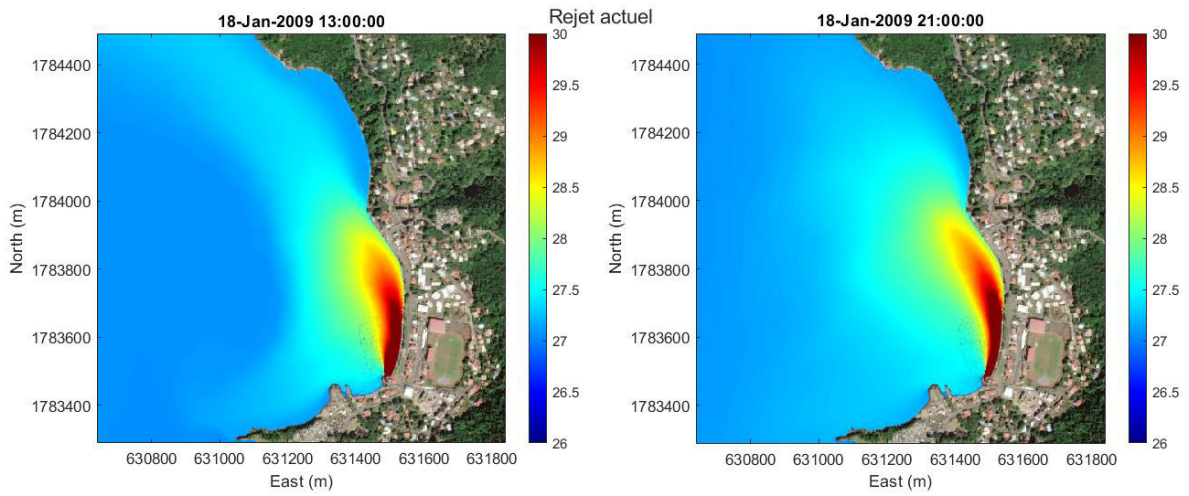


**Figure 2.9 : Panache thermique par marée de VE**

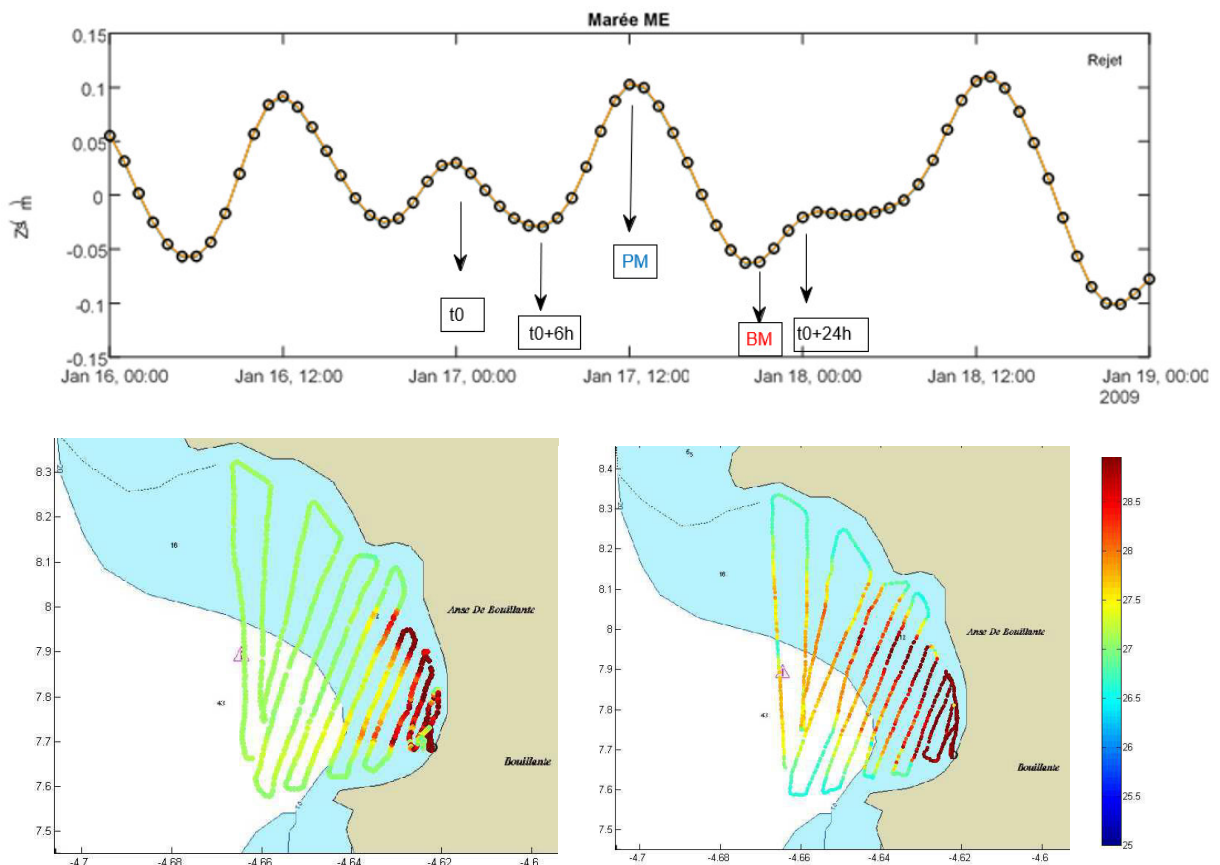


**Figure 2.10 : Panache thermique par marée de ME**

**GEOthermie Bouillante**  
**MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE**



**Figure 2.11 : Vue 2D du panache en surface le 18/01/2009 – La figure de gauche correspond à la pleine mer (PM à 13:00) et celle de droite à la BM.**



**Figure 2.12 : Dispersion du panache – Configuration à deux branches (à gauche) pour PM et une branche (à droite) pour BM.**

### 3. Modélisation du panache thermique

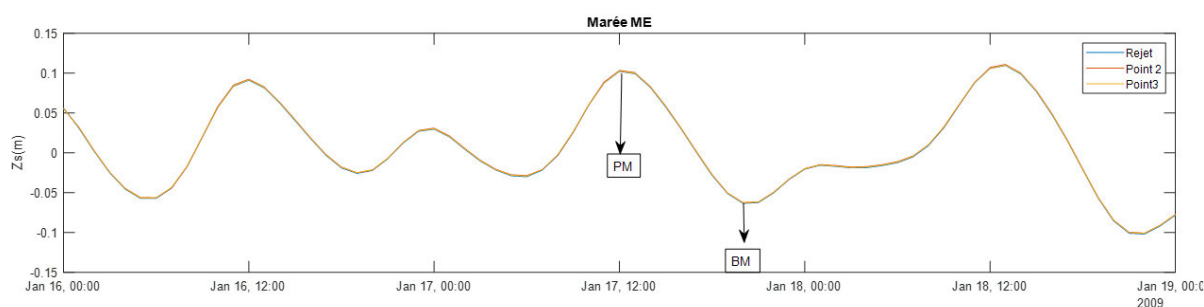
Le modèle correctement calibré avec les observations issues des campagnes de mesures, celui-ci a été utilisé pour étudier l'impact d'une modification du rejet par rapport aux conditions actuelles.

Les panaches thermiques simulés sont comparés à différents instants correspondant à la pleine mer (PM) et à la basse-mer (BM), en vue globale et vue zoomée, pour chaque conditions retenues

- ▶ Scénario 1 : temps calme, sans vent ;
- ▶ Scénario 2: vent d'Est 8 m/s ;
- ▶ Scénario 3 : vent du Nord 6m/s ;
- ▶ Scénario 4 : vent de Sud-Ouest 5 m/s.

Un scénario 5 a été simulé sur un cycle de marée complet (ME-VE) période du 09/01/2009 au 24/01/2009 en tenant compte des effets du vent.

Pour les 4 premiers scénarios, l'étendue du panache (vue 2D) a été analysée à plusieurs instants caractéristiques pendant la journée du 17 janvier comme indiqué sur la Figure 3.1. C'est en surface que les températures sont maximales



**Figure 3.1 : Variation de la surface libre – Rejets en ME**

Les 4 premiers scénarios ont été réalisés pour des marées de mortes-eaux.

Les rejets démarrent le 16 janvier à 00h. Un régime quasi-stationnaire s'établit rapidement. L'extension maximale du panache est observée à pleine mer, tandis que les concentrations sont maximales dans la baie à basse mer.

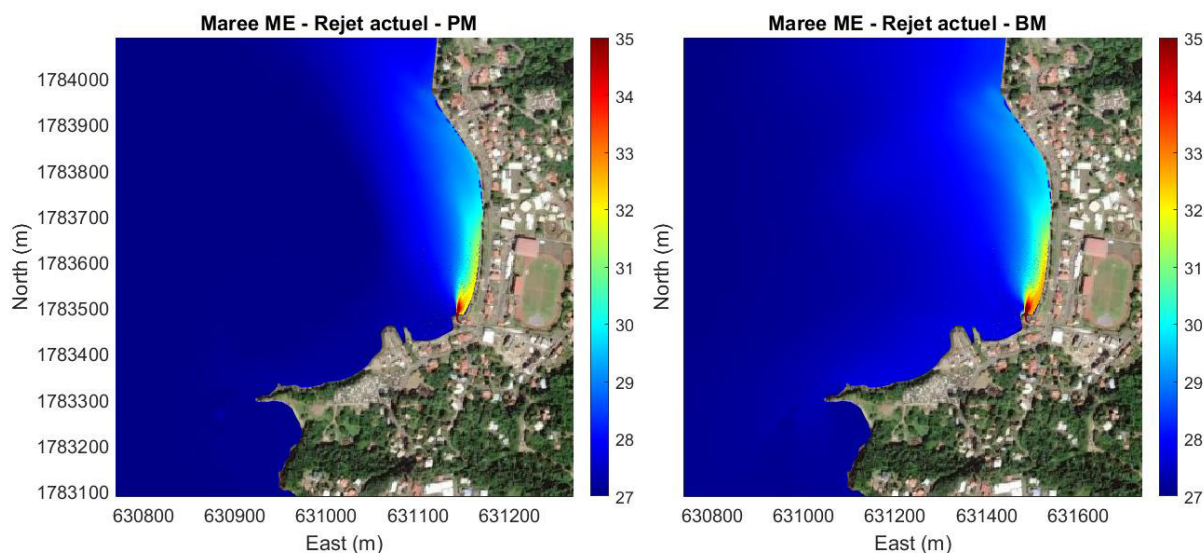
Les panaches thermiques sont tracés aux deux instants caractéristiques PM et BM sur la (vue globale) et sur la (vue zoomée) en comparaison entre le rejet actuel et le rejet futur.

Les températures ont été extraites aux Points 1, 2 et 3 dont les positions sont indiquées sur la Figure 2.3. Le Point 1 est situé à proximité des rejets à une profondeur de 2 m environ, le Point 2 à 300 m environ vers le Nord-Ouest est à -12 m de profondeur, et le Point 3 le plus au large à -15 m de fond.

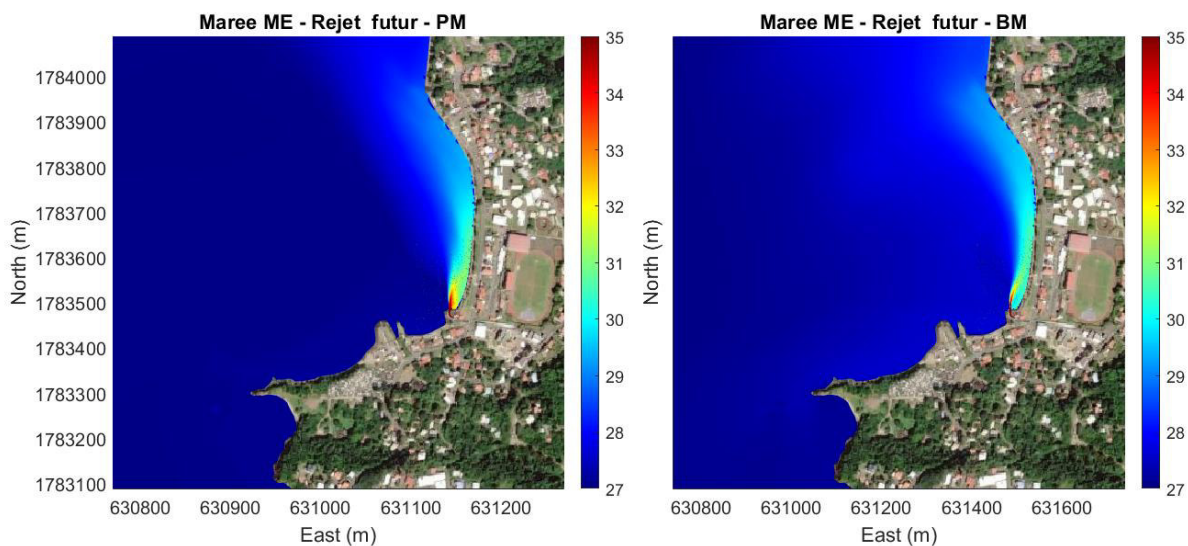
Les résultats obtenus pour les deux rejets sont tracés sur une même figure afin de mettre en évidence l'effet des modifications sur les conditions de dilution.

### 3.1. Résultats pour le scénario 1

Le scénario 1 correspond à un temps calme, sans vent.



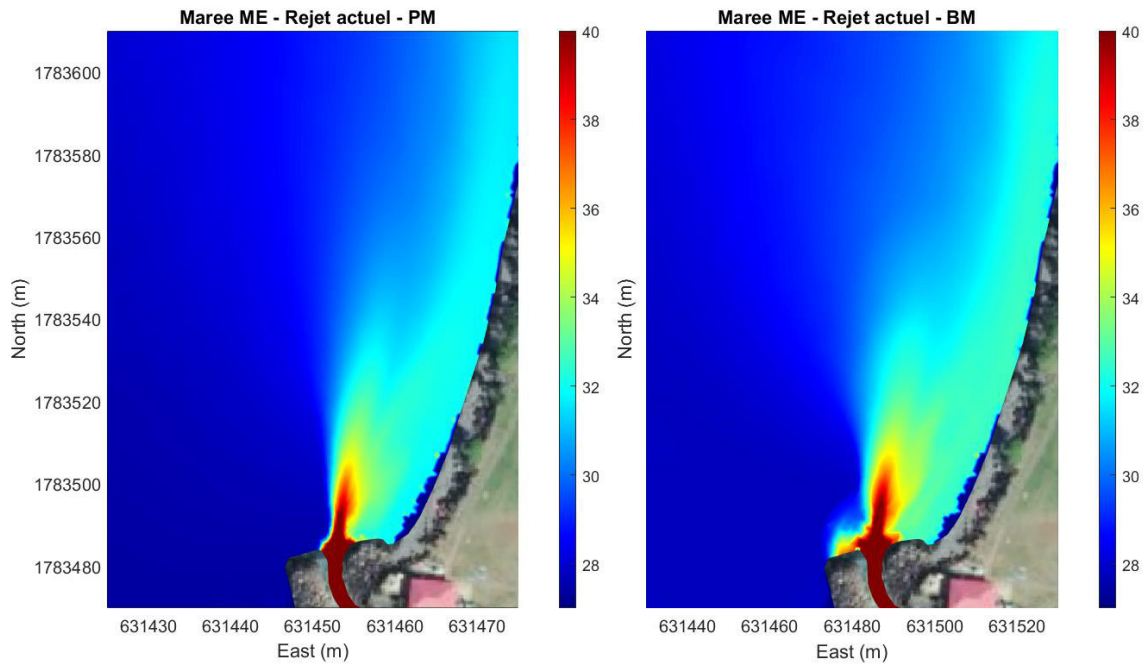
**Figure 3.2 : Résultats pour le scénario 1 : Pas de vent, marée de Mer. Vue globale  
Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**



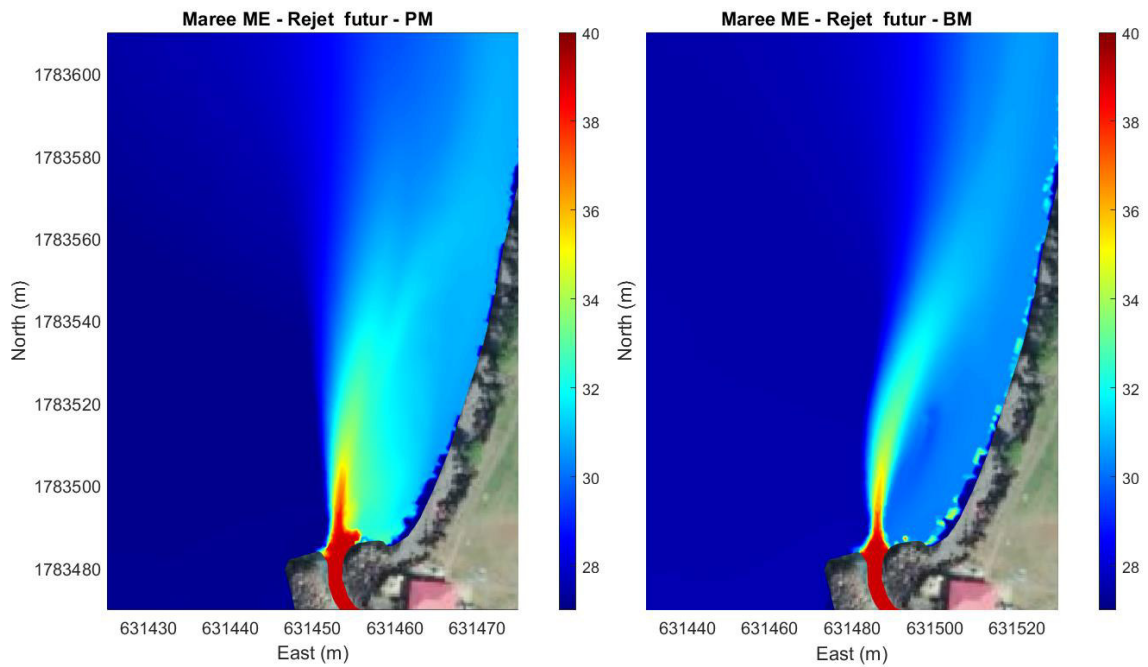
**Figure 3.3 : Résultats pour le scénario 1 : Pas de vent, marée de ME Vue globale  
Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**

**GEOOTHERMIE BOUILLANTE**  
**MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE**

---



**Figure 3.4 : Résultats pour le scénario 1 : Pas de vent, marée de Mer. Vue zoomée Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**

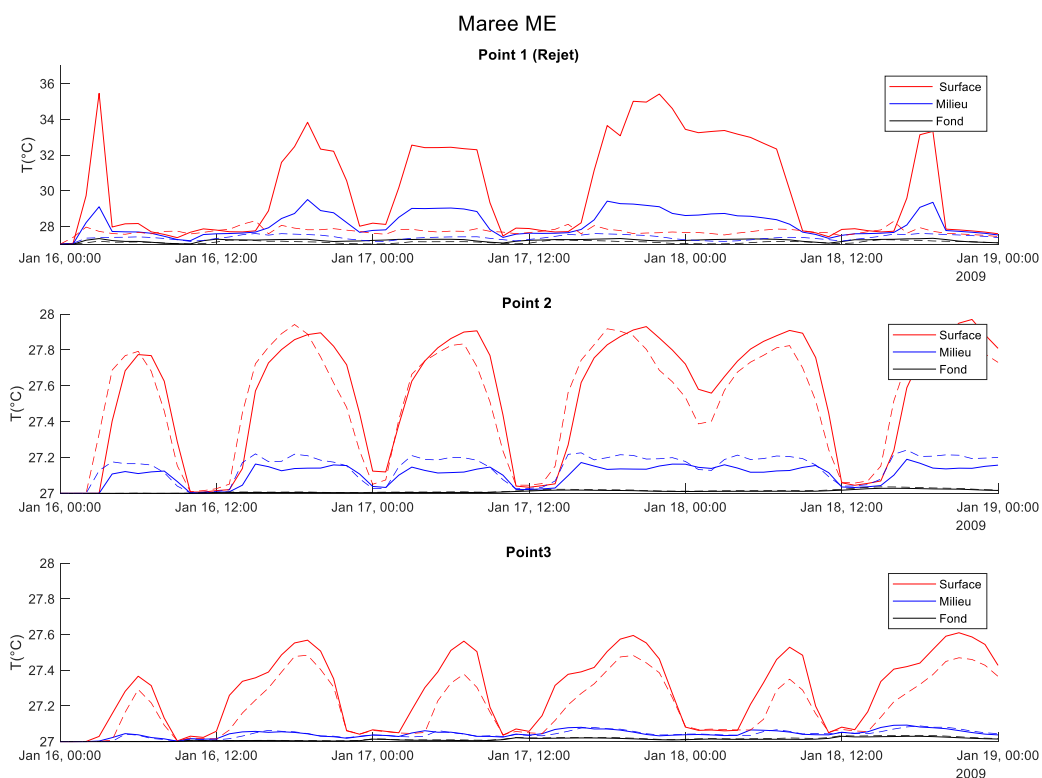


**Figure 3.5 : Résultats pour le scénario 1 : Pas de vent, marée de Mer. Vue zoomée Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**

# GEOOTHERMIE BOUILLANTE

## MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE

Les températures présentées sur la Figure 3.6 sont maximales en surface au niveau du rejet. C'est dans les conditions actuelles que le maximum est atteint autour de 35°C. Les températures sont nettement plus faibles dans les conditions futures. Plus au large, les résultats sont globalement similaires avec des températures maximales de l'ordre de 27,8° C au Point 2 et 27,5° C au Point 3.



**Figure 3.6 : Variation des températures aux trois points de contrôle– comparaison des conditions de rejet actuelle (trait plein) et futures (trait pointillé) pour le scénario 1**

### 3.2. Résultats pour le scénario 2

Le scénario 2 correspond à des conditions de vents d'Est de 8 m/s.

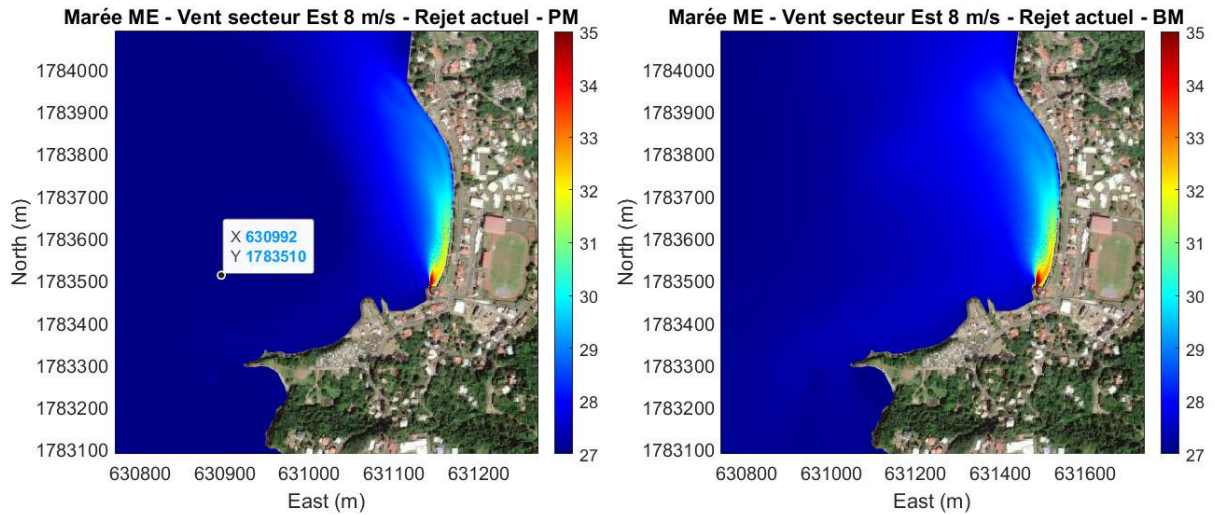


Figure 3.7 : Résultats pour le scénario 2 : Vent d'Est 8m/s. Vue globale Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite

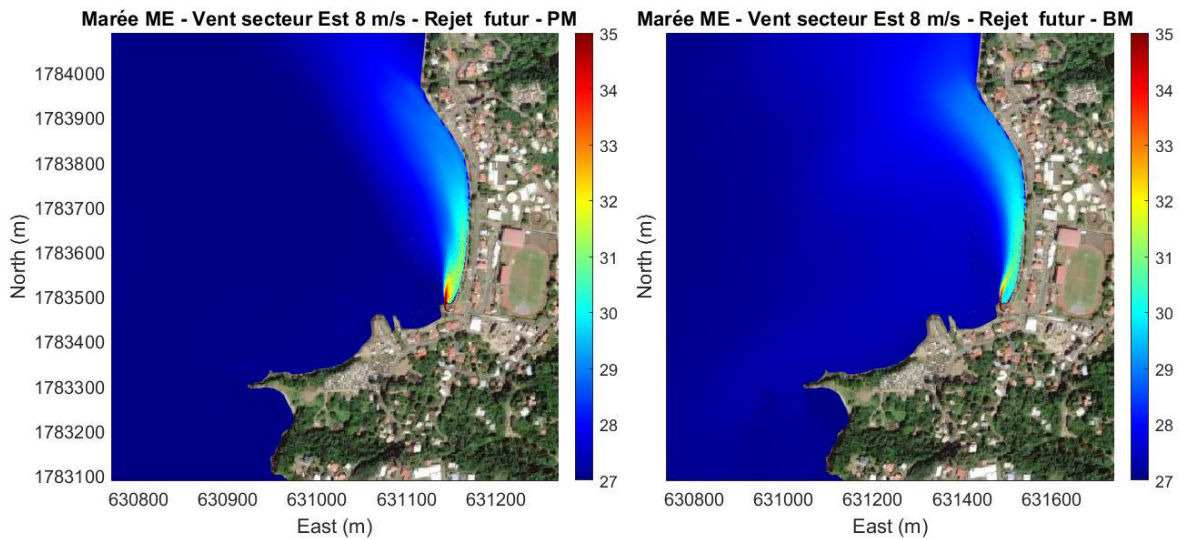
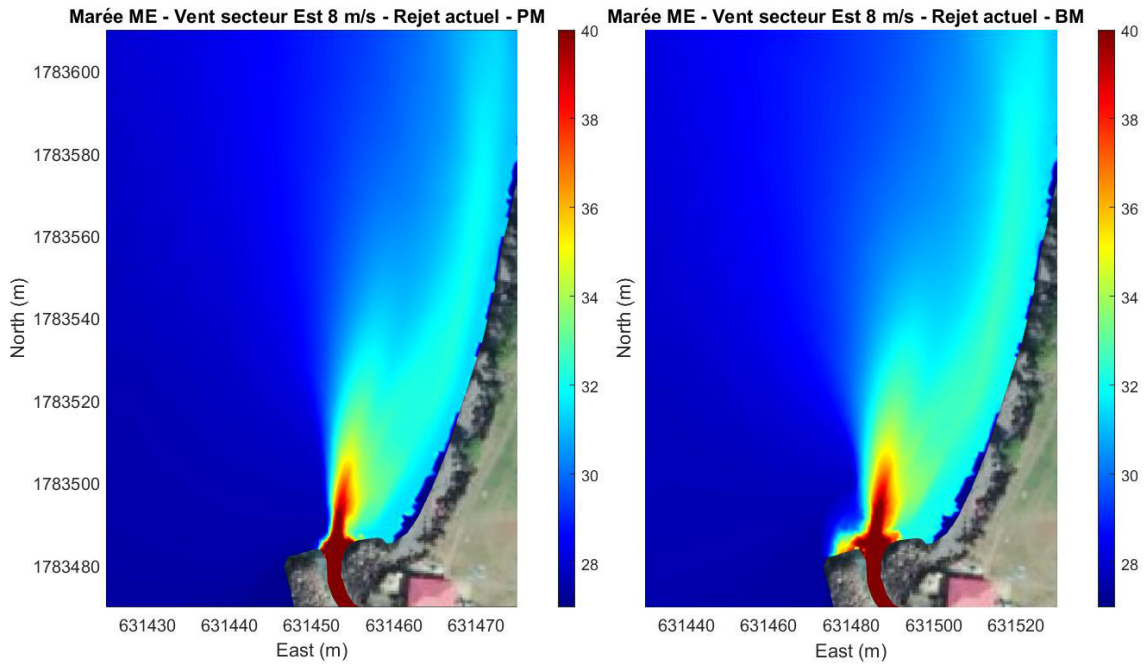


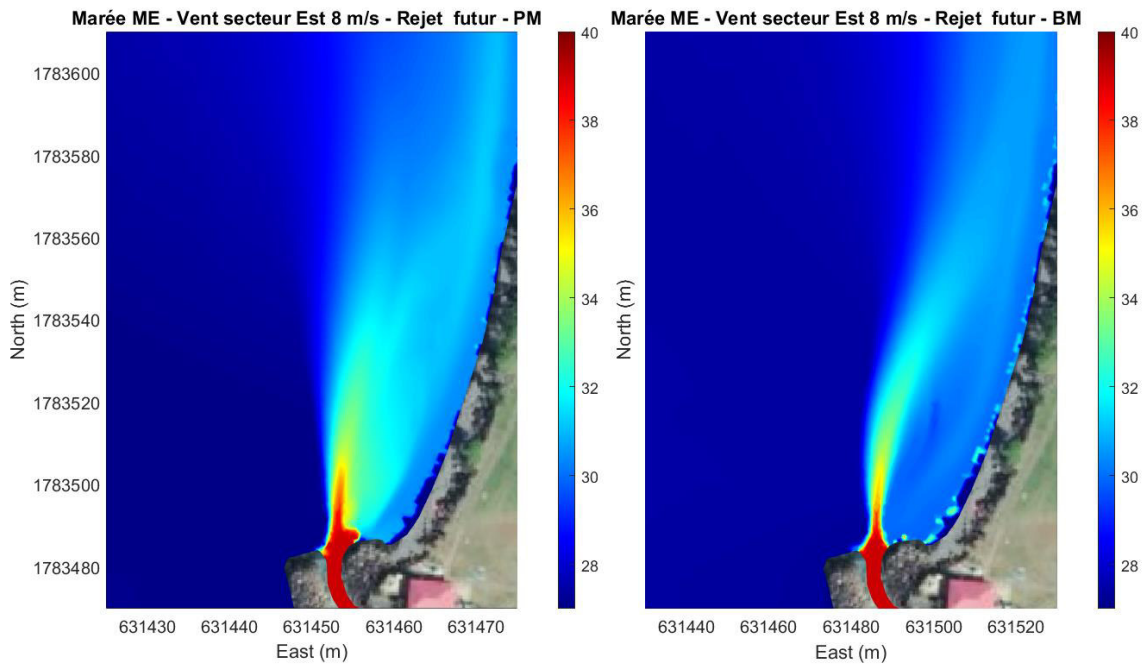
Figure 3.8 : Résultats pour le scénario 2 : Vent d'Est 8m/s. Vue globale Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite

**GEOOTHERMIE BOUILLANTE**  
**MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE**

---



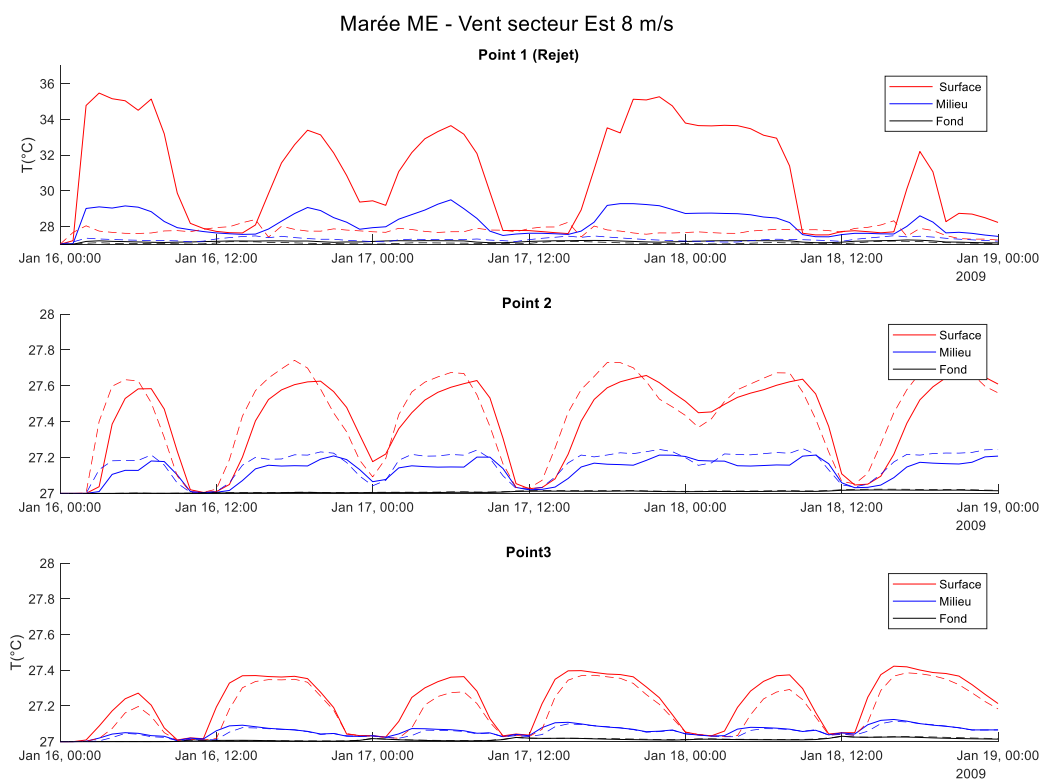
**Figure 3.9 : Résultats pour le scénario 2 : Vent d'Est 8m/s. Vue zoomée  
Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**



**Figure 3.10 : Résultats pour le scénario 2 : Vent d'Est 8m/s. Vue zoomée  
Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**

Les résultats obtenus par vent de secteur Est sont présentés sur la Figure 3.11.

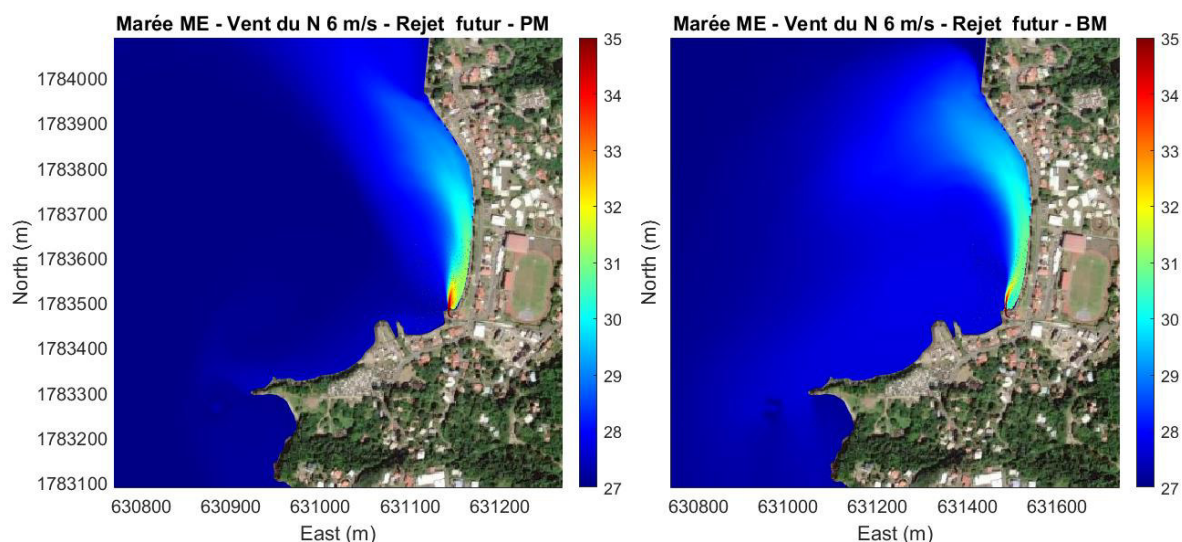
Les températures maximales sont atteintes au Point 1 et de l'ordre 35°C. Les résultats sont globalement similaires au cas Marée seule avec une tendance à la diminution des températures en surface aux Points 2 et 3 et une légère augmentation en profondeur (ce qui est dû à une augmentation des mélanges).



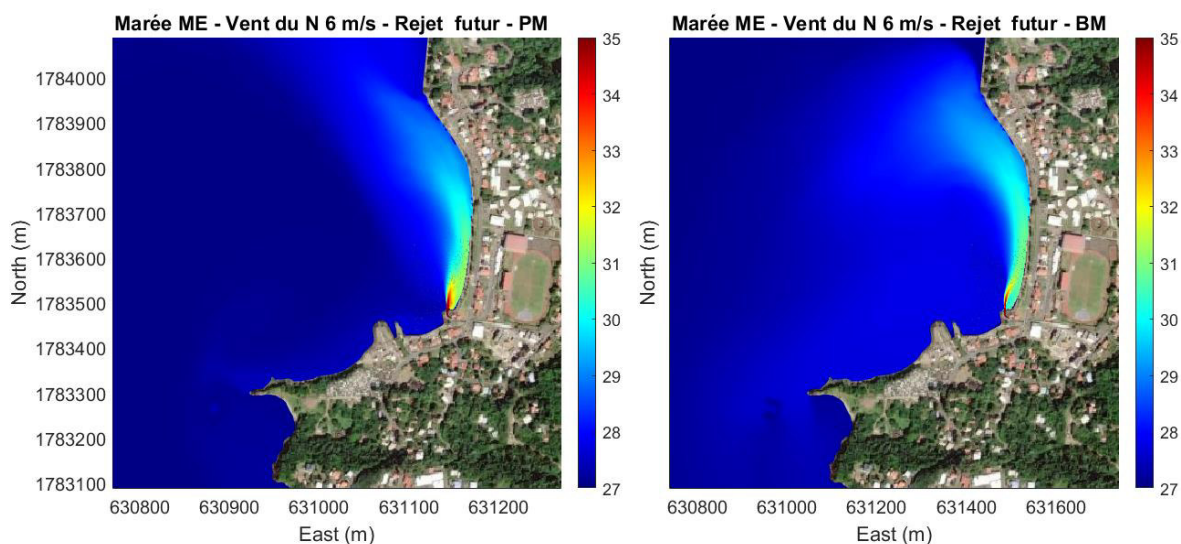
**Figure 3.11 : Variation des températures aux trois points de contrôle- comparaison des conditions de rejet actuelle (trait plein) et futures (trait pointillé) pour le scénario 2**

### 3.3. Résultats pour le scénario 3

Le scénario 3 correspond à des conditions de vents du Nord à 6 m/s.

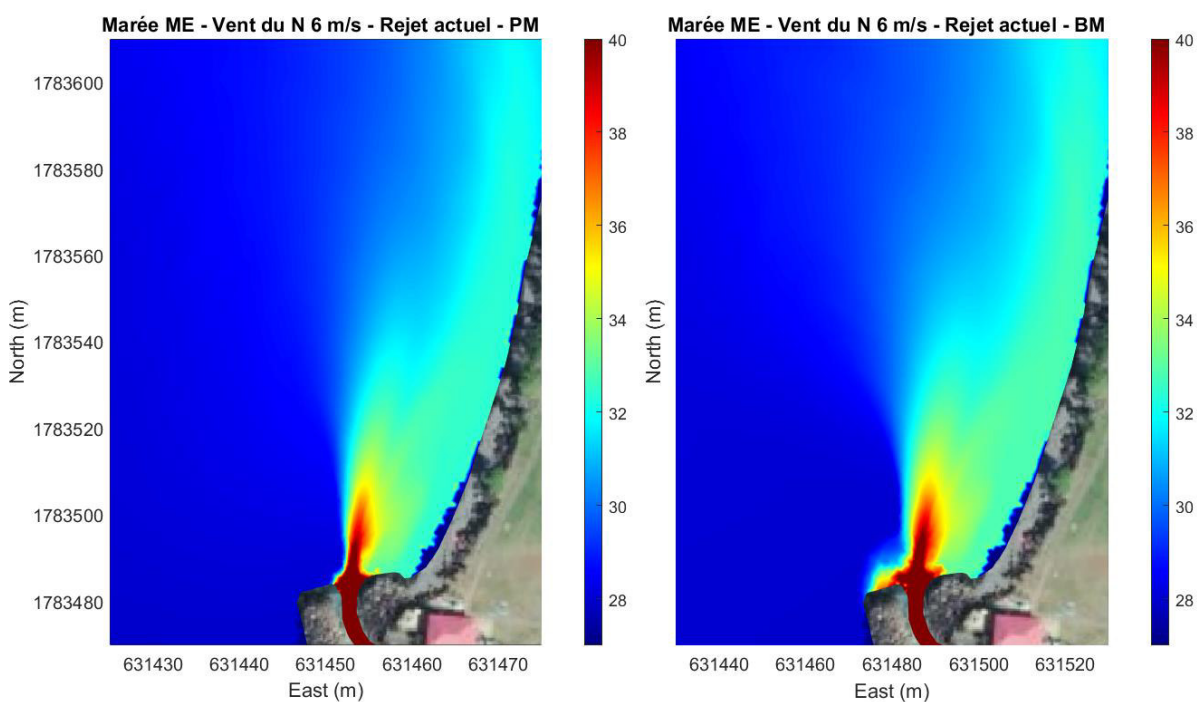


**Figure 3.12 : Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue globale  
Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**

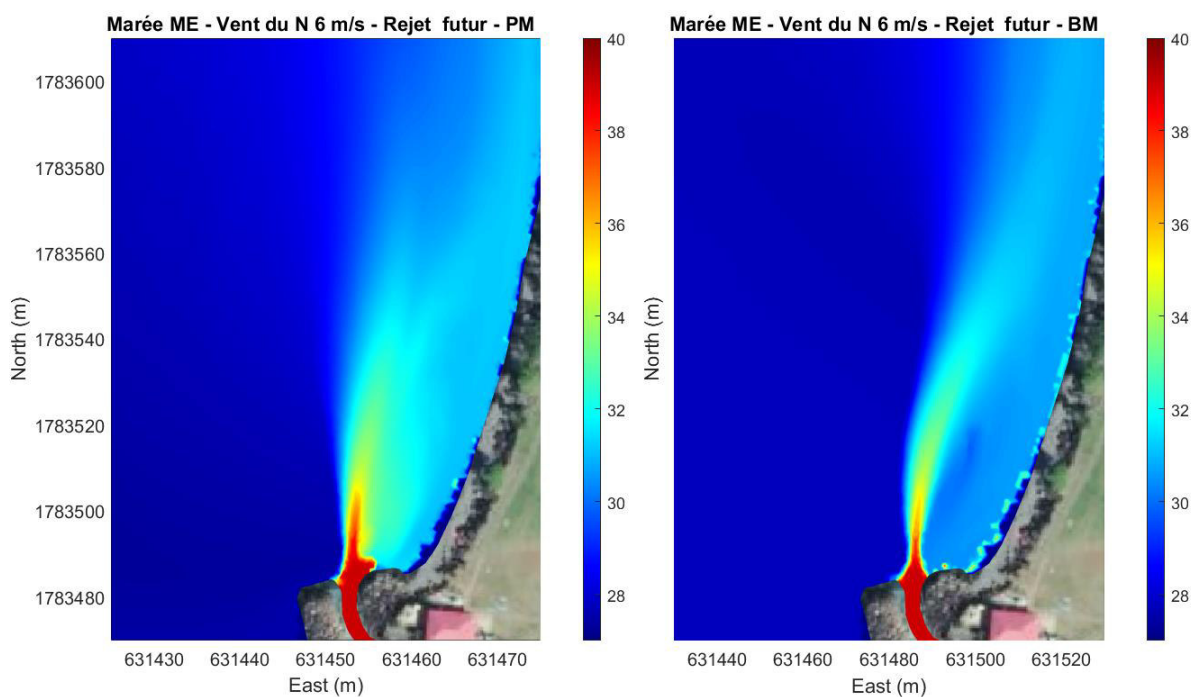


**Figure 3.13 : Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue globale  
Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**

**GEOOTHERMIE BOUILLANTE**  
**MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE**



**Figure 3.14 : Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue zoomée**  
**Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**

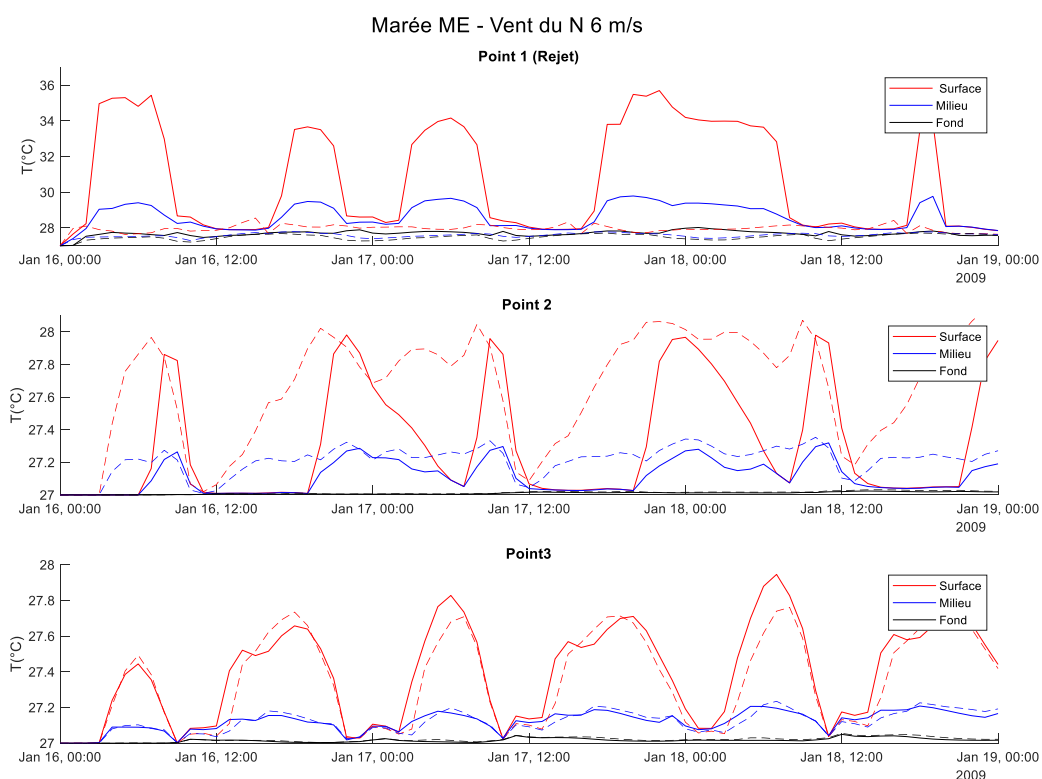


**Figure 3.15 : Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue zoomée**  
**Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**

## GÉOTHERMIE BOUILLANTE

### MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE

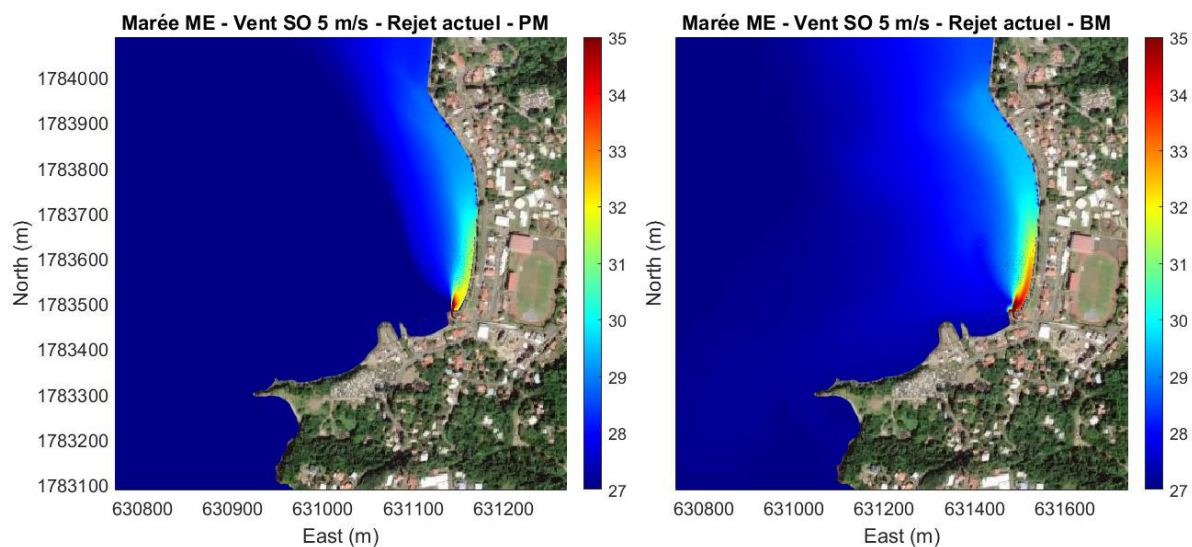
Les résultats obtenus par vent de secteur Nord sont présentés sur Figure 6 4. Le vent du Nord a tendance à bloquer l'extension du panache qui reste d'avantage confiné dans la baie. Les températures atteignent des valeurs de près de 28°C au Point 2. Les conditions de rejet futur sont particulièrement sensibles et deviennent supérieures à celles de rejet actuel.



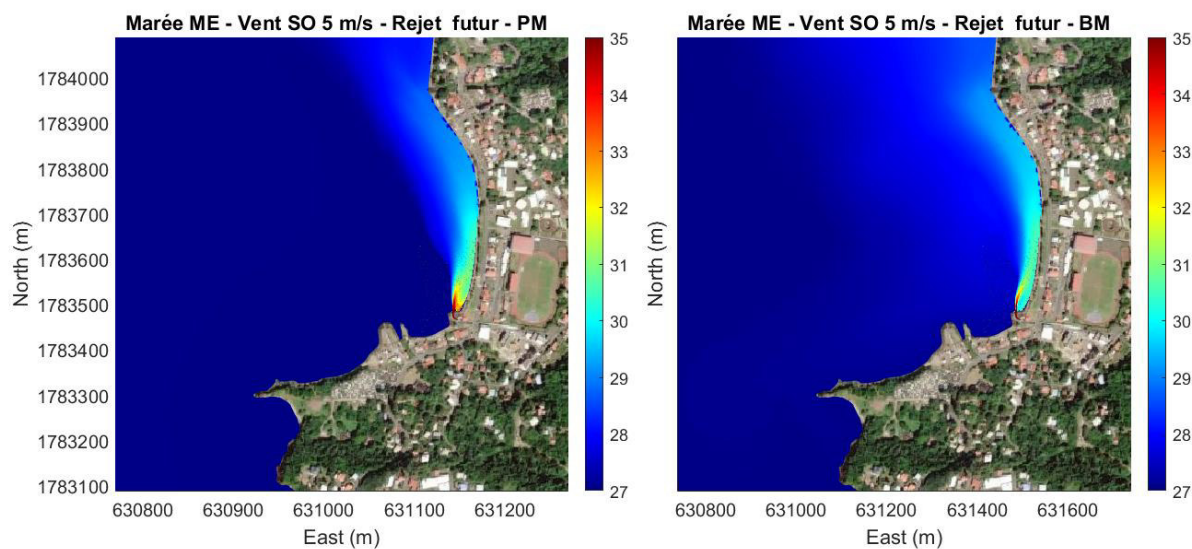
**Figure 3.16 : Variation des températures aux trois points de contrôle– comparaison des conditions de rejet actuelle (trait plein) et futures (trait pointillé) pour le scénario 3**

### 3.4. Résultats pour le scénario 4

Le scénario 4 correspond à des conditions de vents de Sud-Ouest à 5 m/s.

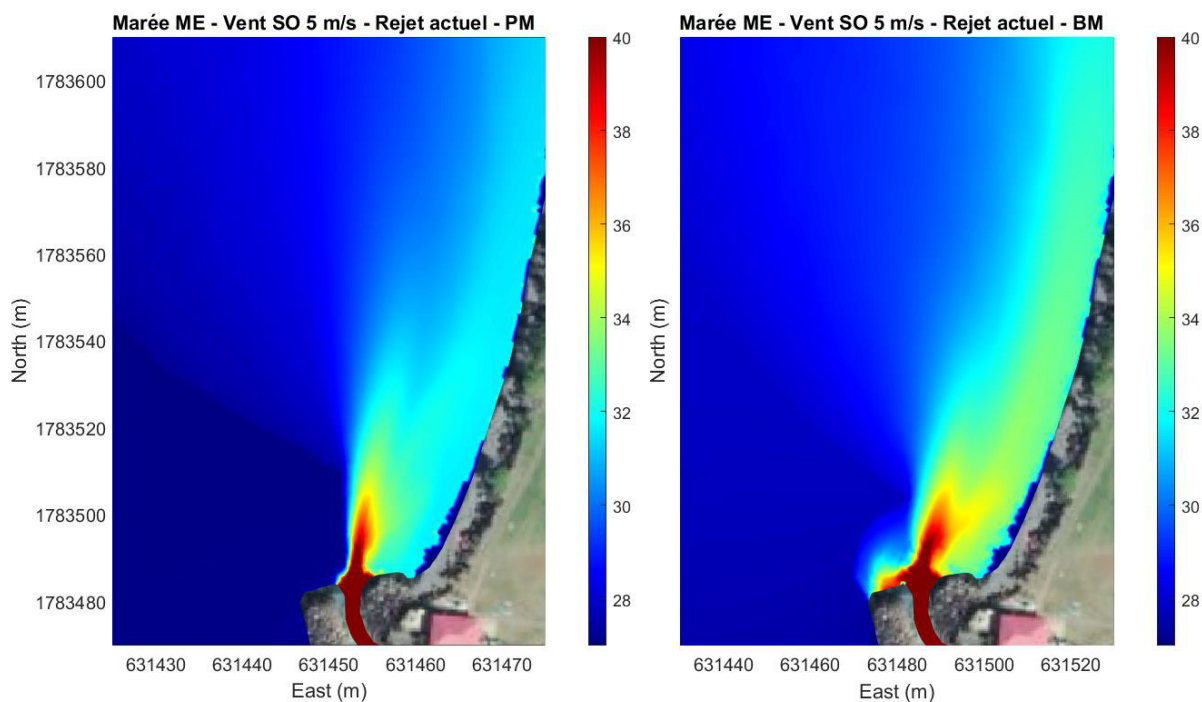


**Figure 3.17 : Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue globale Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**

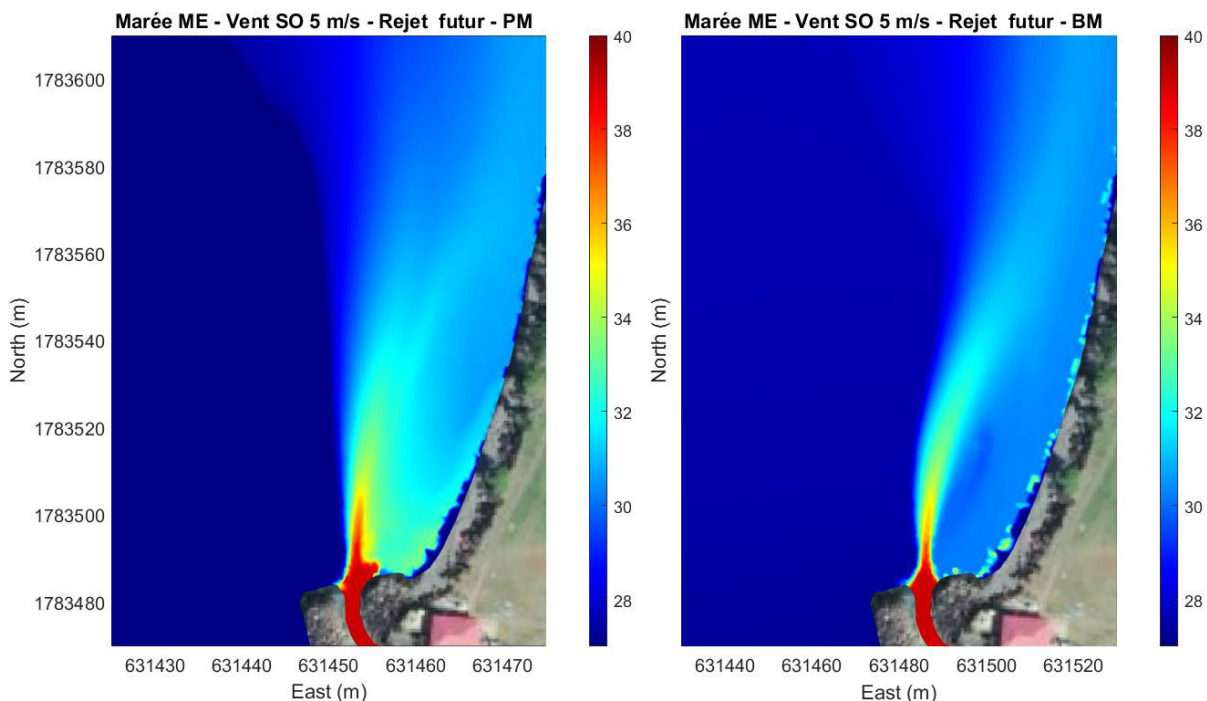


**Figure 3.18 : Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue globale Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**

**GEOOTHERMIE BOUILLANTE**  
**MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE**



**Figure 3.19 : Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue zoomée Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**



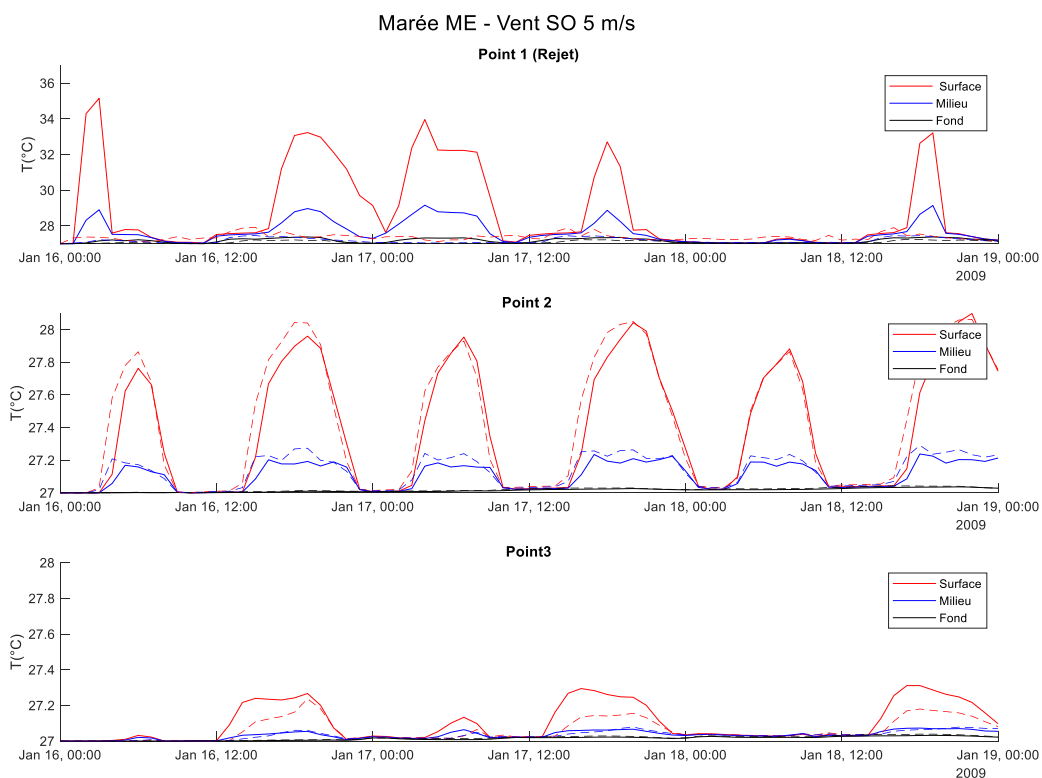
**Figure 3.20 : Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue zoomée Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite**

## GÉOTHERMIE BOUILLANTE

### MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE

---

Le vent du Sud-Ouest a tendance à favoriser l'extension du panache et on observe (Figure 3.21) une légère augmentation des températures au Point 2 avec des valeurs maximales de 28° tandis que plus au large les températures sont très faibles.



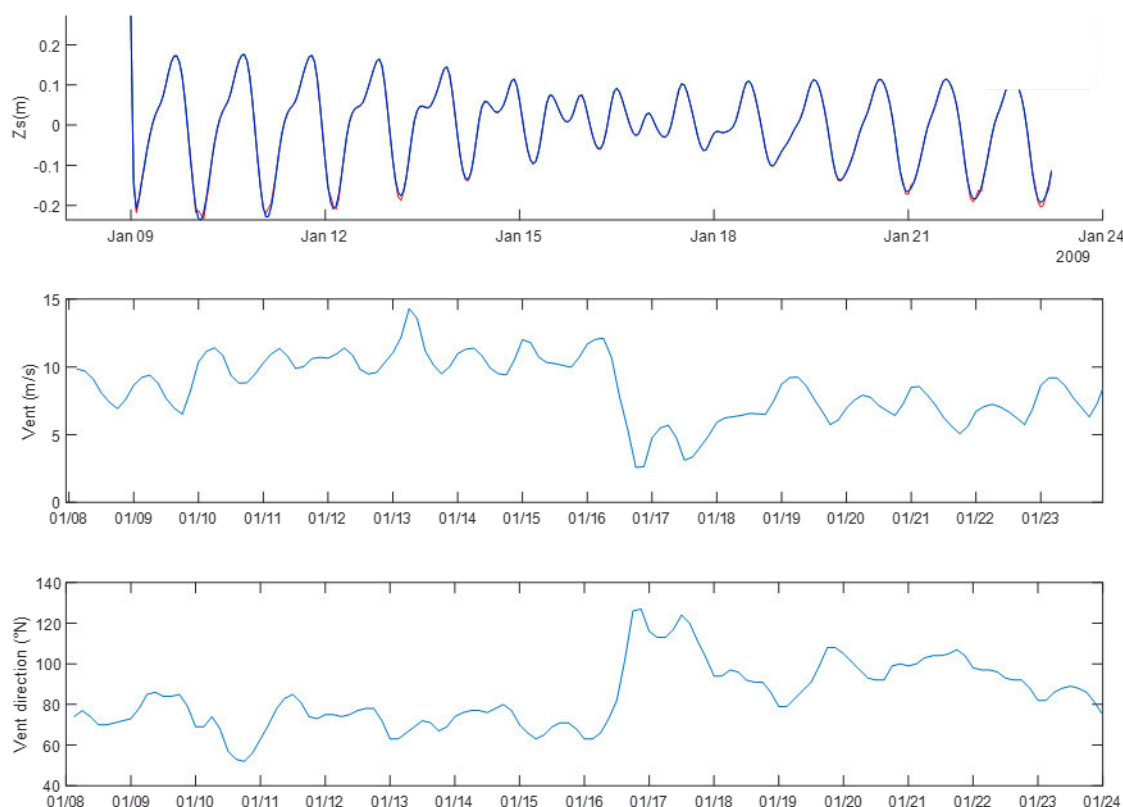
**Figure 3.21 : Variation des températures aux trois points de contrôle– comparaison des conditions de rejet actuelle (trait plein) et futures (trait pointillé) pour le scénario 4**

## 3.5. Résultats pour le scénario 5

### 3.5.1. Hypothèses

Pour comparer les effets à plus long terme des rejets, les simulations pour les deux rejets ont été lancées sur la période du 09/01/2009 au 24/01/2009 en tenant compte des effets du vent. Les données de vent du modèle WW3 ont été extraites, en un point situé au large de la côte Ouest de la Guadeloupe, et ont été imposées uniformément dans le modèle TELEMAC-3D.

Les variations du niveau de la surface libre et le vent modélisés sont présentés sur la Figure 3.22. Les rejets démarrent le 09/01 et sont maintenus constants pendant la durée du cycle jusqu'au 24/01. Au cours de cette période, le vent d'Est a soufflé en continu avec une intensité comprise entre 6 et 12 m/s pour un angle d'incidence compris entre 60°N (secteur ENE) à 120°N (secteur ESE).

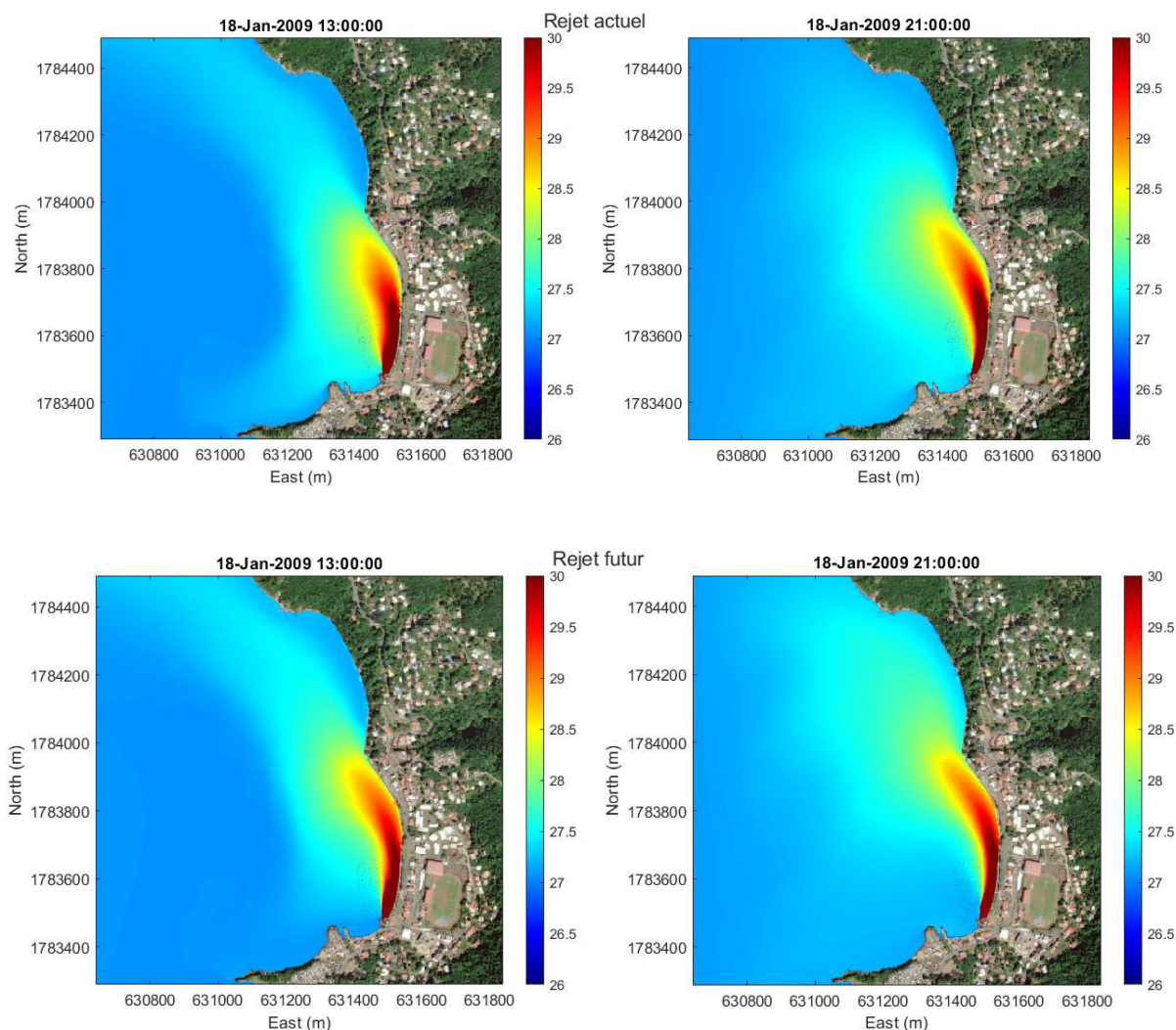


**Figure 3.22 : Variation de la surface libre (figures du haut) et du vent (intensité et direction) pendant toute la période de mesures (09/01/2009 au 24/01/2009).**

### 3.5.2. Effet de la modification des rejets sur l'étendue du panache

Les températures maximales dans la baie sont atteintes en période de ME, entre le 17 et le 18 janvier 2009, lorsque l'intensité des vents a chuté à environ 5 m/s. Les résultats obtenus pour les deux conditions de rejet sont comparés sur la Figure 3.23

La modification des débits de rejet se traduit par un allongement du panache vers le Nord.



**Figure 3.23 : Vue 2D du panache en surface pendant la journée du 18/01/2009**

*En haut les conditions de rejet actuelles et en bas les conditions futures. Les figures de gauche correspondent à la PM (t=13 :00) et celle de droite à la BM suivante (t=21h)*

### 3.5.3. Effet de la modification des rejets sur les températures ponctuelles

Les températures enregistrées au Point 1 situé au rejet (figure du haut), au Point 2 (milieu) et Point 3 (en bas) sont comparées sur la Figure 3.24. Les conditions de rejet futur sont tracées en trait pointillé, les rejets actuels en trait plein.

Au point 1 (en haut), l'augmentation des débits de rejet entraîne une amélioration des conditions de dilution et se traduit par une diminution globale des températures de surface en zone proche rejet. Cet effet est particulièrement marqué la journée du 18/01 (vent faible et marée de ME).

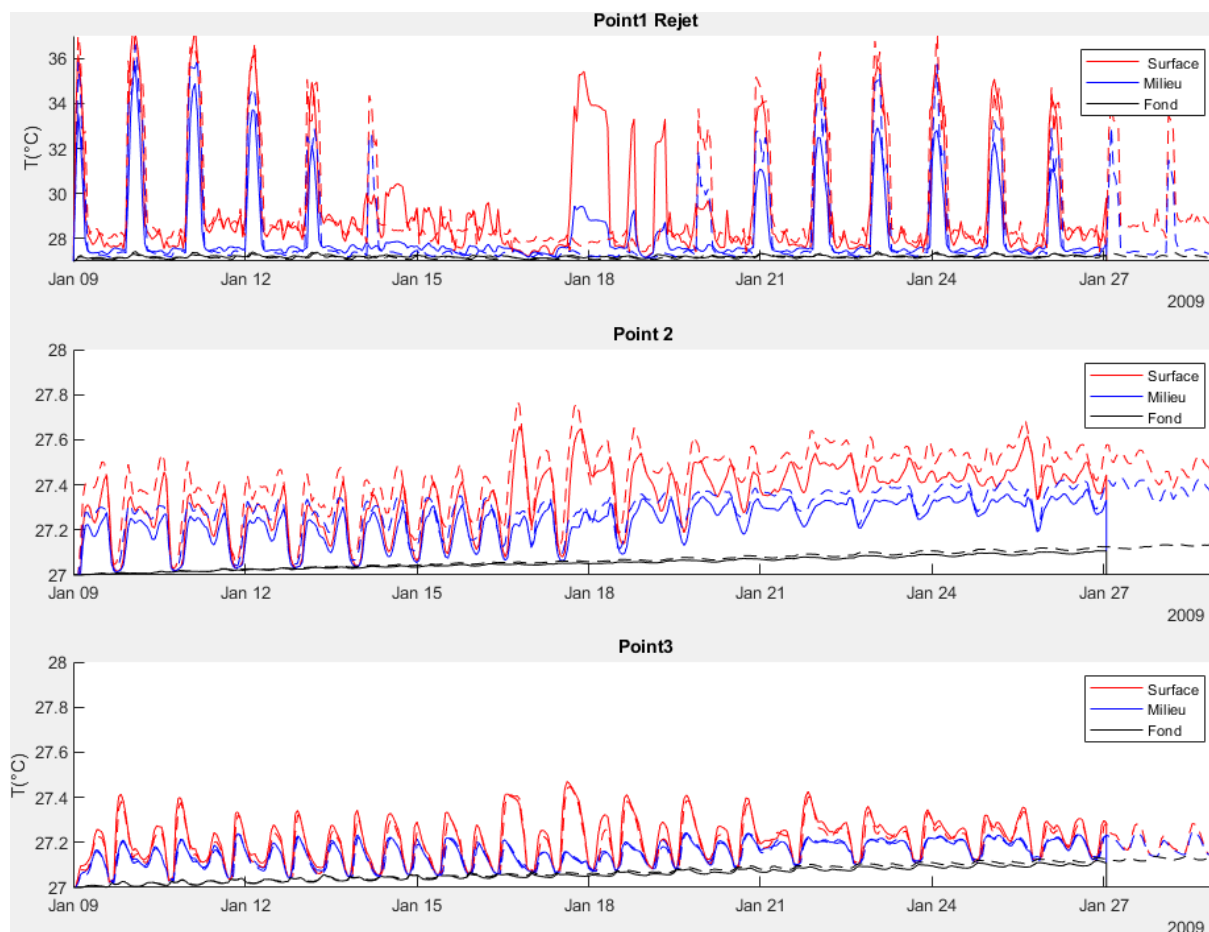
Plus au large, les résultats sont sensiblement les mêmes entre les deux rejets avec une légère augmentation des températures de surface au Point 2 (milieu de baie). Cette augmentation est cependant très faible (inférieure à 0.1°C). Les pics de température en surface sont observés en période de VE entre le 16 et le 18 janvier.

## GÉOTHERMIE BOUILLANTE

### MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE

Au niveau du Point 3 situé plus au large, les résultats sont identiques entre les deux conditions de rejet. Les pics de température sont cycliques avec une amplitude de 0.5 °C environ ; les pics de température sont observés à mi-marée lorsque le panache atteint son extension maximale.

Les effets à plus long terme se traduisent par une tendance globale à une faible augmentation des températures de l'ordre de 0.1°C sur 15 jours. Cette tendance est globalement la même dans les deux conditions de rejet.



**Figure 3.24 : Variation des températures au niveau des différents points de mesure. En trait plein les rejets actuels et en trait continu les rejets futurs.**

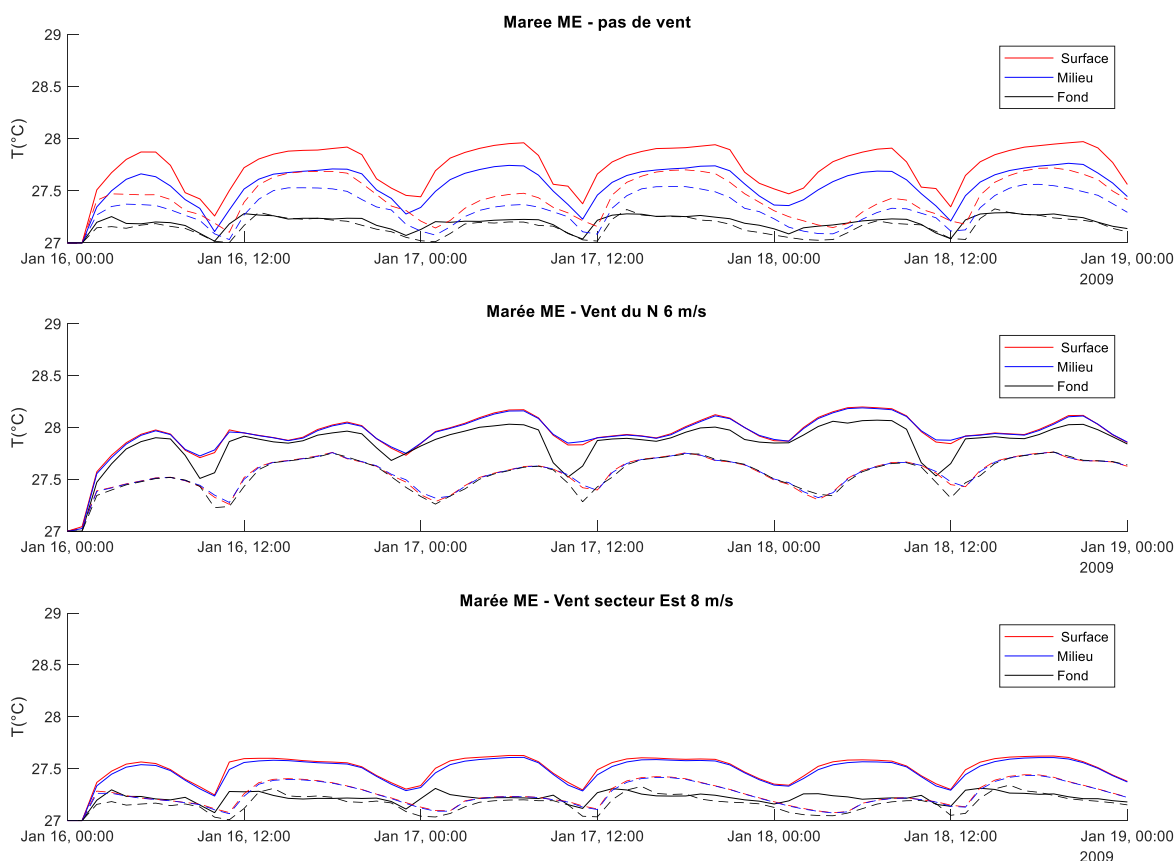
## 4. Risques de recirculation

Pour estimer les risques de recirculation du panache thermique, les températures en entrée du circuit d'aspiration sont présentées sur la Figure 4.1.

Par temps calme (Figure du haut) les effets de stratification sont encore sensibles en entrée du canal d'aspiration. Les valeurs maximales sont atteintes en surface et autour de 28. °C (soit un échauffement de +1 °C) dans les conditions actuelles et de 27,7 °C dans les conditions futures (soit un échauffement de + 0,7°C).

C'est en condition de vent du Nord (Figure du milieu) que les températures au niveau du point d'aspiration sont les plus importantes et que les risques de ré-aspiration du panache sont maximums. Les températures sont bien mélangées et atteignent 28,2 °C dans les conditions actuelles contre 27,75 °C dans les conditions futures.

Les conditions de rejet futures permettent donc de minimiser les risques de recirculation du panache. Ce résultat est valable quelles que soient les conditions de vent étudiées – en particulier dans les conditions les plus fréquentes (Vent d'Est).



**Figure 4.1 : Température au niveau de l'aspiration – Marée de ME**

La figure en haut est obtenue par temps calme, la figure du milieu par vent du Nord (6m/s) et celle en bas par vent d'Est (8m/s). Les courbes en rouge représentent les températures de surface, en bleu à mi-hauteur et en noir au fond. En traits pleins, les rejets actuels et en pointillés les rejets futurs.

## 5. Conclusions

Les effets d'une modification des conditions de rejet sur la dilution du panache thermique dans la baie de Bouillante ont été étudiés sur modèle numérique.

L'augmentation des débits de rejet (de 9 000 m<sup>3</sup>/h à 13 500 m<sup>3</sup>/h) permet globalement d'améliorer les conditions de dilution en zone proche de rejet. On observe une diminution des températures de surface particulièrement sensible en période de ME.

Plus au large, les températures sont sensiblement les mêmes avec des valeurs maximales inférieures à 28° (soit un échauffement inférieur à +1°C).

C'est par vent du Nord que les températures maximales sont observées dans la baie et plus au large avec un échauffement maximal de près de 1°C.

Dans les conditions les plus fréquentes - par vent d'Est – la modification des rejets se traduit par un allongement du panache vers le Nord et une légère augmentation des températures de 0.1°C au centre de la baie.

## 6. Références

1. Références Altimétriques Maritimes – Ports de France Métropolitaines et d’outre-mer. Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée. 2020. SHOM.
2. Rapport d’étude pour Caraïbes Environnement. Mesures de courant et houle. NortekMed. Février 2009.

# ANNEXES

## Annexe 1 : Climat de houles au large



**GÉOTHERMIE BOUILLANTE**  
**MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE**

**Corrélogramme Hm0/Dirp au point OP**

GlobOcean R21-035		Hm0/Dirp --- ANNUEL				CREOCEAN BOUILLANTE		
Hm0 (m)	% of calm	[0.25 0.5(	[0.5 1.0(	[1.0 1.5(	[1.5 2.0(	[2.0 2.5(	[2.5 3.0(	
Dirp (N)								
[355.0 5.0(		0,2161	6,9149	5,0888	0,3987	0,0274		% calm 0,0837 12,6459
[5.0 15.0(		0,3531	5,1497	2,8838	0,2922	0,0015		8,6802
[15.0 25.0(		0,6346	8,5249	4,2655	0,3226			13,7477
[25.0 35.0(		0,6270	7,3395	2,4181	0,1339			10,5185
[35.0 45.0(		0,3911	2,1777	0,8415	0,0791			3,4894
[45.0 55.0(		0,1994	1,4624	1,0668	0,0517			2,7803
[55.0 65.0(		0,1248	1,6800	1,3879	0,1080			3,3007
[65.0 75.0(		0,1400	2,2979	2,2127	0,1065			4,7570
[75.0 85.0(		0,1035	3,3235	2,6448	0,0593			6,1312
[85.0 95.0(		0,1613	3,3190	2,0194	0,0411			5,5408
[95.0 105.0(		0,1598	2,3618	1,3194	0,0137			3,8546
[105.0 115.0(		0,0883	1,4198	0,8157	0,0167			2,3405
[115.0 125.0(		0,0776	1,0546	0,6209	0,0183			1,7713
[125.0 135.0(		0,0030	0,6528	0,4763	0,0122			1,1444
[135.0 145.0(		0,0107	0,6757	0,2146	0,0122	0,0015		0,9146
[145.0 155.0(		0,0107	0,8126	0,2557	0,0030			1,0820
[155.0 165.0(		0,0213	0,9161	0,1933	0,0091			1,1398
[165.0 175.0(		0,0228	0,4733	0,1811	0,0167			0,6939
[175.0 185.0(		0,0213	0,1370	0,0730	0,0046			0,2359
[185.0 195.0(		0,0122	0,0380	0,0122	0,0030			0,0654
[195.0 205.0(			0,0183	0,0046	0,0091			0,0320
[205.0 215.0(		0,0030	0,0107	0,0076	0,0015			0,0228
[215.0 225.0(		0,0015	0,0122	0,0046				0,0183
[225.0 235.0(			0,0167	0,0015				0,0183
[235.0 245.0(								0,0000
[245.0 255.0(			0,0015					0,0015
[255.0 265.0(			0,0015					0,0015
[265.0 275.0(		0,0015	0,0457	0,0076				0,0548
[275.0 285.0(			0,0396	0,0015				0,0411
[285.0 295.0(			0,0213	0,0091				0,0304
[295.0 305.0(			0,0107					0,0107
[305.0 315.0(			0,0152	0,0015				0,0167
[315.0 325.0(		0,0015	0,2724	0,1902	0,0076			0,4717
[325.0 335.0(		0,0259	0,9496	0,6589	0,0259			1,6602
[335.0 345.0(		0,0380	1,1337	0,7228	0,0457	0,0030	0,0061	1,9494
[345.0 355.0(		0,0974	5,3901	4,7205	0,5281	0,0167		10,7528
	0,0837	3,5472	58,6703	35,3218	2,3207	0,0502	0,0061	
cumul.	0,0837	3,6309	62,3012	97,6230	99,9437	99,9939	100,0000	100,0000

**GEOthermie Bouillante**  
**MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE**

**Corrélogramme Hm0/Tp au point OP**

GlobOcean R21-035		Hm0/TP --- ANNUEL					CREOCEAN BOUILLANTE	
Hm0 (m)	% of calm	[0.25 0.5(	[0.5 1.0(	[1.0 1.5(	[1.5 2.0(	[2.0 2.5(	[2.5 3.0(	
Tp (s)								% calm
								0,0837
[0.0 2.0(								0,0000
[2.0 4.0(		0,1020	17,6997	8,6026				26,4042
[4.0 6.0(		0,1857	2,9994	6,2606	0,6894			10,1350
[6.0 8.0(		0,6437	3,0481	0,3683	0,0320	0,0046		4,0966
[8.0 10.0(		1,9661	17,2249	4,0875	0,2009	0,0107		23,4900
[10.0 12.0(		0,4474	13,0142	8,8613	0,4520			22,7748
[12.0 14.0(		0,1583	3,8455	5,9577	0,7244	0,0198	0,0061	10,7117
[14.0 16.0(		0,0320	0,7000	1,0774	0,1994	0,0107		2,0194
[16.0 18.0(		0,0091	0,1233	0,1035	0,0228	0,0046		0,2633
[18.0 20.0(		0,0015	0,0152	0,0030				0,0198
[20.0 22.0(		0,0015						0,0015
[22.0 24.0(								0,0000
<b>cumul.</b>	<b>0,0837</b>	<b>3,5472</b>	<b>58,6703</b>	<b>35,3218</b>	<b>2,3207</b>	<b>0,0502</b>	<b>0,0061</b>	<b>100,0000</b>

**GÉOTHERMIE BOUILLANTE**  
**MODELISATION DE PANACHE THERMIQUE EN MER DANS LA BAIE DE BOUILLANTE EN GUADELOUPE**

**Corrélogramme vitesse du vent par direction**

GlobOcean R21-035		Ws/Wd --- ANNUEL						CREOCEAN BOUILLANTE			
Ws (m/s)	% of calm	[1.0 2.0(	[2.0 4.0(	[4.0 6.0(	[6.0 8.0(	[8.0 10.0(	[10.0 12.0(	[12.0 14.0(	[14.0 16.0(	% calm	
[355.0 5.0(		0,0107	0,0243	0,0761	0,0350	0,0061					0,0259
[5.0 15.0(		0,0091	0,0304	0,0898	0,0487	0,0152	0,0015				0,1522
[15.0 25.0(		0,0091	0,0609	0,1294	0,1339	0,0396	0,0107	0,0015			0,1948
[25.0 35.0(		0,0107	0,0791	0,2785	0,2572	0,1004	0,0122	0,0046			0,3850
[35.0 45.0(		0,0030	0,0989	0,4063	0,5265	0,2435	0,0365	0,0061			0,7426
[45.0 55.0(		0,0107	0,1278	0,8020	1,1185	0,5326	0,0974	0,0137			1,3209
[55.0 65.0(		0,0107	0,1978	1,3057	2,7042	1,5476	0,3150	0,0502	0,0030		2,7027
[65.0 75.0(		0,0107	0,2146	2,3131	6,5269	4,4831	0,7381	0,0746			6,1343
[75.0 85.0(		0,0122	0,2678	3,2642	11,2794	7,6773	1,0850	0,0761	0,0015		14,3609
[85.0 95.0(		0,0091	0,3317	3,7527	11,6081	6,1053	0,5828	0,0259			23,6635
[95.0 105.0(		0,0167	0,3028	3,1044	6,7977	2,6874	0,2054	0,0167			22,4157
[105.0 115.0(		0,0061	0,2861	2,1548	3,2307	0,7913	0,0426	0,0061	0,0030		13,1313
[115.0 125.0(		0,0122	0,2465	1,5111	1,4776	0,2054	0,0107				6,5208
[125.0 135.0(		0,0152	0,1963	0,8415	0,5813	0,1096	0,0061				3,4635
[135.0 145.0(		0,0061	0,1324	0,4124	0,2724	0,0670	0,0046				1,7500
[145.0 155.0(		0,0183	0,1080	0,3028	0,1217	0,0320					0,8948
[155.0 165.0(		0,0091	0,0913	0,1294	0,0654	0,0183					0,5828
[165.0 175.0(		0,0107	0,0578	0,0852	0,0274	0,0091					0,3135
[175.0 185.0(		0,0091	0,0320	0,0670	0,0183	0,0107					0,1902
[185.0 195.0(		0,0122	0,0365	0,0578	0,0167	0,0137	0,0015				0,1370
[195.0 205.0(		0,0030	0,0350	0,0243	0,0076	0,0030					0,1385
[205.0 215.0(		0,0137	0,0152	0,0167	0,0046						0,0730
[215.0 225.0(		0,0015	0,0289	0,0167	0,0015						0,0502
[225.0 235.0(		0,0046	0,0198	0,0274	0,0030	0,0015					0,0487
[235.0 245.0(		0,0046	0,0137	0,0137	0,0015						0,0563
[245.0 255.0(		0,0015	0,0137	0,0122							0,0335
[255.0 265.0(		0,0076	0,0137	0,0107	0,0015						0,0274
[265.0 275.0(		0,0030	0,0046	0,0076	0,0015						0,0335
[275.0 285.0(		0,0030	0,0183	0,0061							0,0167
[285.0 295.0(			0,0183	0,0213	0,0046						0,0274
[295.0 305.0(		0,0030	0,0198	0,0213							0,0441
[305.0 315.0(		0,0015	0,0259	0,0167	0,0030						0,0441
[315.0 325.0(		0,0046	0,0274	0,0137	0,0046	0,0015					0,0472
[325.0 335.0(		0,0061	0,0259	0,0243	0,0137						0,0517
[335.0 345.0(		0,0030	0,0304	0,0350	0,0091	0,0030					0,0700
[345.0 355.0(		0,0046	0,0228	0,0365	0,0091	0,0015					0,0807
<b>cumul.</b>	0,0259	0,2770	3,2566	21,3885	46,9131	24,7059	3,1501	0,2754	0,0076		100,0000



[www.creocean.fr](http://www.creocean.fr)



[GROUPE KERAN](#)

Annexe V : Méthodologie Etude d'impact au sein du résumé non technique

# 1. Résumé de la Méthodologie de l'étude d'impact

## 1.1. Objectif de l'étude d'impact

L'impact concerne un projet de travaux pour l'augmentation des capacités de production électrique sur le champ géothermique de Bouillante, en Guadeloupe.

Cette étude d'impact a un triple objectif :

- Décrire l'état initial actuel du secteur considéré,
- Faire l'analyse des conséquences éventuelles sur l'environnement de ce projet en phase travaux et en phase exploitation,
- Etablir les mesures qui seront prises afin d'éviter, de supprimer ou de réduire, les inconvénients ou nuisances susceptibles d'être engendrés.

## 1.2. Cadre réglementaire

**L'étude d'impact est réalisé conformément à l'article R122-5 du code de l'environnement, modifié par le décret n°2019-474 du 21 mai 2019.**

Cette étude d'impact comprend ainsi les éléments ci-dessous :

1. Un résumé non technique des informations prévues ci-dessous
2. Une description du projet
3. Une description des aspects pertinents de l'état actuel de l'environnement, dénommée "scénario de référence", et de leur évolution en cas de mise en œuvre du projet ainsi qu'un aperçu de l'évolution probable de l'environnement en l'absence de mise en œuvre du projet, dans la mesure où les changements naturels par rapport au scénario de référence peuvent être évalués moyennant un effort raisonnable sur la base des informations environnementales et des connaissances scientifiques disponibles
4. Une description des facteurs mentionnés au III de l'article L. 122-1 susceptibles d'être affectés de manière notable par le projet : la population, la santé humaine, la biodiversité, les terres, le sol, l'eau, l'air, le climat, les biens matériels, le patrimoine culturel, y compris les aspects architecturaux et archéologiques, et le paysage
5. Une description des incidences notables que le projet est susceptible d'avoir sur l'environnement résultant
6. Une description des incidences négatives notables attendues du projet sur l'environnement qui résultent de la vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs en rapport avec le projet concerné. Cette description comprend le cas échéant les mesures envisagées pour éviter ou réduire les incidences négatives notables de ces événements sur l'environnement et le détail de la préparation et de la réponse envisagée à ces situations d'urgence
7. Une description des solutions de substitution raisonnables qui ont été examinées par le maître d'ouvrage, en fonction du projet proposé et de ses caractéristiques spécifiques, et une indication des principales raisons du choix effectué, notamment une comparaison des incidences sur l'environnement et la santé humaine
8. Les mesures prévues par le maître de l'ouvrage

9. Le cas échéant, les modalités de suivi des mesures d'évitement, de réduction et de compensation proposées
10. Une description des méthodes de prévision ou des éléments probants utilisés pour identifier et évaluer les incidences notables sur l'environnement
11. Les noms, qualités et qualifications du ou des experts qui ont préparé l'étude d'impact et les études ayant contribué à sa réalisation
12. Lorsque certains des éléments requis ci-dessus figurent dans l'étude de maîtrise des risques pour les installations nucléaires de base ou dans l'étude des dangers pour les installations classées pour la protection de l'environnement, il en est fait état dans l'étude d'impact.

## 1.3. Méthode d'évaluation des impacts

### 1.3.1. Méthode d'analyse de l'état initial

L'analyse de l'état initial d'un site et de son environnement consiste à définir, pour chaque composante de l'environnement (le milieu physique, les milieux naturels, le paysage, etc.), les sensibilités du territoire qui pourront être affectés par le projet et les enjeux environnementaux qui en découlent.

La sensibilité d'un milieu correspond à sa capacité à accepter un changement. Ainsi, un milieu classé comme très sensible, n'acceptera que peu ou pas de changement. L'enjeu correspond au changement significatif d'un milieu sensible par un élément du projet. Ainsi un enjeu est qualifié de fort si un élément du projet entraîne un changement qui ne peut être accepté par le milieu. L'échelle de hiérarchisation des enjeux utilisée dans la présente étude est synthétisée à la figure suivante.

Importance de l'enjeu	Nulle	Négligeable	Faible	Moyenne
Sensibilité du milieu	Nulle	Faible	Moyen	Forte
Changement induit par le projet	Nulle	Peu important	Moyennement important	Très important

Figure : Échelle d'évaluation de l'importance des enjeux environnementaux

L'analyse est basée à la fois sur des données bibliographiques (voir liste des sources consultées) et des investigations sur le terrain (voir études spécifiques).

Les services administratifs consultés, ainsi que les données obtenues, sont consignés dans le Tableau. Les informations recueillies sont celles disponibles à la date de l'étude.

Source consultée	Information recherchée	Document consulté / réponse	Difficulté rencontrée / commentaire	Date de recueil des données
BRGM, Infoterre	Données géologiques et hydrogéologiques	Banque de Données du sous-sol : recensement des ouvrages déclarés dans l'aire d'étude), risques naturels	-	Avril 2021
BSS du BRGM, SDAGE de Guadeloupe	Données hydrogéologiques	implantations et débits d'exploitation des captages d'eaux industrielles, agricoles et d'eau potable	-	Avril 2021
Géoportail	Données topographiques, Données sur les zones de	cartes IGN, périmètres des ZNIEFF, ZICO, NATURA 2000 et autres périmètres d'intérêt écologique	-	Avril 2021

Source consultée	Information recherchée	Document consulté / réponse	Difficulté rencontrée / commentaire	Date de recueil des données
	protection naturelle			
METEO France	Données météorologiques	Historique des vents et précipitations	-	Avril 2021
DEAL Guadeloupe	Données urbanisme	POS de Bouillante, PPRN, cadastre	-	Avril 2021
Legifrance	Textes législatifs et administratifs relevant du code permanent environnement et nuisances	Code Minier, Code de l'Environnement, Loi sur l'eau et décrets d'application	-	Juin 2021
Visite du site	Caractéristiques de l'environnement physique, naturel et humain	Géomorphologie, accessibilité, paysage, faune, flore, urbanisation	-	Juin 2021
Rapports d'études spécifiques réalisées par des sociétés extérieures	Impacts sur le milieu naturel, la santé	Etude de bruit, Etude faune/flore, Etude ERS, Suivi des biocénoses marines, Etude intégration paysagère, justification de la gestion de la ressource, modélisation marine	-	Juin 2021

Tableau – Services administratifs consultés dans le cadre de l'étude d'impact

### 1.3.2. Méthodologie globale d'évaluation des impacts

Deux types d'impacts ont été pris en compte :

- Des impacts directs : ils se définissent par une interaction directe avec une activité, un usage, un habitat naturel, une espèce végétale ou animale... dont les conséquences peuvent être négatives ou positives,
- Des impacts indirects : ils se définissent comme les conséquences secondaires liées aux impacts directs du projet et peuvent de même être négatifs ou positifs.

À cela s'ajoute le fait qu'un impact peut se révéler temporaire ou permanent :

- L'impact est temporaire lorsque ses effets ne se font ressentir que durant une période donnée (la phase chantier par exemple),
- L'impact est permanent ou pérenne dès lors qu'il persiste dans le temps (par exemple en phase d'exploitation).

L'intensité d'un impact (forte, moyenne, faible, nulle) est appréciée selon les conséquences engendrées sur :

- La modification de la qualité de l'environnement physique initial,
- La perturbation des zones à valeur naturelle, culturelle ou socio-économique,
- La perturbation de la biodiversité,
- La perturbation/incommodité pour les populations/présence humaine.

L'analyse des effets d'un projet consiste donc à déterminer l'importance de l'impact probable suivant les différents critères pertinents. On retiendra dans la présente étude, les principaux critères suivants :

- La sensibilité du milieu concerné déterminée dans l'état initial,
- L'intensité et la nature intrinsèque de l'impact (degré de perturbation du milieu, influencé par le degré de sensibilité du milieu),
- La durée de l'impact (aspect temporel, caractère irréversible),
- L'étendue géographique de l'impact (dimensions spatiales telles que la longueur, la superficie).

L'échelle d'évaluation de l'importance des impacts du projet est présentée à la figure suivante.

Importance de l'impact	Nulle	Négligeable	Faible	Moyenne	Forte
Sensibilité du milieu	Nulle		Faible	Moyenne	Forte
Intensité de l'impact	Nulle	Négligeable	Faible	Moyenne	
Durée de l'impact	Temporaire				
Étendue de l'impact	Aire immédiate	Aire rapprochée	Aire éloignée	Aire très éloignée	

Figure : Échelle d'évaluation de l'importance des impacts du projet

D'autres critères peuvent au cas par cas être utilisés : la fréquence de l'impact (caractère intermittent), la probabilité de l'impact, l'effet d'entraînement (lien entre le milieu affecté et d'autres milieux), l'unicité ou la rareté du milieu, la pérennité du milieu et des écosystèmes (durabilité), la valeur du milieu pour l'ensemble de la population, la reconnaissance formelle du milieu par une loi, une politique, une réglementation ou une décision officielle, les risques pour la santé, la sécurité et le bien-être de la population.

La démarche progressive de l'étude d'impact implique d'abord un ajustement du projet vers le moindre effet. Les choix de conception doivent faire émerger des mesures d'évitement ou de réduction des impacts. Cependant, malgré cette application du principe de prévention et de correction à la source des atteintes à l'environnement, chaque projet peut induire des effets résiduels.

Dès lors qu'un effet dûment identifié comme dommageable ne peut être totalement supprimé, le maître d'ouvrage a l'obligation de mettre en œuvre des mesures compensatoires et d'affecter un budget dédié à ces mesures au titre de l'économie globale du projet.

## 1.4. Difficultés rencontrées

Aucune difficulté particulière n'a été rencontrée lors de l'élaboration de l'état initial et de l'étude d'impact.

## 1.5. Analyse des effets cumulés du projet avec d'autres projets connus

Suite à la publication du décret du 29 décembre 2011 relatif à la réforme des études d'impacts des projets de travaux, d'ouvrages ou d'aménagements, une analyse des effets cumulés de l'exploitation du projet avec d'autres projets connus doit être réalisée dans le cadre de la réalisation de l'étude d'impact.

Les bases de données suivantes ont été consultées :

- Site du CGEDD : Avis de l’Autorité Environnementale ;
- Site de la DEAL Guadeloupe : Avis de l’Autorité Environnementale.

La sélection des projets à retenir pour l’étude des effets cumulés a été réalisée selon deux paramètres : le périmètre géographique et le périmètre temporel.

Dans le cas du projet de Bouillante, les impacts potentiels de l’activité peuvent concerner les aires géographiques plus ou moins étendues en fonction de la nature des impacts.

L’aire d’étude éloignée a été fixée aux limites des communes limitrophes de Bouillante (Pointe Noire, Petit-Bourg et Vieux-habitants). Tous les projets situés en dehors de ce périmètre ne sont pas jugés concernés par les effets cumulés avec le projet de Bouillante.

Les projets pris en compte sont ceux qui sont connus au moment du dépôt de l’étude d’impact. Seuls les projets « récents » ayant fait l’objet d’une évaluation ont donc été considérés.

Pour le projet de Bouillante, le changement d’exploitation de la centrale est le projet retenu pour ses effets cumulatifs.

## 1.6. Auteurs de l’étude

Le montage et la rédaction de l’étude d’impact ont été réalisés par la société **Antea Group**, bureau d’études en environnement basé aux Abymes.

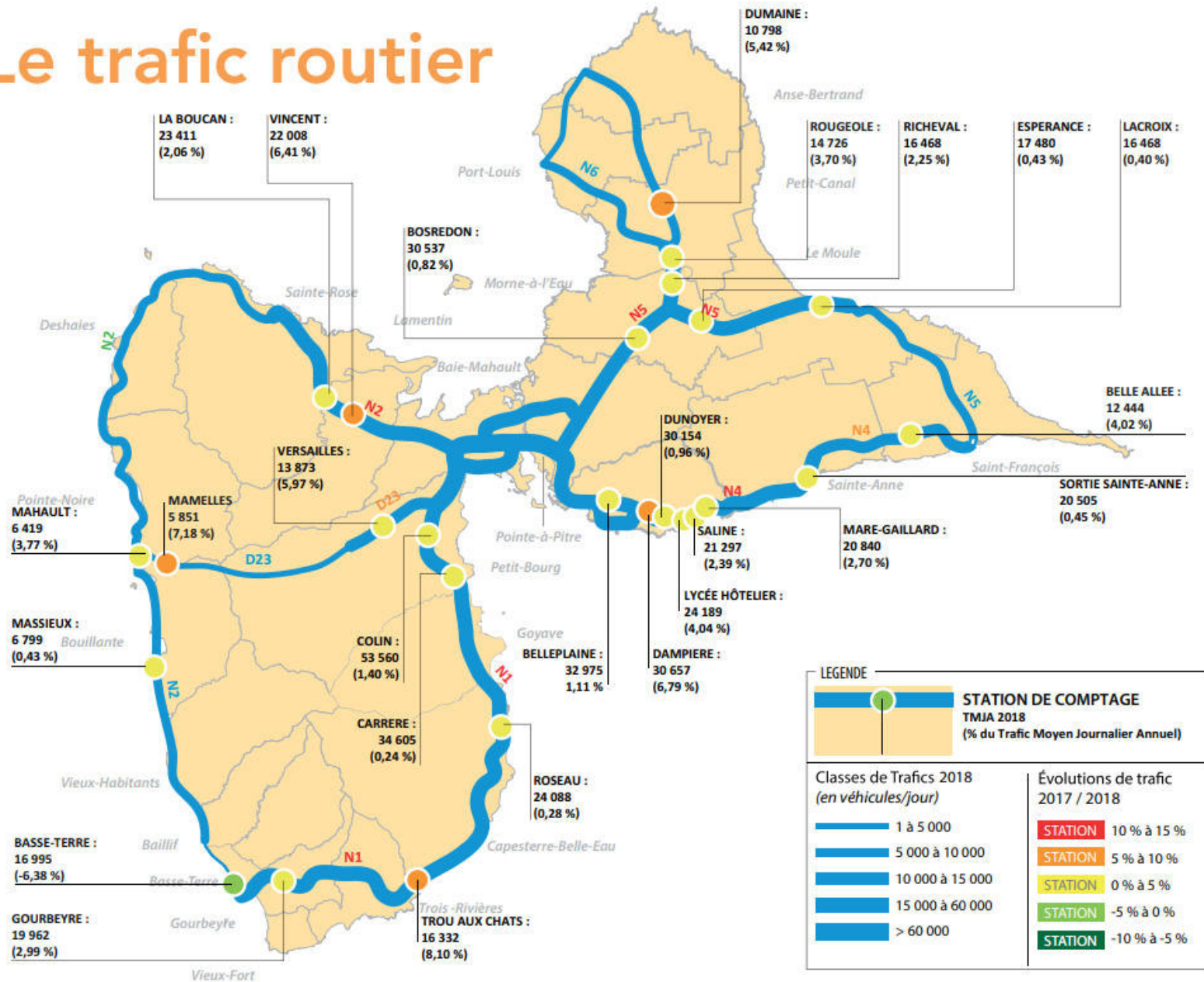
Les personnes ayant contribué à cette étude sont les suivantes :

Supervision et contrôle de la qualité et Coordination technique :	<b>ANTEA GROUP</b> <b>Bryan D’HAVELOOSE</b> (Chef de projet environnement et risques industriels)
Rédaction	<b>ANTEA GROUP</b> <b>Bastien SCHNELL</b> (Directeur de projet Environnement et risques industriels) <b>Marjorie BREMOND</b> (Chef de projet Environnement) <b>Morgane LE BRUN</b> (Ingénieure projet hydrogéologue, spécialité en géothermie profonde)
Inventaires et analyses floristiques :	<b>SEGE BIODIVERSITE</b> <b>Felix LUREL</b> (Expert floristique)
Inventaires et analyses faunistiques :	<b>BIOS</b> <b>Gilles LEBLOND</b> (Expert faunistique)
Etude bruit	<b>AEC</b> <b>Anneric VALMORIN</b> (Expert acoustique)
Etude risque sanitaire	<b>ANTEA GROUP</b> <b>Elsa LEPRIEUR</b> (Responsable d’activités, Experte risque sanitaire)
Etude paysage	<b>Franck SAINT-MARTIN</b> Architecte DPLG

Annexe VI : Trafic routier 2018



# Le trafic routier



Annexe VII : Justification du choix de la localisation du projet B1bis

### 3.1.2. Justification du choix de la localisation pour l'unité B1bis

Contrairement aux deux premières unités Bouillante 1 et Bouillante 2 (B1 et B2) qui sont implantées au niveau du « site de l'usine » dans le bourg de Bouillante, cette unité B1bis sera implantée sur le site de Plateau, à proximité de la plateforme actuelle des puits et à environ 500 mètres à vol d'oiseau du site de l'usine actuelle (Figure 2).

**Un premier site avait été choisi sur une parcelle proche (AO196) du site principal et desservie par la rue Vannier mais cette variante a été abandonnée en raison de la présence d'un aléa liquéfaction sur la parcelle considérée.**

Ce site avait déjà été retenu pour recevoir le puits BO-12 qui va être foré au second semestre 2021. Il est localisé en dehors du bourg de Bouillante, dans un environnement arboré où l'habitat est peu dense.

Annexe VIII : Eléments permettant de vérifier l'état de la nappe phréatique

## 1. INFORMATIONS SUR LA NAPPE PHREATIQUE AU NIVEAU DU BOURG DE BOUILLANTE

Le bourg de Bouillante est le siège de nombreuses manifestations hydrothermales de surface qui forment une bande orientée approximativement Ouest-Est depuis le bord de mer jusqu'au site de la centrale géothermique (Figure 1). Plusieurs sources thermales y sont répertoriées. Elles délivrent des fluides qui ont des températures d'émergence élevées et des compositions chimiques qui trahissent des contaminations de la nappe phréatique présente sous le bourg de Bouillante par des remontées de fluide géothermal profond et par des invasions marines. Le Tableau 1 présente les analyses chimiques des fluides délivrés par deux de ces sources :

- La source chaude dite « Source Tuyau » s'écoule dans le caniveau de la rue Vanier (Figure 2). Sa température, suivie régulièrement par le BRGM, varie entre 60°C et 70°C. Elle délivre une eau chlorurée sodique avec une salinité totale comprise entre 1 et 2 g/L qui trahit à la fois une contamination par le fluide géothermal (voir les teneurs en SiO<sub>2</sub>) et une contamination par l'eau de mer (voir la teneur en SO<sub>4</sub>) ;
- A proximité, une autre source thermale dont la température dépasse 80°C, émerge dans la cave du puits BO-2 dans l'enceinte de la centrale géothermique (Figure 2). Elle délivre une eau chlorurée sodique dont la salinité est de 10 g/L et témoigne d'une forte contamination par le fluide géothermal et par l'eau de mer (voir les teneurs en SiO<sub>2</sub>, Li, SO<sub>4</sub> par exemple).

Puits	Unités	BO-4	BO-5	BO-6	Source Tuyau	Source cave puits BO-2	Eau de mer
Date analyses		11/12/2007	11/12/2007	11/12/2007	18/06/2004	03/12/2003	
Temp. de prélèvement	°C	39	38	37	66,1	85,5	29
pH		6,86	5,4	5,1	6,72	6,6	8,2
Na	mg/L	5 944	6 207	5 880	490	2629	11049
K	«	832	900	827	45	252	408
Ca	«	2 135	2 118	2 200	320	840	422
Mg	«	1,6	1,8	1,8	6,3	25	1318
Cl	«	13 986	13 850	13 891	1284	5832	19500
Br	«	45,1	44,9	45,4	4,5	20,6	67
Alc	«	23,2	27,5	29,9	126	200	148
SO <sub>4</sub>	«	25,8	17,7	19,8	80	150	2750
NO <sub>3</sub>	«	<0,5	<0,5	<0,5	-	-	-
NH <sub>4</sub>	«	<1	<1	<1	10,6	1,6	<1
Li	«	4,8	5	5,1	0,2	1,8	0,14
SiO <sub>2</sub>	«	570	595	576	130	149	0,4
Salinité tot.	g/L	23	23,2	22,9	2,5	10,1	35,7

Tableau 1 : Compositions chimiques représentatives des fluides délivrés par les puits BO-4, BO-5 et BO-6 et par deux sources thermales du bourg de Bouillante, et composition de l'eau de mer (Analyses BRGM).

En 1964, un sondage de gradient superficiel (sondage 64S1) avait été réalisé par la SPDEG dans le bourg de Bouillante (Figure 2). Il a traversé des formations argilo-sableuses avant d'atteindre une brèche

argilisée ; ces deux formations hébergeant la nappe superficielle. Une température de 113°C avait été relevée à 7 mètres de profondeur, et de 120°C à 12 m de profondeur (Figure 3).

Ces indices démontrent que la nappe phréatique présente au niveau du bourg de Bouillante ne peut être utilisée ni pour l'alimentation en eau potable ni pour l'irrigation en raison de sa température élevée et de sa minéralisation notable.

Les rejets ponctuels de fluide géothermal dans la Ravine Blanche s'infiltrent et rejoignent cette nappe phréatique qui est déjà naturellement contaminée par des remontées de fluide géothermal.

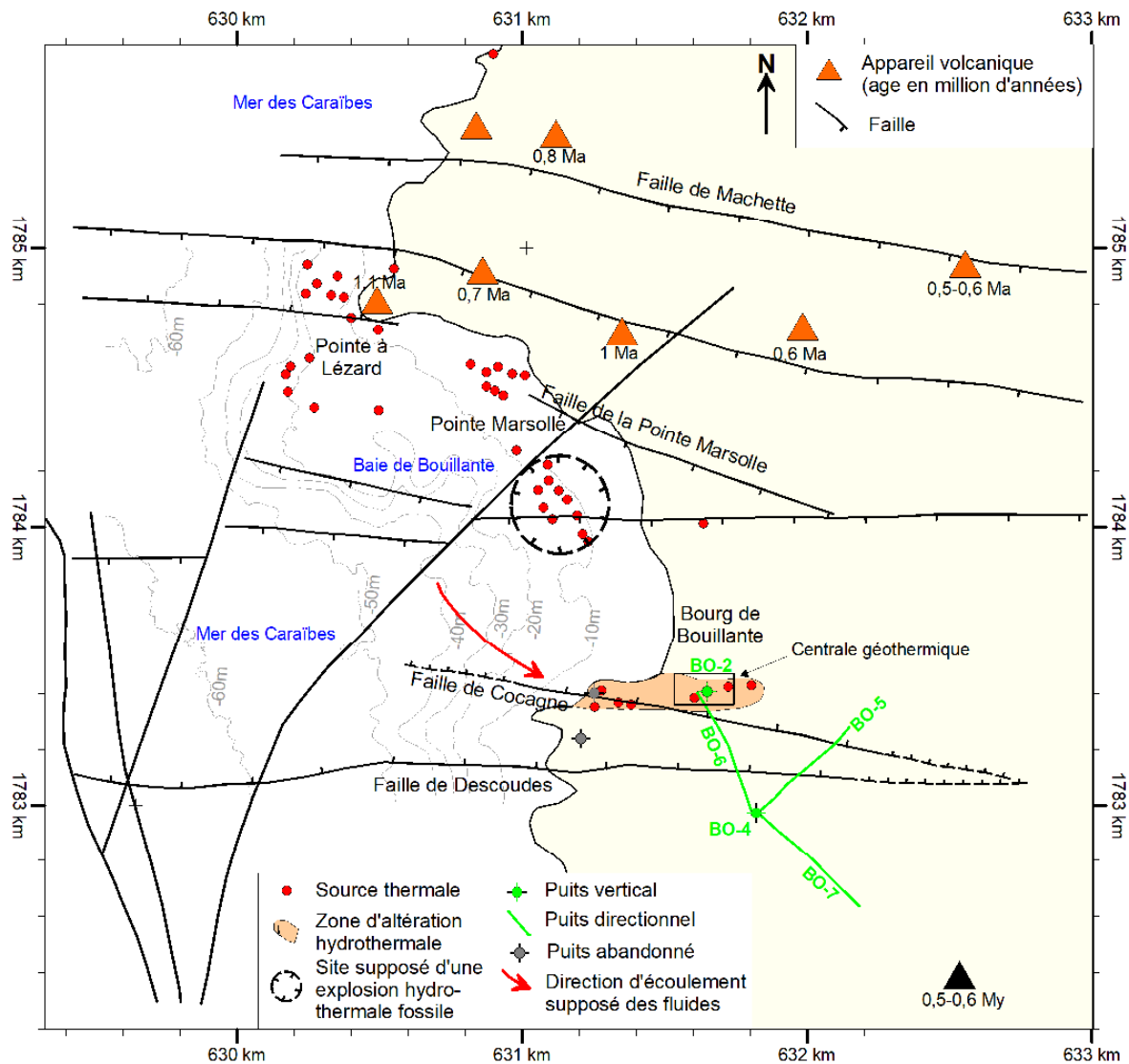


Figure 1 : Carte synthétique montrant les principaux éléments géologiques du champ géothermique de Bouillante, ainsi que la position des 7 puits profonds forés entre 1969 et 2001 (d'après Bouchot et al., 2008 ; Coordonnées UTM WGS84).

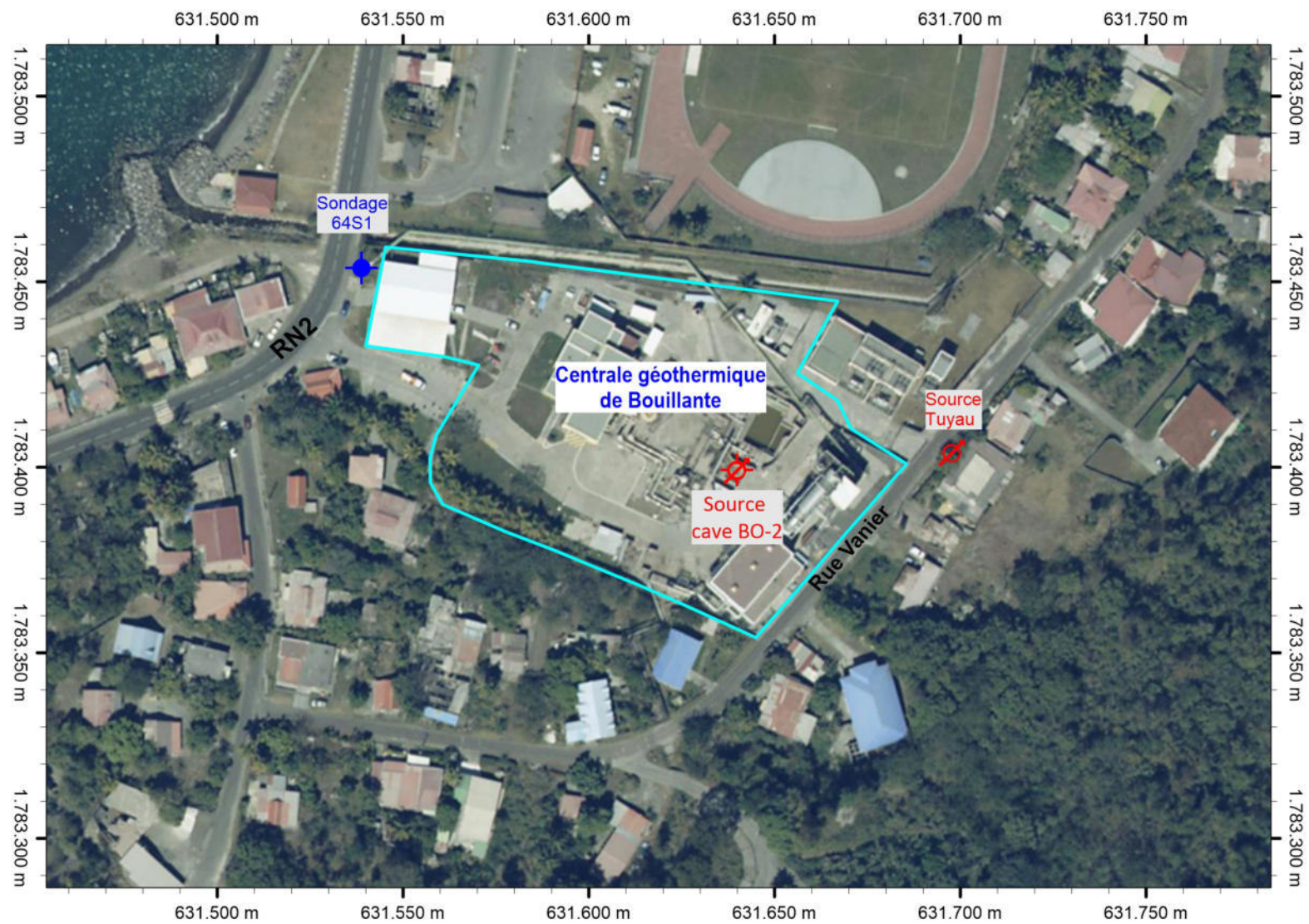


Figure 2 : Localisation de la sources tuyau, de la source du puits BO-2 et du sondage 64S1 dans le bourg de Bouillante (Coordonnées UTM WGS84).

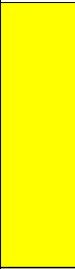
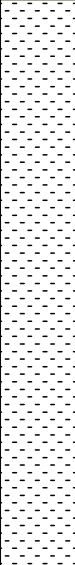

Prof. m	Description	Log	Temp. (°C)
1	<i>argile rouge</i>		
2			
3			
4	<i>sable à sable argileux</i>		113
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11	<i>brèche décomposée en argile</i>		120
12			

Figure 3 : Description du sondage superficiel 64S1 réalisé en 1964 par la SPDEG dans le bourg de Bouillante (voir Figure 2) et qui fournit des indications sur les conditions de température de la nappe superficielle à faible profondeur.

Annexe IX : Taux d'émission de CO<sub>2</sub>

## 1. TAUX D'EMISSION DE CO<sub>2</sub> /KWH

### 1.1. Généralités

Le fluide géothermal de Bouillante contient des gaz en quantité faible qui sont dissous au niveau du réservoir. Ils sont libérés et se concentrent dans la phase vapeur HP lors de la vaporisation du fluide en surface. Contrairement à la vapeur d'eau qui se condense en refroidissant, ces gaz ne se condensent pas facilement et sont dits incondensables (en anglais Non Condensable Gases ou NCG).

La teneur en gaz incondensables du fluide géothermal est mesurée dans les échantillons de vapeur prélevés à la sortie du séparateur HP. Elle est stable depuis 1996. D'après les dernières mesures faites en 2019 (Thermochem, 2019), la teneur en gaz incondensables dans la phase vapeur (GVR) est comprise entre 0,41% et 0,45% en poids (Tableau 1).

Par ailleurs, de nombreuses analyses des gaz incondensables de Bouillante sont disponibles. Le Tableau 1 présente les résultats des analyses les plus récentes réalisées par la société américaine THERMOCHEM (2019) spécifiquement sur la phase gazeuse. Ces analyses portent sur les gaz dont les teneurs sont suffisamment élevées pour être au-dessus des seuils de détection des méthodes analytiques courantes. Parmi ces gaz, seuls trois sont en quantité significative : CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S et N<sub>2</sub>. Le CO<sub>2</sub> est très largement prédominant et représente entre 90% et 95% (en volume) de la fraction gazeuse. L'azote (N<sub>2</sub>) et l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) ont des teneurs de l'ordre de 3%. Les autres gaz dosés (NH<sub>4</sub>, Ar, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) sont présents en quantité faible à très faible.

Puits		BO-5	BO-6	BO-5 + BO-6
Date		14/05/2019	14/05/2019	17/05/2019
N° échantillon		23469-1	23469-12	23469-33
P séparation (bars-g)		7,54	6,8	5,92
T séparation (°C)		173,5	169,8	164,1
GVR	% pond.	0,45	0,41	0,43
CO <sub>2</sub>	% vol.	93,3	93,3	93,2
H <sub>2</sub> S	% vol.	2,98	2,61	3,02
NH <sub>4</sub>	% vol.	0,26	0,28	0,26
Ar	% vol.	0,03	0,03	0,03
N	% vol.	2,95	3,32	3,00
CH <sub>4</sub>	% vol.	0,36	0,40	0,36
H	% vol.	0,08	0,09	0,09

Tableau 1 : Ratio (GVR) et composition chimique des gaz incondensables présents dans la phase vapeur au niveau du séparateur HP de Bouillante, d'après les analyses récentes (Thermochem, 2019).

### 1.2. Calcul des flux horaires de CO<sub>2</sub>

Les flux horaires de gaz incondensables et de CO<sub>2</sub> qui sont rejetés actuellement par les unités B1 et B2 et qui seront rejetés dans le futur par les unités B1, B2 et B3 sont calculés dans les Tableau 2 et Tableau 3. Les paramètres considérés pour ce calcul sont :

- Ratio de gaz incondensables dans la phase vapeur : 0,45% (en poids) ;
- Teneur en gaz CO<sub>2</sub> dans les gaz incondensables : 93% (en volume) ;
- Masse volumique du CO<sub>2</sub> : 1,87 kg/m<sup>3</sup>.

	unité	B1	B2	total
Puissance électrique brute installée	MWe	4,5	11	15,5
Débits de vapeur HP et gaz incondensables délivrés aux unités	T/h	33	89	122
Flux horaire massique de gaz incondensables (NCG) dans la phase vapeur (GVR : 0,45% pond.)	kg/h	149	401	549
Flux horaire volumétrique (Nm <sup>3</sup> /h) de gaz incondensables (NCG) avec d <sub>NCG</sub> = 1,92 g/cm <sup>3</sup>	Nm <sup>3</sup> /h	77	209	286
Flux horaire volumétrique (Nm <sup>3</sup> /h) de gaz CO <sub>2</sub> (93% vol. dans les NCG)	Nm <sup>3</sup> /h	72	194	266
Flux horaire massique de gaz CO <sub>2</sub> (avec d <sub>CO<sub>2</sub></sub> = 1,87 g/cm <sup>3</sup> )	kg/h	135	363	497
Taux d'émission de CO <sub>2</sub> par kWh brut	gCO <sub>2</sub> /kWh	<b>29,9</b>	<b>33,0</b>	<b>32,1</b>

Tableau 2 : Calcul des flux horaires **actuels** de gaz incondensables et de gaz CO<sub>2</sub> extraits de la phase vapeur HP et rejetés par chacune des unités B1 et B2 en fonctionnement nominal, et calcul des taux d'émission actuels de CO<sub>2</sub>/kWh.

	unité	B1	B2	B1bis	total
Puissance électrique brute installée	MWe	4,5	11	11,3	26,8
Débits de vapeur HP et gaz incondensables délivrés aux unités	T/h	43	90	33,6	166,6
Flux horaire massique de gaz incondensables (NCG) dans la phase vapeur (GVR : 0,45% pond.)	kg/h	194	405	150	749
Flux horaire volumétrique (Nm <sup>3</sup> /h) de gaz incondensables (NCG) avec d <sub>NCG</sub> = 1,92 g/cm <sup>3</sup>	Nm <sup>3</sup> /h	101	211	78	390
Flux horaire volumétrique (Nm <sup>3</sup> /h) de gaz CO <sub>2</sub> (93% vol. dans les NCG)	Nm <sup>3</sup> /h	94	196	73	363
Flux horaire massique de gaz CO <sub>2</sub> (avec d <sub>CO<sub>2</sub></sub> = 1,87 g/cm <sup>3</sup> )	kg/h	175	367	136	678
Taux d'émission de CO <sub>2</sub> par kWh brut	gCO <sub>2</sub> /kWh	<b>38,9</b>	<b>33,3</b>	<b>12,0</b>	<b>25,3</b>

Tableau 3 : Calcul des flux horaires **futurs** de gaz incondensables et de gaz CO<sub>2</sub> extraits de la phase vapeur HP qui seront rejetés par chacune des unités B1, B2 et B1bis en fonctionnement nominal, et calcul des futurs taux d'émission en CO<sub>2</sub>/kWh.

### 1.3. Calcul du taux d'émission de CO2 par kWh

Les taux actuels des émissions de CO2/kWh des unités B1 et B2 sont calculés dans le Tableau 2. Au global, le taux d'émission de la centrale est de 32 gCO2/kWh brut.

Les taux futurs des émissions de CO2/kWh des unités B1, B2 et B1bis sont calculés dans le Tableau 3. Au global, le taux d'émission de la centrale sera de 25 gCO2/kWh brut.

La réduction du taux d'émission de CO2 par kWh brut entre la situation actuelle et la situation future s'explique par le fait que le taux d'émission de la future unité B1bis sera faible dans la mesure où elle sera alimentée principalement par de l'eau séparée qui ne contient pas (ou très peu) de gaz incondensables qui sont préférentiellement concentrés dans la phase vapeur.

### 1.4. Comparaison avec d'autres sources d'énergies

La Figure 1 compare les taux d'émission en CO2 des centrales électriques utilisant des énergies fossiles et des centrales géothermiques au niveau mondial et dans quelques pays où la géothermie est bien développée.

Les émissions carbone du kWh électrique produit en Guadeloupe étaient en moyenne de 703 gCO2/kWh en 2019 (chiffre fourni par le Bilan de l'Énergie 2020 ; OREC Guadeloupe, 2020). Ce taux élevé s'explique par le fait que l'électricité est produite essentiellement à partir de fioul et de charbon.

A titre de comparaison, le contenu carbone moyen de l'électricité produite dans l'hexagone s'établit en 2019 à 35 gCO2/kWh (OREC Guadeloupe, 2020). L'énergie primaire utilisée dans l'hexagone pour produire l'électricité est à 71% de l'énergie nucléaire.

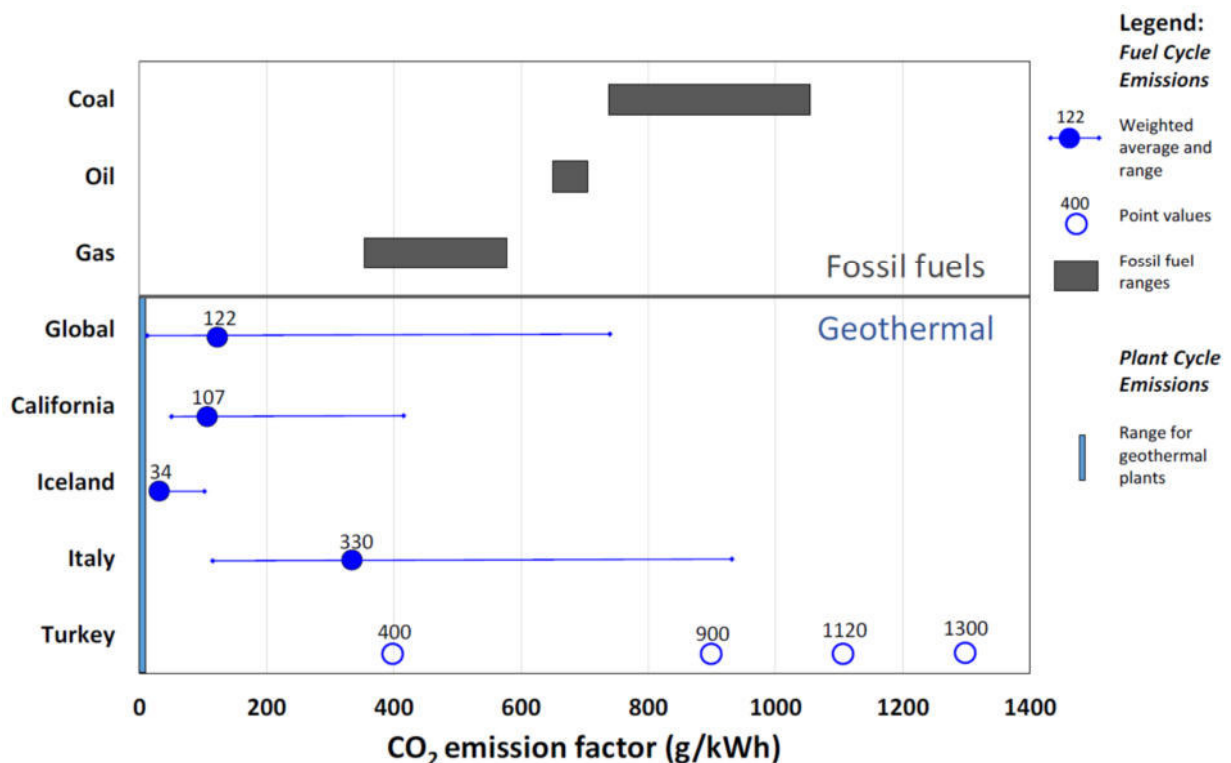


Figure 1 : Comparaison entre les taux d'émission en CO2 des centrales électriques utilisant des énergies fossiles et des centrales géothermiques (d'après Fridriksson et al, 2017).

### 1.5. Comparaison avec d'autres centrales géothermiques

D'après l'Ademe, le taux d'émission en CO<sub>2</sub> des centrales géothermiques est en moyenne de 45 gCO<sub>2</sub>/kWh. D'après Fridriksson et al. (2017), il est plus élevé et de l'ordre de 122 gCO<sub>2</sub>/kWh au niveau mondial (Figure 1).

Le taux d'émission actuel observé à Bouillante (32 gCO<sub>2</sub>/kWh) est significativement plus faible que ces moyennes parce que le ratio de gaz incondensables présents dans la phase vapeur à Bouillante (GVR : 0,45% en poids) est faible comparé aux ratios observés dans de nombreux champs géothermiques. Il est similaire à celui des champs géothermiques islandais (Figure 1).

Le taux d'émission futur sera encore plus faible (25 gCO<sub>2</sub>/kWh) grâce à l'unité B1bis qui sera équipée d'une turbine de type ORC alimentée essentiellement en eau séparée qui ne contient pas (ou très peu) de gaz incondensables.

Fridriksson T., Mateos Merino A., Yasemin Orucu A., Audinet P. (2017) - Greenhouse Gas Emissions from Geothermal Power Production. PROCEEDINGS, 42nd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, February 13-15, 2017, SGP-TR-212.

Annexe X : Suivi énergétique



## Bilan Energetique OGB de l'existant 2021



12/10/2021

<i>Designation</i>	<i>KW/h consommation</i>
<b>Communs</b>	
Eclairage	25
Compresseurs	30
Climatisation	42
Divers	10
<b>Unite B1</b>	
Pompe Eau de Mer	250
Pompes de regulation	10
Climatisation	38
Vireur	2
Divers	10
<b>Unite B2</b>	
Pompe Eau de Mer	720
Pompes de regulation	10
Climatisation	104
Vireur	3
Divers	10
<b>Bilan Global en KW/h</b>	<b>1264</b>

Nota: Ce bilan est un bilan de puissance consommée lors du fonctionnement global de l'unite.

Annexe XI : Détails du budget du projet



## B1 Bis BUDGET Overview



13/10/2021

<i>Designation</i>	<i>Cout en Euros</i>
Etude de Faisabilite	950 000 €
Design & Ingénierie	1 500 000 €
Projet Management	3 100 000 €
Batiment	700 000 €
T-Line & HTB Sous-Station	337 000 €
EDF connection fees	170 000 €
Equipements	27 500 000 €
Transports & Taxes	1 220 000 €
Genie Civil - Electricite - Utilites - Montage sur site	20 500 000 €
Mise en Service - Demarrage progressif	300 000 €
Mesures Environnement ERC (faune flore terrestre et marine, bruit, rejets, suivi périodique)	300 000 €
<b>COUT GLOBAL</b>	<b>56 577 000 €</b>

Annexe XII : Justification température de rejet et chimie du rejet en milieu marin

# Température de rejet des effluents dans le milieu marin

## 1. REMARQUE DE LA MRAE

Dans son rapport, la MRAe fait remarquer que les documents fournis apportent des informations qui peuvent être contradictoires en ce qui concerne les conditions de rejet futures.

Notamment, elle indique que l'étude d'impact stipule à la page 49 que la température finale de l'effluent est inférieure à 45 °C à la sortie du premier préchauffeur lorsque l'eau séparée est mélangée avec les effluents de l'unité. Ceci est en inadéquation avec les résultats des analyses réalisées en septembre 2020 sur les eaux en sortie de canal (présentées page 147) qui ont révélé une température de 45,9 °C. Cette valeur de température est supérieure à la température maximale autorisée qui est de 45°C

## 2. REPONSE APPORTEE PAR GEOTHERMIE BOUILLANTE SUR LA VALEUR DE TEMPERATURE DE 45,9°C

### 2.1. Origine de la valeur de température à 45,9°C relevée en septembre 2020

Ci-dessous un extrait du chapitre 10.2 du Rapport Annuel d'Exploitation 2020 concernant le suivi de la température de rejet des effluents liquides en baie de Bouillante :

« «

#### 10.2 Température de rejet des effluents liquides en 2020

La température des effluents liquides de la centrale rejetés dans la baie de Bouillante est mesurée en continu par une sonde thermométrique placée dans le canal de rejet à son arrivée en mer. La température maximale de rejet est fixée à 45°C par l'arrêté préfectoral n°2012-965. Les relevés effectués au cours de l'année 2020 sont reportés sur la Figure .

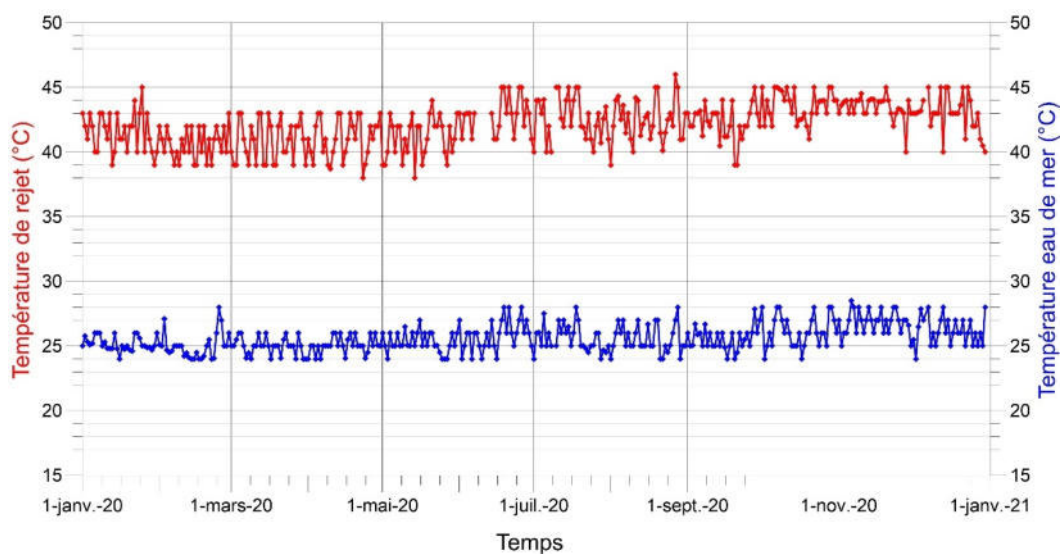


Figure 13 : Graphe montrant l'évolution de la température de rejet des effluents liquides à leur point de rejet en mer et l'évolution de la température de l'eau de mer pompée pour le refroidissement des fluides au cours de l'année 2020.

La température des effluents rejetés en mer montre une variabilité importante au cours de l'année entre 35°C et 45°C, avec une valeur moyenne autour de 41°C. On décèle toutefois une tendance saisonnière corrélée avec la température de l'eau de mer. Les températures les plus basses sont observées durant les mois de carême de février à avril tandis que les températures les plus élevées sont observées en octobre et novembre, lorsque la température de l'eau de mer est la plus élevée. Fin août, quelques valeurs sont légèrement au-dessus de 45°C. Elles correspondent à des épisodes transitoires d'arrêt ou de redémarrage de la centrale.

La Figure montre également l'évolution de la température de l'eau de mer pompée pour refroidir les fluides géothermaux. Elle a évolué entre 24°C et 28°C, avec un maximum en novembre et décembre.

» »

Il apparaît que la température de 45,9°C mesurée lors du prélèvement de fluide effectué le 28/07/2020 est exceptionnelle et résulte probablement d'un épisode de fonctionnement transitoire de la centrale, comme souligné dans le Rapport Annuel d'exploitation 2020.

## 2.2. Compléments d'information

Afin de fournir une information complète sur la température de rejet des effluents liquides dans la baie de Bouillante, Géothermie Bouillante souhaite présenter également les résultats des suivis effectués au cours des années 2019 et 2018. Ils montrent que la température de rejet respecte bien le seuil réglementaire des 45°C, et que les dépassements restent l'exception.

### 2.2.1. Résultats du suivi effectué en 2019

Ci-dessous l'extrait du Rapport Annuel d'Exploitation 2019 traitant de la température de rejet des effluents dans la baie de Bouillante :

« «

La température des effluents liquides de la centrale rejetés dans la baie de Bouillante est mesurée en continu par une sonde thermométrique placée dans le canal de rejet à son arrivée en mer. La température maximale de rejet est fixée à 45°C par l'arrêté préfectoral n°2012-965.

Les relevés effectués au cours de l'année 2019 sont reportés sur la Figure. La température des effluents rejetés en mer a varié entre 35°C et 45°C au long de l'année, avec une valeur moyenne de 40°C. Les variations de la température de rejet sont imputables principalement aux changements de régime dans l'exploitation des unités Bouillante 1 et 2 et de la réinjection.

La Figure montre également l'évolution de la température de l'eau de mer pompée pour refroidir les fluides géothermaux. Une évolution saisonnière se dessine avec un minimum de température (24°C) en mars et un maximum en septembre-octobre (28°C). Cette saisonnalité semble avoir influencé la température de rejet.

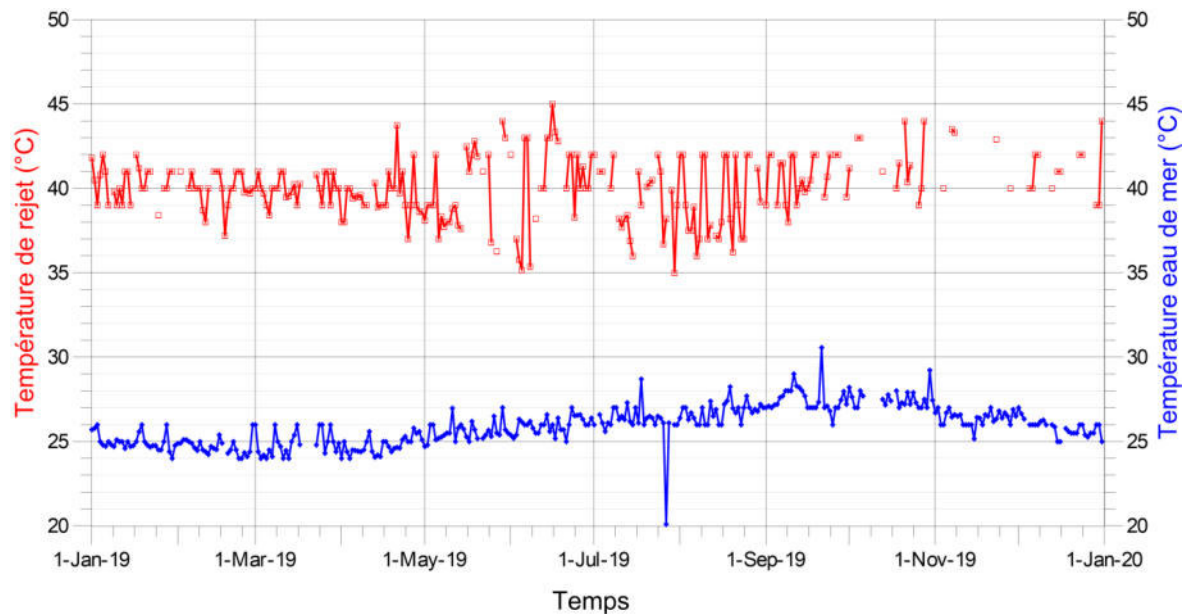


Figure 19 : Graphe montrant l'évolution de la température de rejet des effluents liquides à leur arrivée en mer et l'évolution de la température de l'eau de mer pompée pour le refroidissement des fluides au cours de l'année 2019.

« «

### 2.2.2. Résultats du suivi effectué en 2018

Ci-dessous l'extrait du Rapport Annuel d'Exploitation 2018 traitant de la température de rejet des effluents dans la baie de Bouillante :

« «

La température des effluents liquides de la centrale (fluide géothermique mélangé à l'eau de mer) rejetés dans la baie de Bouillante est mesurée en continu par une sonde thermométrique placée dans le canal de rejet à son arrivée en mer. La température maximale de rejet est fixée à 45°C par l'arrêté préfectoral n°2012-965.

Les relevés effectués au cours de l'année 2018 sont reportés sur la Figure. La température des effluents rejetés en mer a été inférieure à 45°C tout au long de l'année, et en moyenne de 41°C. Les variations de la température de rejet observées sont imputables principalement aux changements de régime dans l'exploitation des unités Bouillante 1 et 2 et de la réinjection.

La Figure montre également l'évolution de la température de l'eau de mer pompée pour refroidir les fluides géothermaux. Une évolution saisonnière se dessine avec un minimum de température (25°C) en mars et un maximum en septembre-octobre (28°C). Cette saisonnalité semble avoir influencé la température de rejet.

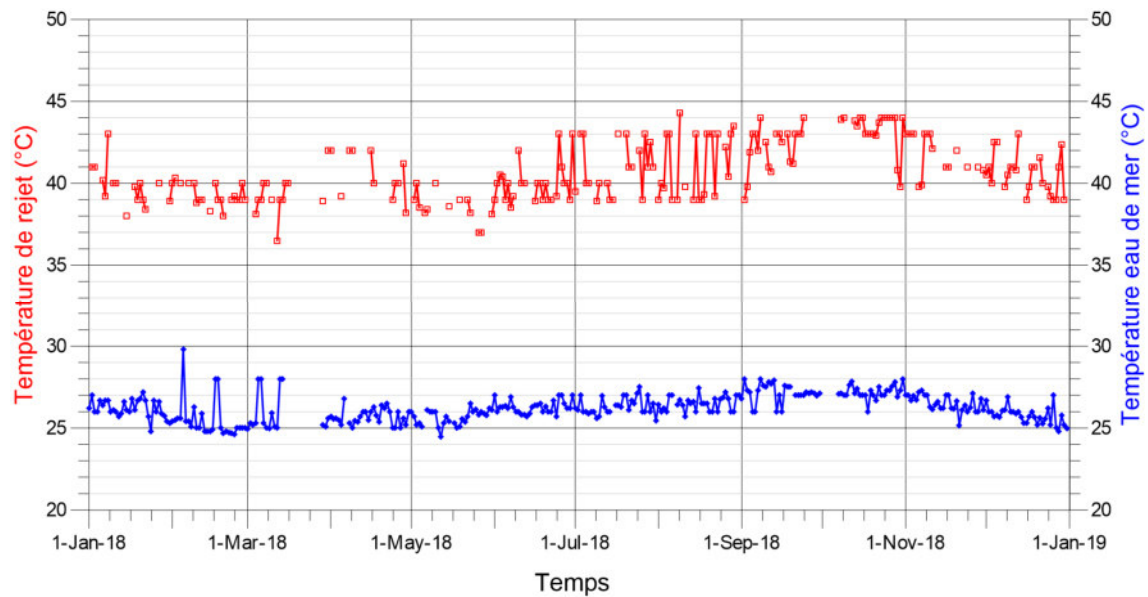


Figure 26 : Graphe montrant l'évolution de la température de rejet des effluents liquides à leur arrivée en mer et l'évolution de la température de l'eau de mer pompée pour le refroidissement des fluides au cours de l'année 2018.

### 3. PRECISIONS APORTEES SUR LES CONDITIONS DE REJET FUTURES

Dans son avis, la MRAe indique que l'étude d'impact stipule à la page 49 que la température finale de l'effluent est inférieure à 45 °C à la sortie du premier préchauffeur lorsque l'eau séparée est mélangée avec les effluents de l'unité. Cette observation doit être clarifiée de la façon suivante :

L'eau séparée en question est la fraction d'eau séparée (337 T/h) en sortie du 1<sup>er</sup> préchauffeur à une température de 85°C (courant 10 du diagramme des courants de la Figure 1).

Cette fraction d'eau séparée sera transportée par une conduite depuis le site de l'unité B1bis jusqu'au site de la centrale actuelle (voir Figure 2). Elle sera déchargée dans le condenseur atmosphérique (bassin à l'air libre) de l'unité Bouillante (Figure 3) qui reçoit par ailleurs les effluents du condenseur barométrique de l'unité B2 (5390 T/h à 37,7°C).

Le mélange entre l'eau séparée à 85°C et les effluents de l'unité B2 à 37,7°C va conduire à un mélange (5 727 T/h à 40,5°C) qui sera évacué vers le canal de rejet.

Le canal de rejet recevra par ailleurs les effluents de l'unité B1bis (1943 T/h à 39,4°C) et l'eau de mer en provenance de l'échangeur thermique de l'unité B1bis (6200 T/h à 37,3°C).

In fine, le mélange de l'ensemble de ces effluents conduit à un total des effluents rejetés en mer de 13 870 T/h à 38,9°C.

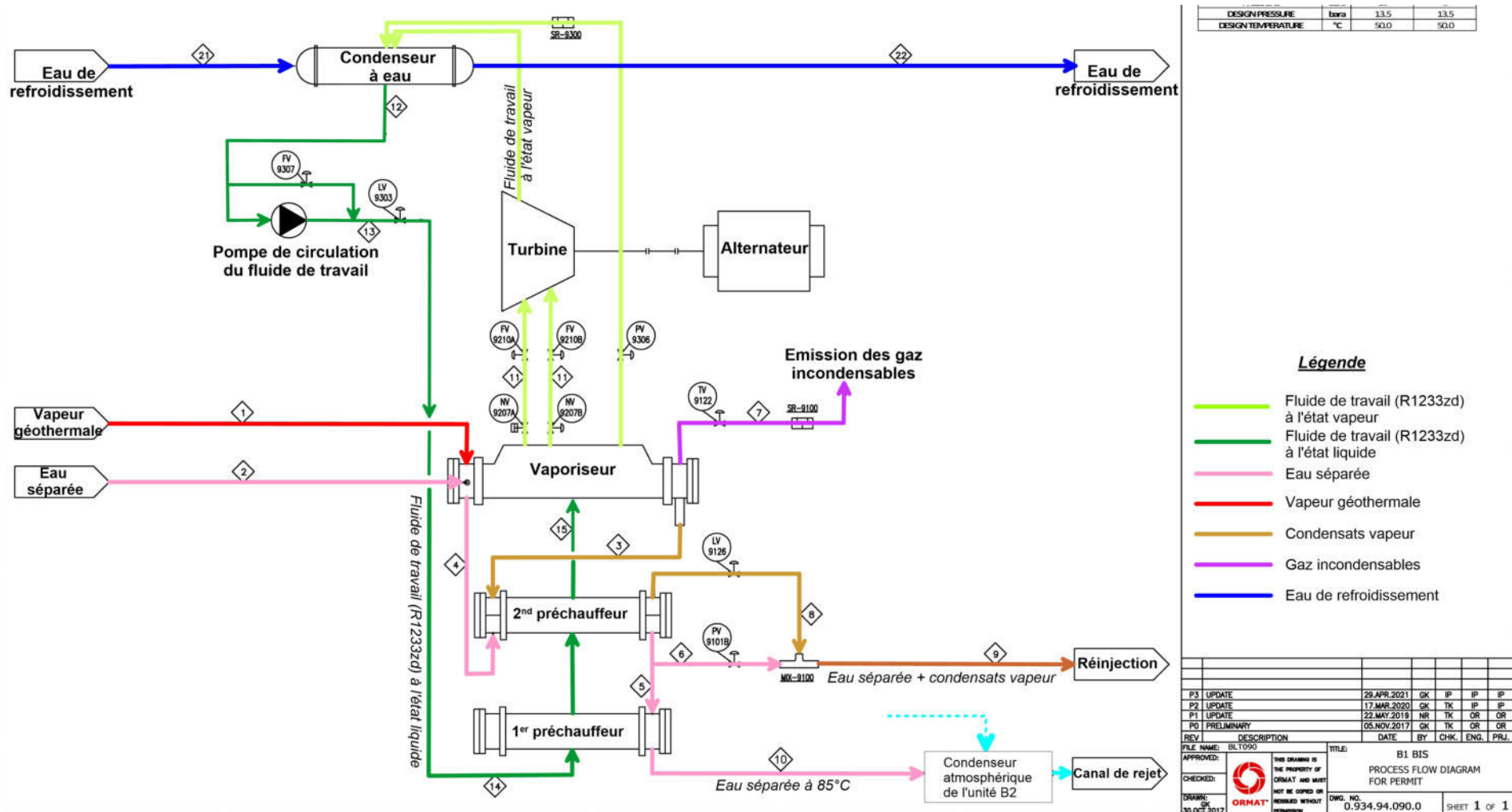


Figure 1 : Diagramme des courants (Process Flow Diagram) illustrant le fonctionnement de la future unité OEC B1bis de Bouillante (source : ORMAT).

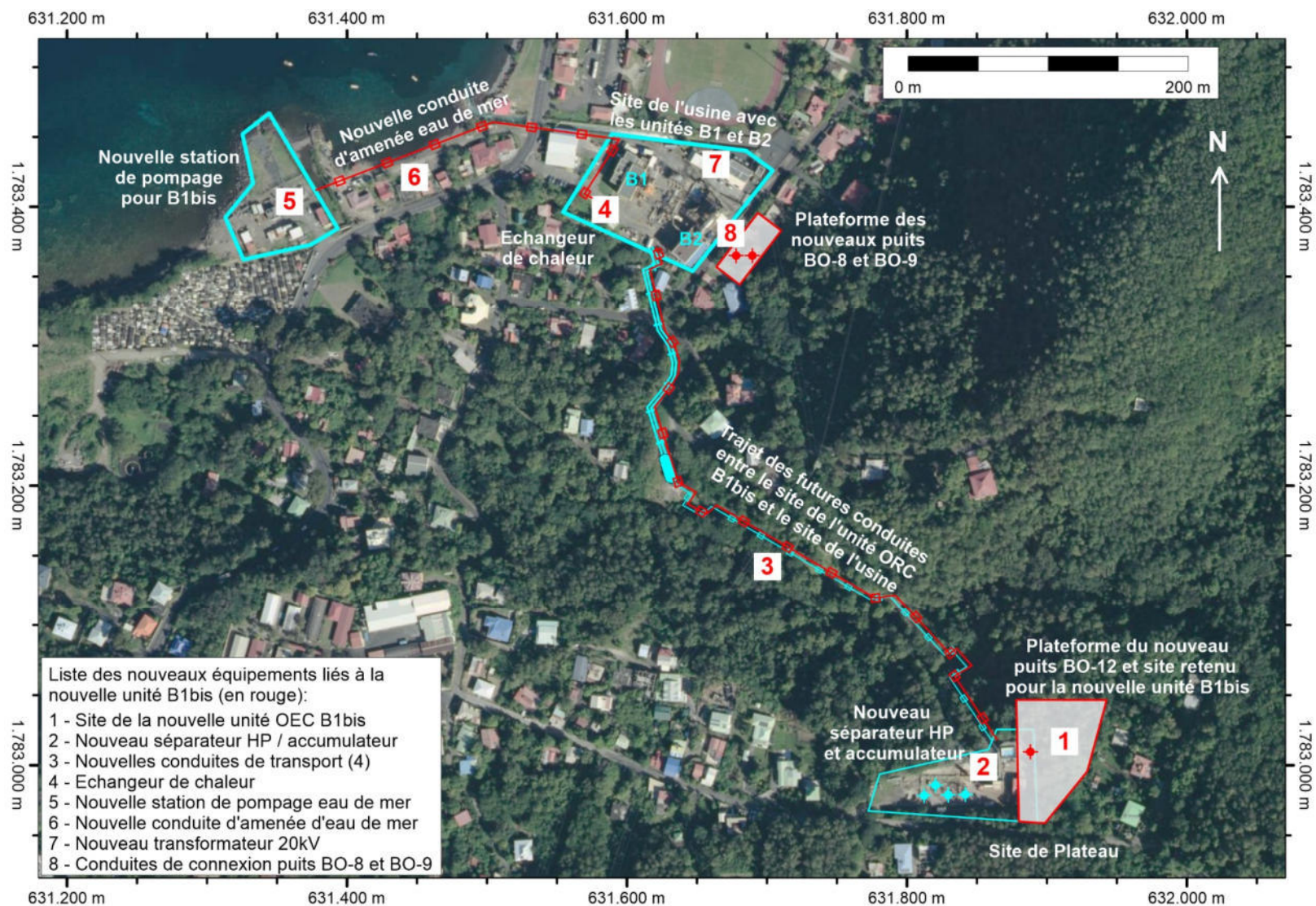


Figure 2 : Localisation des installations actuelles de la centrale géothermique de Bouillante (en bleu) et des nouvelles installations liées à la construction de l'unité B1bis (en rouge).

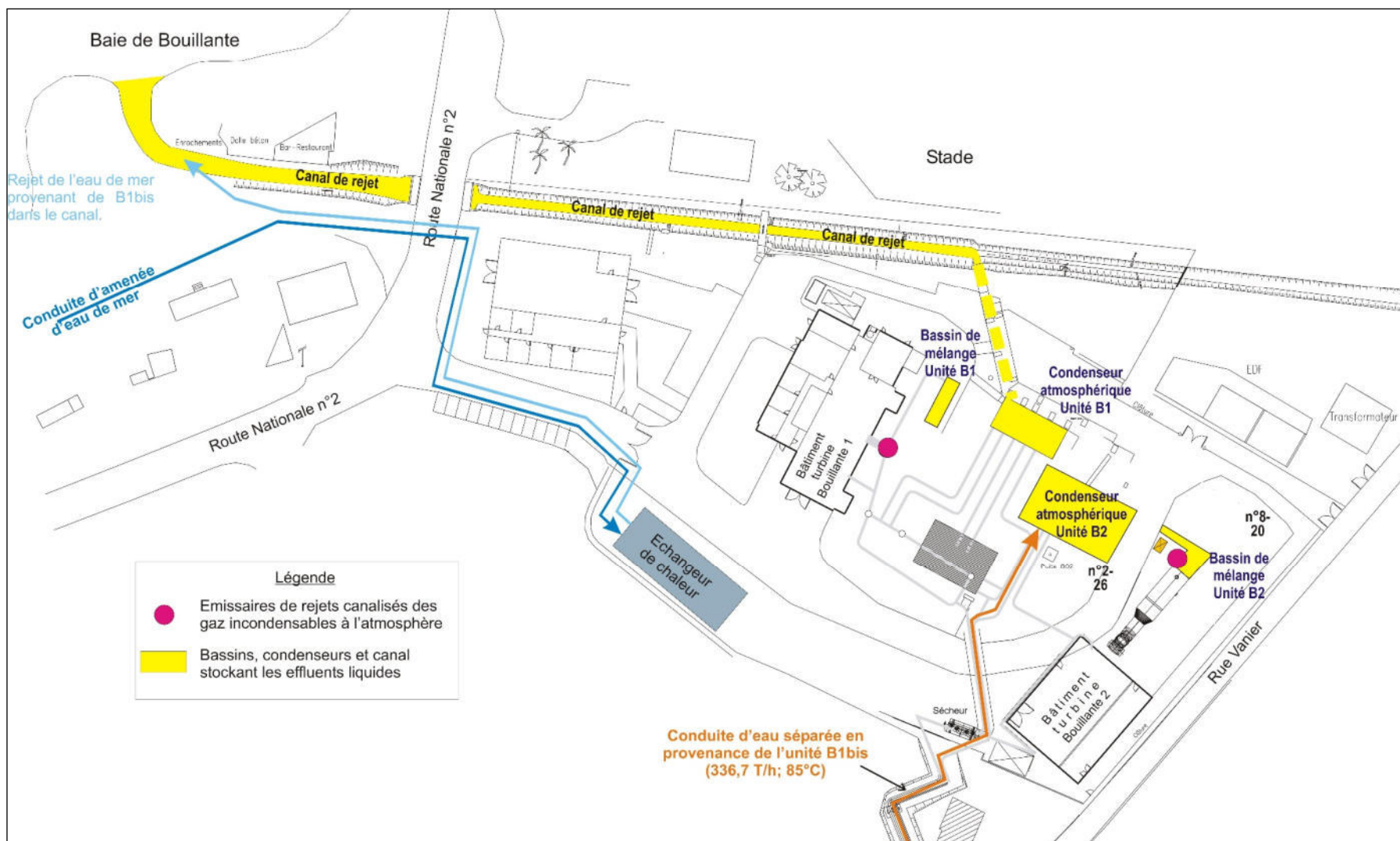


Figure 3 : Plan de masse simplifié du site actuel de l'usine de Bouillante montrant la localisation des équipements utilisés pour le rejet des effluents liquides des 3 unités B1, B2 et B1bis, et des rejets gazeux des unités B1 et B2.

# Chimie des effluents rejetés dans le milieu marin

## 4. REMARQUE DE LA MRAE

Dans son rapport, la MRAe fait remarquer que les documents fournis apportent des informations qui peuvent être contradictoires en ce qui concerne les conditions de rejet futures.

Notamment, elle indique que l'étude d'impact stipule à la page 61 que l'eau séparée sera acidifiée avec de l'acide (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pour abaisser le pH et qu'une fraction de cette eau séparée, légèrement acidifiée, sera mélangée à l'eau de mer dans le condenseur atmosphérique avant rejet dans le milieu marin avec un facteur de dilution de 40, n'entraînant pas de modification des caractéristiques physico-chimiques de l'eau de mer. Or, le tableau présent à la page 147 de l'étude d'impact semble mettre en évidence que le rejet a un impact sur les caractéristiques physico-chimiques des eaux marines de surface sur une bonne partie de la baie pour plusieurs éléments tels que : les silicates dissous, l'ammonium (NH<sub>4</sub>), le manganèse (Mn), le baryum (Ba), le lithium (Li), l'arsenic (As), le mercure (Hg), le chrome (Cr<sub>tot</sub>), le nickel (Ni), le zinc (Zn).

Géothermie Bouillante souhaite apporter les clarifications suivantes.

## 5. DONNEES CONCERNANT LE PH

### 5.1. Situation actuelle

Le Tableau 1 récapitule les valeurs de pH des différents fluides dont le mélange constitue les effluents liquides de la centrale de Bouillante rejetés en mer.

L'eau de mer a un pH légèrement basique. L'eau séparée a un pH proche de la neutralité tandis que les condensats vapeur sont acides.

Bien que constitués à 95% par de l'eau de mer, les effluents liquides ont un pH inférieur de 1 environ à celui de l'eau de mer. Cet écart de pH s'explique principalement par l'interaction entre l'eau de mer et les gaz géothermaux acides (notamment CO<sub>2</sub>) au niveau des condenseurs barométriques des unités B1 et B2. Il résulte également du mélange entre eau de mer et les condensats vapeur ayant un pH acide de l'ordre de 4-4,5.

	<i>Eau séparée</i>	<i>Condensats vapeur</i>	<i>Eau de mer</i>	<i>Effluents de la centrale</i>
Valeur moyenne de pH	7,2	4-4,5	8,1 – 8,2	7,1 ± 0,3
Débit actuel (T/h ou m <sup>3</sup> /h)	400-410	132	8 300	8 833

Tableau 1 : Valeur moyenne de pH des différents composants des effluents liquides de la centrale de Bouillante rejetés en mer, et leur contribution respective dans les effluents **actuels** de la centrale.

### 5.2. Traitement de l'eau séparée par acidification

Géothermie Bouillante a prévu de mettre en place un traitement de l'eau séparée pour prévenir la précipitation de silice amorphe dans les installations de la nouvelle unité B1bis et dans l'ensemble de la ligne de réinjection. La mise en place de ce système de traitement de l'eau séparée sera faite en conformité avec les prescriptions de l'Article 82 de l'Arrêté DEAL du 11 juin 2019.

Le type de traitement qui a été retenu par Géothermie Bouillante est l'acidification de l'eau séparée par ajout d'un acide (acide sulfurique). En effet, la précipitation de la silice amorphe à partir de l'eau séparée est dépendante du pH et elle est annihilée pour des valeurs de pH acide. Ce traitement consiste donc à abaisser le pH de l'eau séparée par injection en continu d'une faible quantité d'acide sulfurique  $H_2SO_4$  dans la conduite d'eau séparée en sortie du séparateur HP (qui se trouvera sur la plateforme des puits). Dans l'eau séparée, l'acide  $H_2SO_4$  se dissocie complètement et abaisse le pH

A Bouillante, le pH de l'eau séparée est proche de la neutralité (7,2). La valeur de pH à atteindre pour éviter la précipitation de silice amorphe serait de l'ordre de 5,5-6. Un dosage de l'ordre de 20 ppm d'acide sulfurique pourrait être envisagé pour atteindre cette valeur cible. Des essais préalables seront réalisés afin de confirmer la valeur de pH à atteindre pour éviter la précipitation de silice et pour valider le dosage de l'acide à injecter.

### 5.3. Impacts sur les effluents futurs

Une fraction de l'eau séparée traitée (337 T/h) sera présente dans les futurs effluents de la centrale de Bouillante lorsque l'unité B1bis sera en service. Son pH sera de 5,5-6 au lieu de 7,2 aujourd'hui. Cette baisse du pH de l'eau séparée ne devrait toutefois pas avoir d'impact significatif sur le pH final des effluents dans la mesure où sa contribution sera faible par rapport au débit global des effluents (Tableau 2). En effet, elle ne représentera que 2,5%.

Par ailleurs, le rapport de l'eau de mer dans les effluents par rapport au fluide géothermal (eau séparée et condensats vapeur) devrait croître de 15,5 à 28,5. Ceci devrait logiquement conduire à rapprocher le pH des effluents de celui de l'eau de mer.

Enfin, sur les 13 400 T/h d'eau de mer qui seront utilisés au global dans les processus de refroidissement/condensation du fluide géothermal (voir Tableau 2), 6 200 T/h seront utilisés au niveau de l'échangeur thermique de l'unité B1bis. Contrairement à ce qui se passe pour les unités B1 et B2, cette eau de mer n'interagira pas avec le fluide géothermal et son pH ne sera donc pas modifié. Ceci devrait aussi conduire à rapprocher le pH des effluents de celui de l'eau de mer.

En conclusion, cette modification du pH de la fraction eau séparée ne devrait pas avoir d'impact sur le pH des effluents rejetés en mer lorsque la nouvelle unité B1bis sera en service en raison de sa contribution très faible dans ces effluents. Parallèlement, d'autres modifications (augmentation notable du rapport de l'eau de mer dans les effluents, incorporation d'eau de mer n'interagissant pas avec les gaz et condensats vapeur) devrait aussi conduire à rapprocher le pH des effluents de celui de l'eau de mer, et ainsi limiter le contraste chimique entre le panache de rejet et le milieu marin. Dans ces conditions, et à ce stade, une valeur de pH des effluents de l'ordre de 7,5 est anticipée (Tableau 2).

	<i>Eau séparée</i>	<i>Condensats vapeur</i>	<i>Eau de mer</i>	<i>Effluents de la centrale</i>
Valeur moyenne de pH	5,5-6	4-4,5	8,1 – 8,2	7,5 ?
Débit (T/h ou m <sup>3</sup> /h)	337	133	13 400	13 870

Tableau 2 : Valeur moyenne de pH des différents composants des effluents liquides de la centrale de Bouillante rejetés en mer, et leur contribution respective dans les effluents **futurs** de la centrale.

## 6. DONNEES CONCERNANT LA COMPOSITION CHIMIQUE DES EFFLUENTS

Comme indiqué dans la notice d'impact, les effluents rejetés en baie de Bouillante contiennent des éléments chimiques en proportion plus élevée que dans le milieu marin. Ces éléments sont présents dans le fluide géothermal et plus particulièrement dans la phase eau séparée qui porte la minéralisation. Il s'agit notamment de :

- Arsenic (x 10)
- Silicates, Manganèse, Baryum, Mercure, Lithium (x 3 à x 6,5)
- Ammonium, Chrome, Nickel, Zinc (x 1,5 à x 2,5)

### 6.1. Processus de dilution du panache de rejet

Lors de la dispersion du panache de rejet dans la baie de Bouillante, les effluents vont se diluer progressivement au sein de la tranche d'eau superficielle. En effet, en raison de sa température, le panache reste stratifié à la surface de l'eau. Ceci a été vérifié à plusieurs reprises lors de campagnes de mesures dans la baie de Bouillante effectuées par CFG dans les années 2000 et plus récemment par NORTEKMED (2010) (Figure 4, Figure 5).

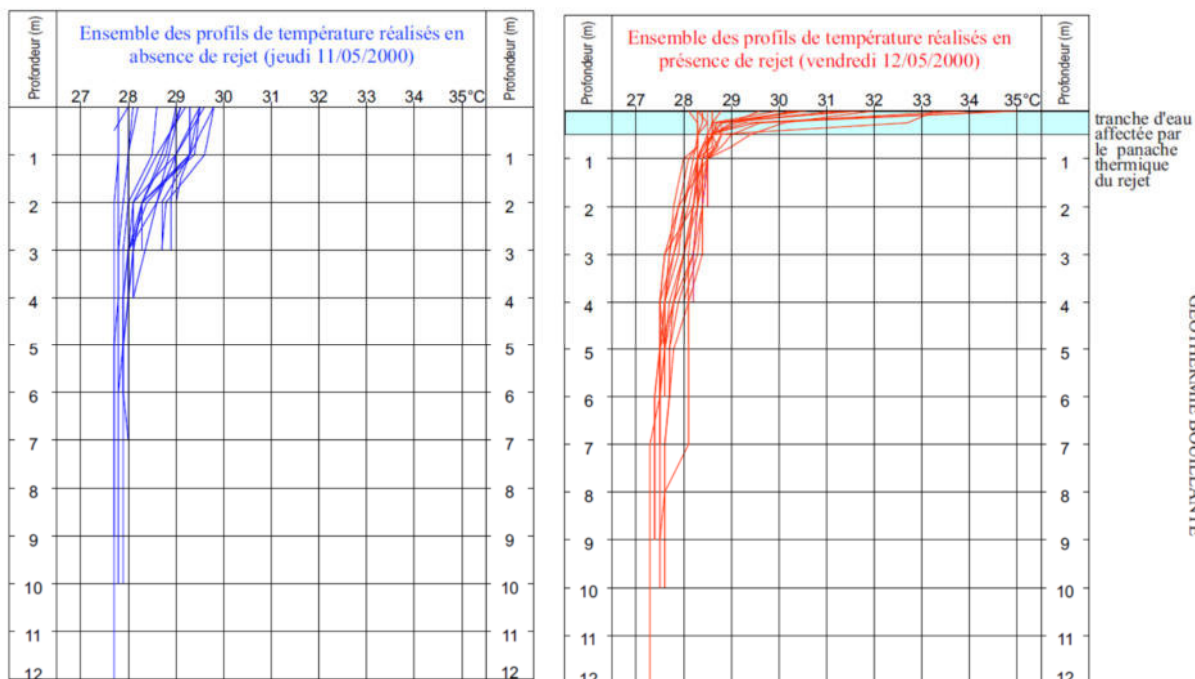


Figure 4 : Profils de température réalisés en différents points de la baie de Bouillante en mai 2000 sans rejet (gauche) et avec rejet (droite) d'effluents de la centrale (CFG, 2000).

On voit clairement que le panache de rejet est stratifié à la surface et affecte la tranche d'eau sur moins de 1 m de profondeur environ, y compris dans la partie distale du panache.

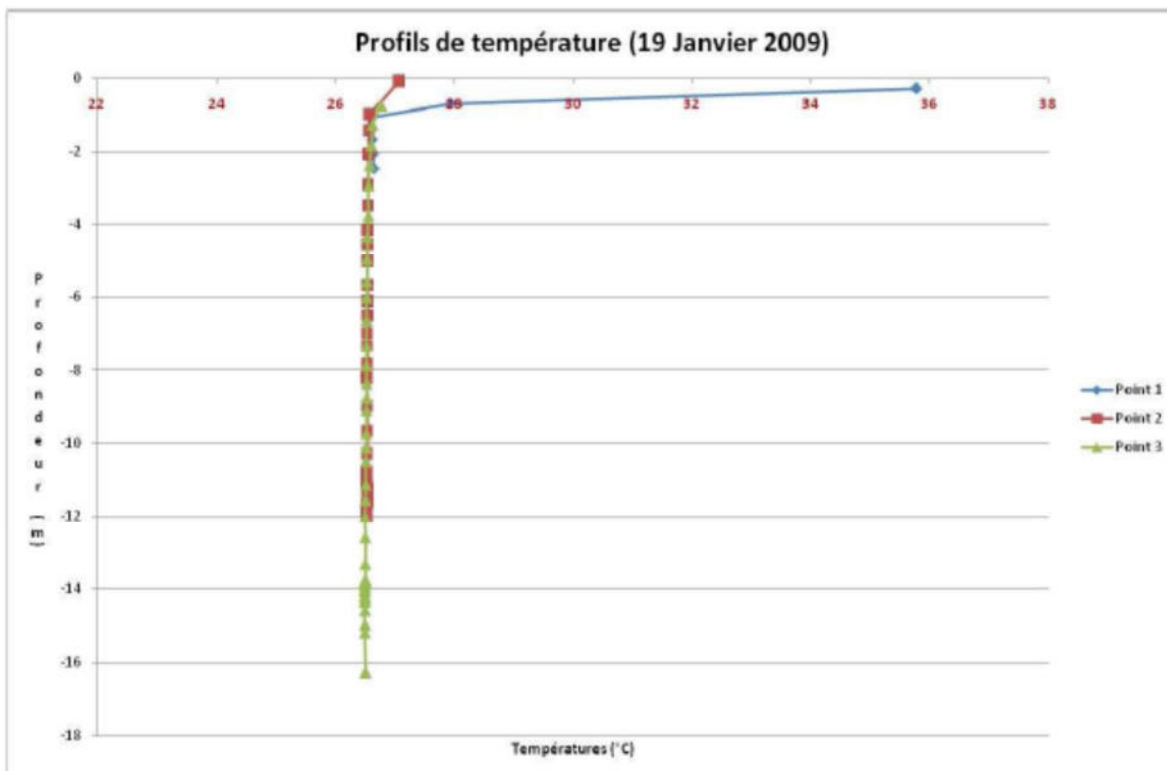
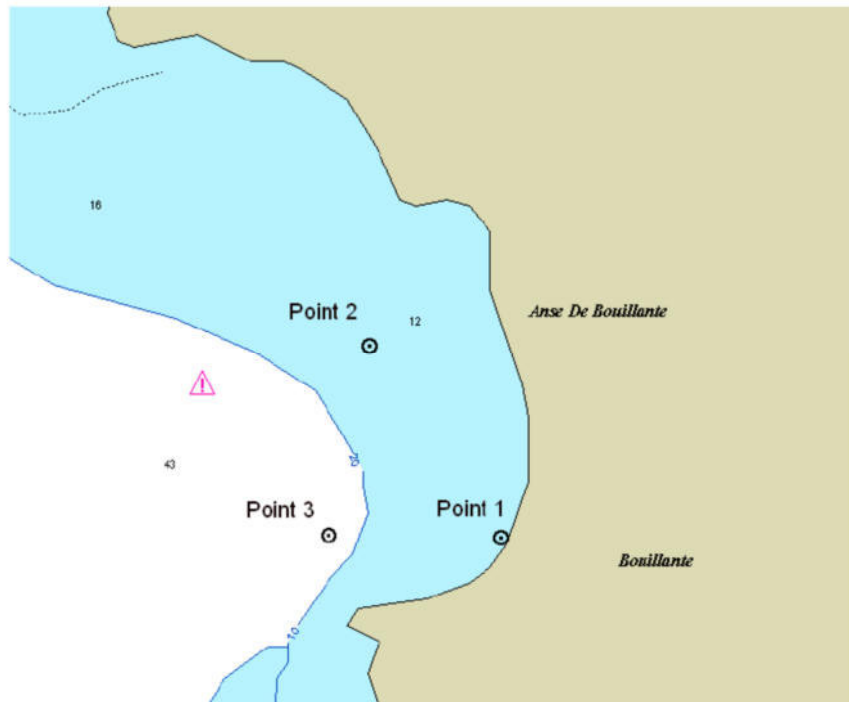


Figure 5 : Profils de température réalisés en trois points dans la baie de Bouillante par NORTEKMED (2009).

On voit clairement que le panache de rejet est stratifié à la surface et affecte une tranche d'eau de 1 m de profondeur environ, y compris dans la partie distale du panache.

Cette stratification du panache de rejet en surface a été vérifiée récemment par modèle avec les conditions futures de rejet (débit, température) des effluents issus de l'exploitation des unités B1, B2

et B1bis (CREOCEAN, 2021). La modélisation prédit qu'il n'y aura pas de variation de température au fond de la baie dans la zone de dispersion intermédiaire et distale du panache de rejet.

En conclusion, la dispersion thermique (et chimique) du panache de rejet se fait par dilution au sein de la tranche d'eau superficielle et n'est donc pas susceptible d'affecter la faune et la flore benthique.

## 6.2. Les apports chimiques dans la baie de Bouillante

Comme souligné en introduction, les effluents rejetés en baie de Bouillante contiennent des éléments chimiques en proportion plus élevée que dans le milieu marin. Ces éléments sont présents dans la phase eau séparée qui porte la minéralisation du fluide géothermal.

Dans la configuration actuelle de l'exploitation, les effluents liquide rejetés en mer contiennent environ 400-410 T/h d'eau séparée (Tableau 3).

Dans la configuration future, les effluents contiendront seulement 337 T/h d'eau séparée. Les apports d'éléments chimiques dans la baie de Bouillante seront donc réduits de 15%.

	Unités	Situation actuelle Unités B1 + B2	Situation future Unités B1 + B2 + B1bis	Evolution
Capacité de production brute	MWe	15,5	26,8	+ 73%
Condensats vapeur dans les effluents liquides	T/h	122 + 10	133	0%
Eau séparée dans les effluents liquides	T/h	400-410	336,7	- 16%
Eau de mer dans les effluents liquides	T/h	8 300	13 400	+ 61%
Total	T/h	8 833	13 870	+ 57%

Tableau 3 : Comparatif entre la situation actuelle et la situation future des effluents liquides de la centrale de Bouillante rejetés en mer.

## 6.3. Taux de dilution des éléments chimiques

Dans les effluents actuels, la fraction eau séparée (400-410 T/h) est mélangée avec 8300 T/h d'eau de mer (Tableau 3), soit un taux de dilution de l'ordre de 20.

Dans les effluents futurs, la fraction eau sépare (337 T/h) sera mélangée avec 13 400 T/h d'eau séparée, soit un taux de dilution de l'ordre de 40.

La concentration des éléments chimiques portés par l'eau séparée comme la silice, le baryum, l'arsenic, sera donc nettement inférieure dans les effluents futurs, comme le montre le Tableau 4.

Fluide		A	B	C	D
		Composition chimique Eau séparée représentative	Composition chimique eau de mer représentative	Composition chimique représentative des effluents ACTUELS	Composition chimique calculée des effluents FUTURS
pH		7,2	8,1	7,04	
Cond. (mS/cm)		30,8	48,9	48,3	
Salinité tot. (g/l)		26,2	35,8	34,6	35,3
<i>Eléments majeurs</i>					-
Cl	mg/l	14775	19 125	18 527	18 836
SO4	mg/l	11,8	2 711	2 597	2 620
NO3	mg/l		< 0,5		
HCO3	mg/l	20,0	149	124	144
Silice	mg/l	640	1,5	38,1	17
Na	mg/l	6698	10 864	10 410	10 659
K	mg/l	966	414	421	423
Ca	mg/l	2245	401	476	442
Mg	mg/l	1,6	1 230	1156	1 188
<i>Eléments traces</i>					-
PO4	mg/l		< 0,1		
F	mg/l	1,16	1,0	0,84	0,95
Br	mg/l	48	60,5	65,1	59,6
B	mg/l	15,4	4,60	5,22	4,8
NH4	mg/l	1,2	0,31	0,36	0,33
Li	mg/l	5,4	0,22	0,47	0,34
Sr	mg/l	21,9	6,71	8,25	7,0
Ba	mg/l	8,2	0,032	0,46	0,23
Mn	mg/l	5,4	0,004	0,33	0,14
Fe	mg/l	0,13	0,080	<0,02	0,08
Rb	mg/l	2,90	0,110	0,29	0,18
Al tot.	µg/l	42,5	6,7	25,2	7,5
As	µg/l	452	3,16	27,3	14,0
Cs	µg/l	377	0,85	20,7	10,0
Ge	µg/l	17,8	2,68	3,48	3,0
Co	µg/l	0,07	0,08	0,08	0,08
Cr	µg/l	0,45	0,21	0,32	0,22
Ni	µg/l	0,40	0,80	0,85	0,78
Cu	µg/l	1,30	0,53	0,56	0,54
Zn	µg/l	27,1	4,96	3,16	5,4
Ag	µg/l	0,1	0,15	0,14	0,15
Cd	µg/l	0,02	0,060	0,03	0,06
Pb	µg/l	0,08	<0,3	<0,3	<0,3
Mo	µg/l	2,6	10,40	9,42	10,1
Sb	µg/l	25,0	<0,010	<0,010	<0,010
Hg tot.	µg/l	0,008	<0,002	0,020	?
methyl Hg	ng/l		0,41	0,076	0,40
Cr VI	µg/l		<40	<40	<40

Tableau 4 : Compositions chimiques représentatives du fluide géothermal (phase eau séparée), de l'eau de mer, des effluents actuels (Unités B1 et B2 ; mai 2021), et composition chimique extrapolée des effluents futurs (Unités B1, B2 et B1bis).

Annexe XIII : Forages (description, impact)

## 1. MODALITES DE REALISATION DES FORAGES

### 1.1. Remarque de la MRAE

Dans son avis, la MRAE recommande de compléter l'analyse des impacts en indiquant les modalités de réalisation du forage des puits et en précisant les incidences liées à la réalisation de ces travaux.

La MRAE considère en effet que la réalisation des forages d'une part et le projet d'exploitation et de construction de l'unité de production d'autre part, objet du présent avis, constituent dans les faits et au sens de l'article L122-1 du code de l'environnement un même projet. Cette remarque se justifie d'autant plus que la nouvelle unité B1bis qui fait l'objet de la demande d'autorisation d'ouverture de travaux va être construite sur la plateforme du nouveau puits BO-12.

### 1.2. Réponse de Géothermie Bouillante

Comme indiqué dans l'avis de la MRAE, Géothermie Bouillante a déposé deux demandes d'autorisation d'ouverture de travaux miniers (DAOTM) :

- En 2018 pour réaliser trois nouveaux puits implantés sur une même plateforme dans le bourg de Bouillante (puits BO-8, BO-9, BO-10) ;
- En 2019 pour proposer deux nouveaux emplacements de puits (puits BO-11 situé dans l'enceinte de la centrale et puits BO-12 situé à proximité de la plateforme existante des puits sur le site de Plateau.

Le programme final de forage qui a été retenu par Géothermie Bouillante est le suivant :

- Forage des deux puits BO-8 et BO-9 sur la plateforme située dans le bourg de Bouillante derrière la centrale (Figure 1) ;
- Forage du puits BO-12 situé sur la plateforme de Plateau.

Pour répondre à la requête de la MRAE, deux options étaient possibles :

- Fournir à la MRAE les deux études d'impacts datant de 2018 et 2019, accompagnant les demandes d'autorisation d'ouverture de travaux, et qui décrivent en détail la réalisation des forages et leurs impacts ;
- Fournir à la MRAE un document actualisé (août 2021) décrivant la réalisation du puits BO-12 seul.

Géothermie Bouillante a opté pour une solution mixte, avec une première partie issue du document de septembre 2021 sur la réalisation du puits BO-12 et une seconde partie issue de l'étude d'impact du DAOTM de 2019, en présentant les incidences sur l'environnement des travaux de forage du puits BO-12. Les incidences des travaux de forage du puits BO-12 sont considérées comme représentatives des incidences des deux autres puits BO-8 et BO-9.

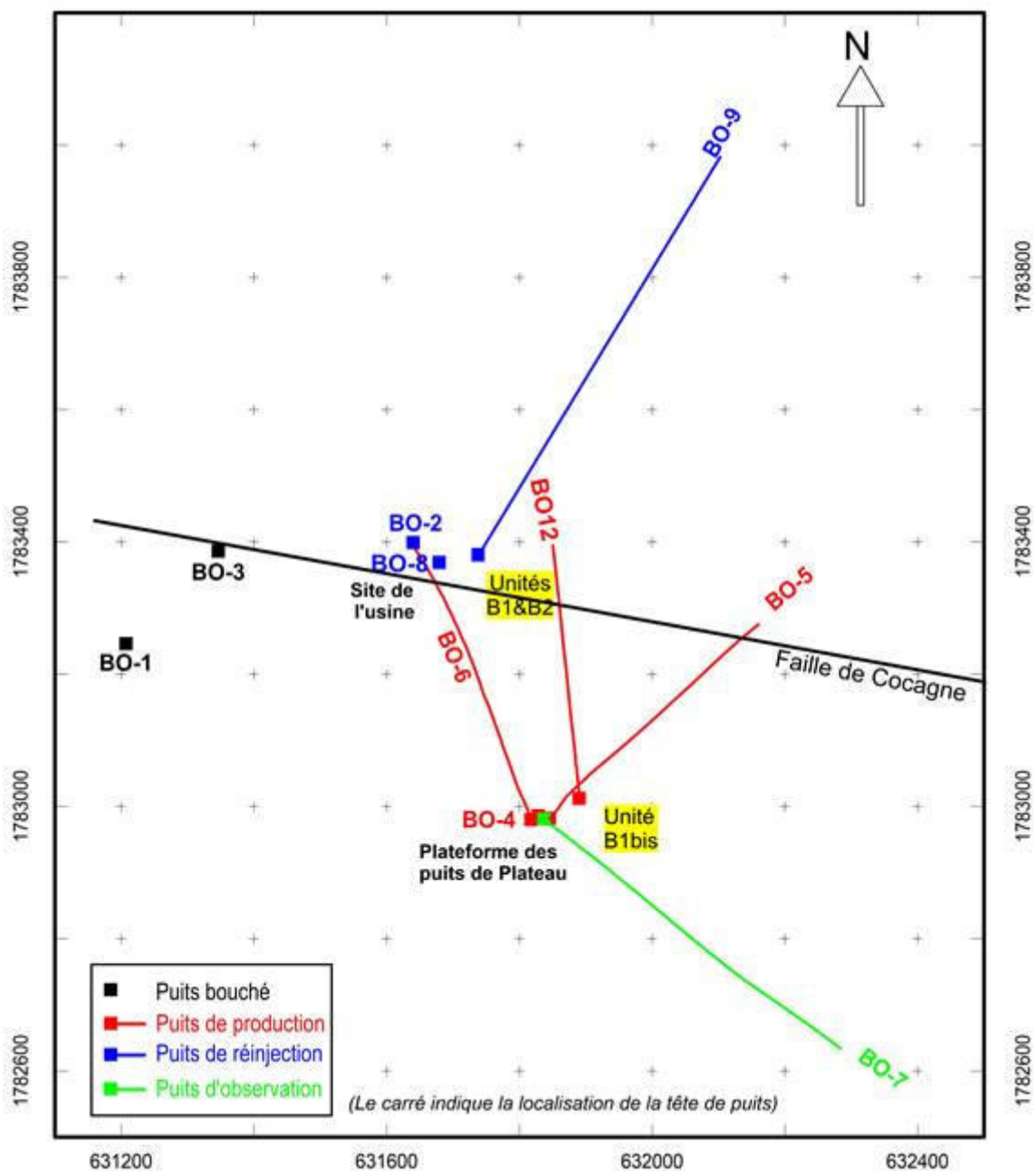


Figure 1 : Carte montrant les localisations et les trajectoires des puits existants et des trois nouveaux puits BO-8, BO-9 et BO-12 qui vont être forés prochainement (Coordonnées en UTM WGS84).



## **CONCESSION DE BOUILLANTE**

### **Programme de travaux de forage du puits BO-12**

Août 2021

**Géothermie Bouillante  
Le bourg  
97125 Bouillante**

**Diffusion** : Préfecture de Guadeloupe  
DEAL Guadeloupe



## SOMMAIRE DU RAPPORT

<b>I. INTRODUCTION .....</b>	<b>9</b>
I.1. <b>Objet de ce rapport .....</b>	<b>9</b>
I.2. <b>Fiche signalétique du puits du puits BO-12 .....</b>	<b>9</b>
I.3. <b>Cadre réglementaire .....</b>	<b>10</b>
I.4. <b>Le projet d'extension mené par Géothermie Bouillante .....</b>	<b>12</b>
<b>II. REALISATION DES TRAVAUX.....</b>	<b>13</b>
II.1. <b>Conduite des travaux de forage .....</b>	<b>13</b>
II.2. <b>Les équipements de forage .....</b>	<b>13</b>
II.3. <b>les personnels de forage .....</b>	<b>13</b>
II.4. <b>Organisation du travail .....</b>	<b>13</b>
II.5. <b>les entreprises sous-traitantes .....</b>	<b>13</b>
<b>III. PRESENTATION DES EQUIPEMENTS DE FORAGE .....</b>	<b>15</b>
III.1. <b>La machine de forage.....</b>	<b>15</b>
III.2. <b>Travaux de maintenance et de certification.....</b>	<b>17</b>
<b>IV. LA PLATEFORME DE FORAGE DU Puits BO-12 .....</b>	<b>18</b>
IV.1. <b>Localisation et coordonnées du puits BO-12 .....</b>	<b>18</b>
IV.2. <b>Préparation de la plateforme .....</b>	<b>19</b>
IV.3. <b>Implantation des équipements .....</b>	<b>20</b>
IV.4. <b>Mise en place du tube conducteur (Tube guide) .....</b>	<b>21</b>
IV.4.1 <b>Introduction .....</b>	<b>21</b>
IV.4.2 <b>Justification de la modification .....</b>	<b>22</b>
IV.4.3 <b>Mise en place du tube conducteur par battage (hammering).....</b>	<b>24</b>
IV.4.4 <b>Conclusion.....</b>	<b>24</b>
IV.4.5 <b>Diverter et BOP .....</b>	<b>24</b>
IV.5. <b>Design de la cave .....</b>	<b>26</b>
<b>V. COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE DU Puits.....</b>	<b>27</b>
V.1. <b>Introduction .....</b>	<b>27</b>
V.2. <b>Coupe géologique prévisionnelle du puits BO-12 .....</b>	<b>27</b>
V.3. <b>Niveaux perméables attendus.....</b>	<b>28</b>
V.4. <b>Risques potentiels durant le forage.....</b>	<b>28</b>
V.5. <b>Conditions de pression et de température attendues .....</b>	<b>30</b>
<b>VI. COUPE TECHNIQUE PREVISIONNELLE DU Puits BO-12.....</b>	<b>31</b>
VI.1. <b>Phases de forage prévisionnelles.....</b>	<b>31</b>
VI.2. <b>Coupe technique prévisionnelle .....</b>	<b>33</b>
VI.3. <b>trajectoire prévisionnelle.....</b>	<b>33</b>



<b>VII. PROGRAMME DE FORAGE.....</b>	<b>36</b>
<b>VII.1. Programme de forage .....</b>	<b>36</b>
<b>VII.2. Outils de forage .....</b>	<b>36</b>
<b>VII.3. Fluides de forage utilisés.....</b>	<b>36</b>
<b>VII.4. Contrôle des pertes .....</b>	<b>37</b>
<b>VII.5. programme de diagraphies .....</b>	<b>39</b>
<b>VII.6. Déblais de forage.....</b>	<b>39</b>
<b>VII.7. Programme de carottage .....</b>	<b>39</b>
<b>VII.8. Contrôle de l'inclinaison et de l'azimut.....</b>	<b>39</b>
<b>VIII. EQUIPEMENT DU PUIS .....</b>	<b>40</b>
<b>VIII.1. cuvelages .....</b>	<b>40</b>
VIII.1.1 Choix des cuvelages.....	40
VIII.1.2 Spécifications techniques des cuvelages.....	41
VIII.1.3 Description des colonnes de cuvelages prévisionnelles.....	41
VIII.1.4 Positionnement des sabots .....	41
VIII.1.5 Choix du nombre et du positionnement des centreurs .....	41
<b>VIII.2. cimentations .....</b>	<b>46</b>
VIII.2.1 Choix des phases de cimentation .....	46
VIII.2.2 Hauteur des cimentations .....	46
VIII.2.3 Caractéristiques et composition des ciments .....	46
VIII.2.4 Temps de séchage .....	46
VIII.2.5 Programme type des opérations de cimentation .....	47
VIII.2.6 Moyens de contrôle des cimentations .....	48
<b>IX. EQUIPEMENTS DE SECURITE.....</b>	<b>49</b>
<b>IX.1. Pression maximale en tête de puits attendue .....</b>	<b>49</b>
<b>IX.2. Tête de puits (casing head) .....</b>	<b>49</b>
<b>IX.3. Bloc obturateur de puits (BOP).....</b>	<b>49</b>
<b>IX.4. Contrôle des BOP.....</b>	<b>51</b>
<b>X. DEROULEMENT PREVISIONNEL DES TRAVAUX DE FORAGE DU PUIS BO-12.....</b>	<b>52</b>
<b>X.1. Mobilisation .....</b>	<b>52</b>
<b>X.2. Phase de forage en 28'' et mise en place du cuvelage de 24'' .....</b>	<b>53</b>
X.2.1 Analyse des risques.....	53
X.2.2 Procédure opérationnelle .....	54
<b>X.3. Phase de forage en 21'' et mise en place du cuvelage 18-5/8'' .....</b>	<b>55</b>
X.3.1 Analyse de risques.....	55
X.3.2 Travaux préparatoires.....	56
X.3.3 Procédure opérationnelle .....	56
<b>X.4. Phase de forage en 17-1/2'' et mise en place du cuvelage 13-3/8'' .....</b>	<b>59</b>
X.4.1 Analyse de risques.....	59
X.4.2 Travaux préparatoires.....	59
X.4.3 Procédure opérationnelle .....	60
<b>X.5. Phase de forage en 12-1/4'' et mise en place du liner 9-5/8'' .....</b>	<b>63</b>



X.5.1	Analyse de risques.....	63
X.5.2	Travaux préparatoires.....	63
X.5.3	Procédure opérationnelle .....	64
X.5.4	Test d'injectivité et essai de production .....	64
X.5.5	Procédure de mise en place du liner 9-5/8'' .....	65
<b>XI.</b>	<b>MOYENS D'INTERVENTIONS EN CAS DE BLOCAGE DE LA GARNITURE DANS LE PUIIS .....</b>	<b>67</b>
<b>XI.1.</b>	<b>introduction .....</b>	<b>67</b>
<b>XI.2.</b>	<b>moyens d'intervention.....</b>	<b>67</b>
XI.2.1	Mise en œuvre de la coulisse.....	67
XI.2.2	Mise en œuvre d'explosifs .....	67
<b>XII.</b>	<b>TESTS DE COURTE DUREE A LA FIN DU FORAGE .....</b>	<b>72</b>
<b>XII.1.</b>	<b>Diagraphies d'imagerie de paroi.....</b>	<b>72</b>
<b>XII.2.</b>	<b>Test « water-loss » .....</b>	<b>72</b>
<b>XII.3.</b>	<b>Test d'injectivité .....</b>	<b>72</b>
<b>XII.4.</b>	<b>Dégorgement du puits et mise en production de courte durée.....</b>	<b>73</b>
<b>XII.5.</b>	<b>Le système de traitement du gaz H<sub>2</sub>S.....</b>	<b>75</b>
XII.5.1	Les émissions de gaz H <sub>2</sub> S dans l'atmosphère.....	76
XII.5.2	Traitement des émissions de H <sub>2</sub> S.....	76
XII.5.3	Mesures de prévention .....	77
<b>XII.6.</b>	<b>Profils de mesures durant le réchauffement .....</b>	<b>77</b>
<b>XIII.</b>	<b>REMISE EN ETAT DU SITE A LA FIN DES TRAVAUX .....</b>	<b>78</b>
<b>XIV.</b>	<b>PROGRAMME PREVISIONEL DE FERMETURE DU PUIIS.....</b>	<b>80</b>
<b>XIV.1.</b>	<b>Principe de l'abandon d'un puits .....</b>	<b>80</b>
<b>XIV.2.</b>	<b>Décision d'abandon du puits BO-12.....</b>	<b>80</b>
<b>XIV.3.</b>	<b>Programme prévisionnel des travaux d'abandon du puits BO-12.....</b>	<b>80</b>
<b>XIV.4.</b>	<b>Protection des aquifères superficiels.....</b>	<b>83</b>
<b>XIV.5.</b>	<b>Information concernant les travaux réalisés .....</b>	<b>83</b>
<b>XV.</b>	<b>SECURITE DES PERSONNELS .....</b>	<b>84</b>
<b>XV.1.</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>84</b>
<b>XV.2.</b>	<b>Document de santé et de sécurité .....</b>	<b>84</b>
<b>XV.3.</b>	<b>Information des personnels en cas d'urgence .....</b>	<b>84</b>
<b>XV.4.</b>	<b>Informations préalables des administrations et des services publics .....</b>	<b>84</b>
<b>XV.5.</b>	<b>Rappel des mesures et éléments de prévention.....</b>	<b>86</b>
<b>XV.6.</b>	<b>Protection contre l'incendie .....</b>	<b>87</b>
<b>XV.7.</b>	<b>Protection contre les émissions de sulfure d'hydrogène H<sub>2</sub>S.....</b>	<b>87</b>
XV.7.1	Risques liés au gaz H <sub>2</sub> S.....	87
XV.7.2	Mesures de prévention .....	89
XV.7.3	Retour d'expérience.....	89
<b>XV.8.</b>	<b>Protection contre les venues éruptives de fluides .....</b>	<b>89</b>
XV.8.1	Moyens techniques de prévention des venues éruptives .....	89



XV.8.2	Autres mesures de prévention.....	90
--------	-----------------------------------	----

## LISTE DES FIGURES

Figure 1	: Localisation du champ géothermique de Bouillante sur la côte sous le vent de l'île de Basse Terre en Guadeloupe. ....	9
Figure 2	: Carte montrant les localisations et les trajectoires des puits existants et des trois nouveaux puits BO-8, BO-9 et BO-12 qui vont être forés prochainement (Coordonnées en UTM WGS84). ....	11
Figure 3	: Illustration photographique du type de machine de forage qui sera utilisée pour forer le puits BO-12.....	15
Figure 4	: Illustration de la machine de forage qui sera utilisée pour réaliser le puits BO-12, avec le mât relevé, les bacs à boue à gauche, les racks supportant les tiges à droite du mât.....	15
Figure 5	: Localisation du puits BO-12 sur la carte topographique de l'IGN au 1/25 000. ....	18
Figure 6	: Localisation du puits BO-12 sur la parcelle AO412, à proximité des puits existants. ....	19
Figure 7	: Vue (vers le Nord) des travaux de terrassements de la plateforme de forage du puits BO-12 qui accueillera ultérieurement l'unité B1bis (source : Géothermie Bouillante).....	20
Figure 8	: Implantation prévisionnelle des équipements de forage sur la plateforme du puits BO-12 (source : ORMAT). ....	21
Figure 9	: Illustration d'un chantier de mise en place d'un tube conducteur par battage à l'aide d'une grue équipée d'un marteau (source : ORMAT). ....	23
Figure 10	: Illustration d'un marteau enfonçant un tube conducteur (source : ORMAT) ....	23
Figure 11	: Illustration des organes de contrôle de venues éruptives (Diverter et BOP) pouvant être installés sur la tête d'un puits en cours de forage. ....	25
Figure 12	: Gabarit utilisé pour construire la cave temporaire qui sera utilisée pendant les travaux de forage. ....	26
Figure 13	: Vue de la cave en béton du puits BO-6 montrant une des traverses métalliques fixée au mur de la cave et destinée à maintenir la tête de puits en cas de sollicitation sismique. ....	26
Figure 14	: Section verticale orientée NNW-SSE à travers le réservoir de Bouillante montrant la lithologie simplifiée, la position des failles, la distribution des isothermes et la trajectoire des puits existants et du puits BO-12 (source : ORMAT).....	27
Figure 15	: Coupe géologique prévisionnelle du puits BO-12. ....	29
Figure 16	: Graphe des conditions de pression et température attendues dans le puits BO-12. ....	30
Figure 17	: Coupe technique prévisionnelle du puits BO-12 avec la position des cuvelages et des cimentations.....	32
Figure 18	: Détail de la coupe technique prévisionnelle du puits BO-12 entre 0 et 150 m de profondeur. ....	33
Figure 19	: Trajectoire du puits BO-12 (en rouge) et des puits existants (en bleu) sur un plan horizontal. ....	34
Figure 20	: Section verticale dans l'axe du puits BO-2 (N356°) montrant sa trajectoire inclinée de 25° par rapport à la verticale.....	35
Figure 21	: Schéma de la colonne prévisionnelle du cuvelage 24". ....	42
Figure 22	: Schéma de la colonne prévisionnelle du cuvelage 18-5/8". ....	43
Figure 23	: Schéma de la colonne prévisionnelle du cuvelage 13-3/8". ....	44
Figure 24	: Schéma de la colonne prévisionnelle du liner perforé 9-5/8". ....	45



Figure 25 : Illustration des opérations à réaliser pour remédier à une mauvaise cimentation ou à une cimentation incomplète. ....	48
Figure 26 : Schéma du BOP 21-1/4" 2M qui sera mis en place sur la casing head lors des phases de forage en 21" et 17-1/2" . ....	50
Figure 27 : Schéma du BOP 13-5/8" 3M qui mis en place sur une vanne maîtresse lors de la phase de forage en 12-1/4" . ....	51
Figure 28 : Illustration du container de la société SDP qui sera utilisé pour le stockage sécurisé des explosifs sur le chantier de forage à Bouillante. ....	71
Figure 29 : Schéma de la ligne d'essai utilisée pour les essais de production des puits BO-11 et BO-12 (d'après un document de Ormat). ....	74
Figure 30 : Bassin de rétention bétonné sur la plateforme des puits actuelle destiné à recueillir le fluide géothermal déchargé durant les phases transitoires d'ouverture et de chauffe des puits, et de maintien en température. ....	75
Figure 31 : Vue du puits BO-6 sur la plateforme de Plateau illustrant la tête d'un puits géothermique placée dans une cave bétonnée, munie de vannes d'isolement et connectée à une conduite de transport des fluides calorifugée. ....	79
Figure 32 : Colonne technique prévisionnelle du puits BO-12 après abandon, avec la position des trois bouchons de ciment destinés à obturer le puits. ....	82

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Fiche signalétique du puits BO-12. ....	10
Tableau 2 : Composition type d'une équipe de forage en distinguant le personnel en poste et le personnel non posté. ....	14
Tableau 3 : Principales caractéristiques de la machine de forage SK1000 qui sera mise en œuvre pour réaliser le puits BO-12. ....	16
Tableau 4 : Coordonnées approchées du puits BO-12 (UTM WGS84). ....	19
Tableau 5 : Phases prévisionnelles de forage et diamètre des différents cuvelages qui seront mis en place dans le puits BO-12. ....	31
Tableau 6 : Principaux paramètres de la trajectoire envisagée pour le puits BO-12. ....	34
Tableau 7 : Phases prévisionnelles de forage et diamètre des différents cuvelages qui seront mis en place dans le puits BO-12. ....	36
Tableau 8 : récapitulatif des différents types d'outils qui seront utilisés pour le forage du puits BO-12. ....	36
Tableau 9 : Caractéristiques des fluides de forage utilisés pour la foration du puits BO-12. ....	37
Tableau 10 : Paramètres détaillés des fluides de forage recommandés par Sinclair Well Products & Services selon les phases de foration du puits BO-12. ....	38
Tableau 11 : Caractéristiques des pompes utilisées pour la circulation du fluide de forage. ....	38
Tableau 12 : Caractéristiques des cuvelages retenus pour équiper le puits BO-12. ....	40
Tableau 13 : Spécifications techniques des cuvelages qui seront mis en place dans le puits BO-12. ....	40
Tableau 14 : Cotes prévisionnelles des sabots des colonnes de cuvelage dans le puits BO-12. ....	41
Tableau 15 : Composition des fluides et du ciment qui seront mis en œuvre pour la cimentation de la colonne de cuvelage externe 24" . ....	46
Tableau 16 : Composition des fluides et du ciment qui seront mis en œuvre pour la cimentation de la colonne de cuvelage intermédiaire 18-5/8" . ....	47
Tableau 17 : Composition des fluides et du ciment qui seront mis en œuvre pour la cimentation de la colonne de cuvelage intermédiaire 13-3/8" . ....	47



Tableau 18 : Pressions maximales attendues en tête de puits, caractéristiques des BOP et pression minimum de test, caractéristiques des têtes de puits.....	49
Tableau 19 : Risques identifiés et mesures adoptées pour y remédier lors de la phase de forage en 28'' et lors de la mise en place du cuvelage en 24'' .....	53
Tableau 20 : Composition prévisionnelle de la BHA (garniture de forage) en 28'' .....	55
Tableau 21 : Risques identifiés et mesures adoptées pour y remédier lors de la phase de forage en 21'' et de mise en place du cuvelage 18-5/8'' .....	56
Tableau 22 : Composition prévisionnelle de la garniture de forage directionnelle en 21'' .....	58
Tableau 23 : Risques identifiés et mesures adoptées pour y remédier lors de la phase de forage en 17-1/2'' et de mise en place du cuvelage 13-5/8'' .....	59
Tableau 24 : Composition prévisionnelle de la garniture de forage directionnelle en 17-1/2'' .....	62
Tableau 25 : Risques identifiés et mesures adoptées pour y remédier lors de la phase de forage en 12-1/4'' et de mise en place du liner 9-5/8'' .....	63
Tableau 26 : Composition prévisionnelle de la garniture de forage directionnelle en 12-1/4'' .....	66
Tableau 27 : Liste et caractéristiques des équipements comportant des matières explosives qui seront approvisionnés en Guadeloupe dans le cadre du forage des puits BO-12, BO-8 et BO-9. ....	68
Tableau 28 : Concentration des gaz incondensables présents dans la phase vapeur délivrée par les puits BO-5 et BO-6 à la sortie du séparateur HP à une pression de 6,5 bars-a le 06/02/2018 (Prélèvement et analyse par ISOR) .....	76
Tableau 29 : Exemples de quelques risques prévisibles et de mesures de prévention et consignes applicables au chantier de forage du puits BO-12. ....	85
Tableau 30 : Relation dose/effets de l'hydrogène sulfuré sur l'homme. ....	88
Tableau 31 : Valeurs limites indicatives d'exposition professionnelle au gaz H <sub>2</sub> S selon l'INERIS (2011) .....	88

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Spécifications techniques des quatre types d'outils de forage (28'', 21'', 17-1/2'', 12-1/4'') qui seront mis en œuvre pour forer le puits BO-12.....	93
Annexe 2 : Spécifications techniques détaillées concernant les cuvelages qui seront mis en place dans le puits BO-12. ....	97
Annexe 3 : Spécifications techniques du liner hanger qui sera mis en place dans le puits BO-12 pour accrocher le liner perforé en 9-5/8'' .....	99
Annexe 4: ORMAT standard safety Program and emergency contingency plan. Programme standard de sécurité et plan d'urgence d'ORMAT .....	101
Annexe 5 : ORMAT Blowout Action Plan – Wait and Weight method. Plan d'action d'ORMAT en cas de venue éruptive -Méthode Wait and Weight .....	111
Annexe 6 : ORMAT Blowout Action Plan – Driller method. Plan d'action d'ORMAT en cas de venue éruptive - Méthode Driller .....	114
Annexe 7 : Procédure d'Ormat concernant la protection de l'environnement sur un chantier de forage. ....	119
Annexe 8 : Check-list d'inspection du rig (IADC Drilling Rig Safety Inspection) appliquée par ORMAT sur ses chantiers de forage. ....	123

## I. INTRODUCTION

### I.1. OBJET DE CE RAPPORT

L'article 4 de l'Arrêté du 14 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières stipule que le bénéficiaire d'une autorisation d'ouverture de travaux de forage adresse au préfet au moins un mois avant le début des travaux le programme des travaux de forage, établi proportionnellement aux enjeux.

C'est l'objet de ce rapport présenté par la société Géothermie Bouillante, détentrice de la concession de gîtes géothermiques dite « Concession de Bouillante » et exploitant la centrale géothermique de Bouillante, en Guadeloupe (Figure 1).

Ce rapport présente le **programme des travaux de forage du puits BO-12** pour lesquels Géothermie Bouillante dispose d'une autorisation délivrée par l'Arrêté DEAL du 20 décembre 2019 portant autorisation d'ouverture de travaux miniers en vue de réaliser deux nouveaux forages, dans le but d'accroître la capacité de production d'électricité de la centrale géothermique sur le territoire de la commune de Bouillante.

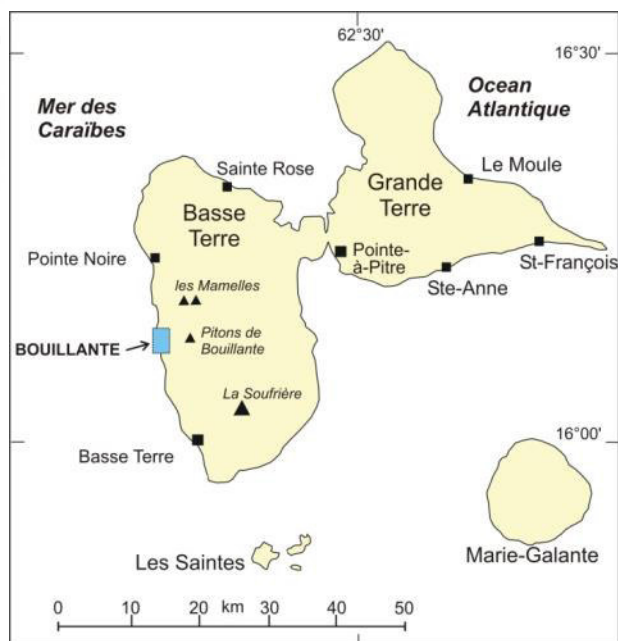


Figure 1 : Localisation du champ géothermique de Bouillante sur la côte sous le vent de l'île de Basse Terre en Guadeloupe.

### I.2. FICHE SIGNALÉTIQUE DU PUIS DU PUIS BO-12

La fiche signalétique du puits BO-12 est donnée dans le Tableau 1.



Nom du puits	BO-12
Localisation	Bouillante, Guadeloupe
Maître d'ouvrage	Géothermie Bouillante
Maître d'œuvre	ORMAT
Machine de forage	Rig #9 (KB 22') – SK 1000
Type de puits	Puits de production
Géométrie	Puits directionnel vers le NNE
Longueur forée MD	4 200' (1280 m)
Profondeur verticale TVD	3 934' (1200 m)
Diamètre du tube conducteur	30''
Diamètre du cuvelage de production	13-3/8''
Diamètre final du puits	12-1/4''
Diamètre du liner	9-5/8''
Coordonnées de la tête de puits	X : 631890 mE ; Y : 1783012 mN
Cordonnées du fond du puits	X : 631862,175 mE ; Y : 1783406,456 mN
Système de coordonnées	WGS84 UTM Zone 20 North
Altitude du puits	295' (90 m au-dessus du niveau de la mer)

Tableau 1 : Fiche signalétique du puits BO-12.

### I.3. CADRE REGLEMENTAIRE

La société Géothermie Bouillante est détentrice d'une concession de gîtes géothermiques à haute température dite « Concession de Bouillante », Guadeloupe, qui lui a été accordée par décret en date du 17 juin 2009 pour une durée de 50 ans.

L'exploitation de la centrale géothermique de Bouillante est actuellement encadrée par les autorisations suivantes :

- L'arrêté préfectoral n°2012-965 du 16 août 2012 portant autorisation d'ouverture de travaux miniers pour l'exploitation de gîtes géothermiques pour la production d'électricité par la centrale géothermique sur le territoire de la commune de Bouillante par la société Géothermie Bouillante.
- L'arrêté préfectoral n°2014-145 SG/DICTAJ/BRA du 31 mars 2014 portant création de la Commission de Suivi de Site (CSS) autour de l'installation exploitée par la société Géothermie Bouillante ;
- L'arrêté préfectoral n°2015-079 SG/DICTAJ/BRA du 20 juillet 2015 modifiant l'arrêté préfectoral n°2012-965 du 16 août 2012 portant autorisation d'ouverture de travaux miniers pour l'exploitation de gîtes géothermiques pour la production d'électricité par la centrale géothermique sur le territoire de la commune de Bouillante, présentée par la société Géothermie Bouillante.

Les travaux de forage du puits BO-12 ont été autorisés par l'arrêté DEAL du 20 décembre 2019, portant autorisation d'ouverture de travaux miniers en vue de réaliser deux nouveaux forages, dans le but d'accroître la capacité de production d'électricité de la centrale géothermique sur le territoire de la commune de Bouillante, déposée par la société Géothermie Bouillante.

Cette autorisation a été prolongée par l'arrêté DEAL du 25 juin 2021 portant prolongation d'autorisation d'ouverture de travaux miniers en vue de réaliser cinq nouveaux forages, dans le

but d'accroître la capacité de production d'électricité de la centrale géothermique sur le territoire de la commune de Bouillante, déposée par la société Géothermie Bouillante.

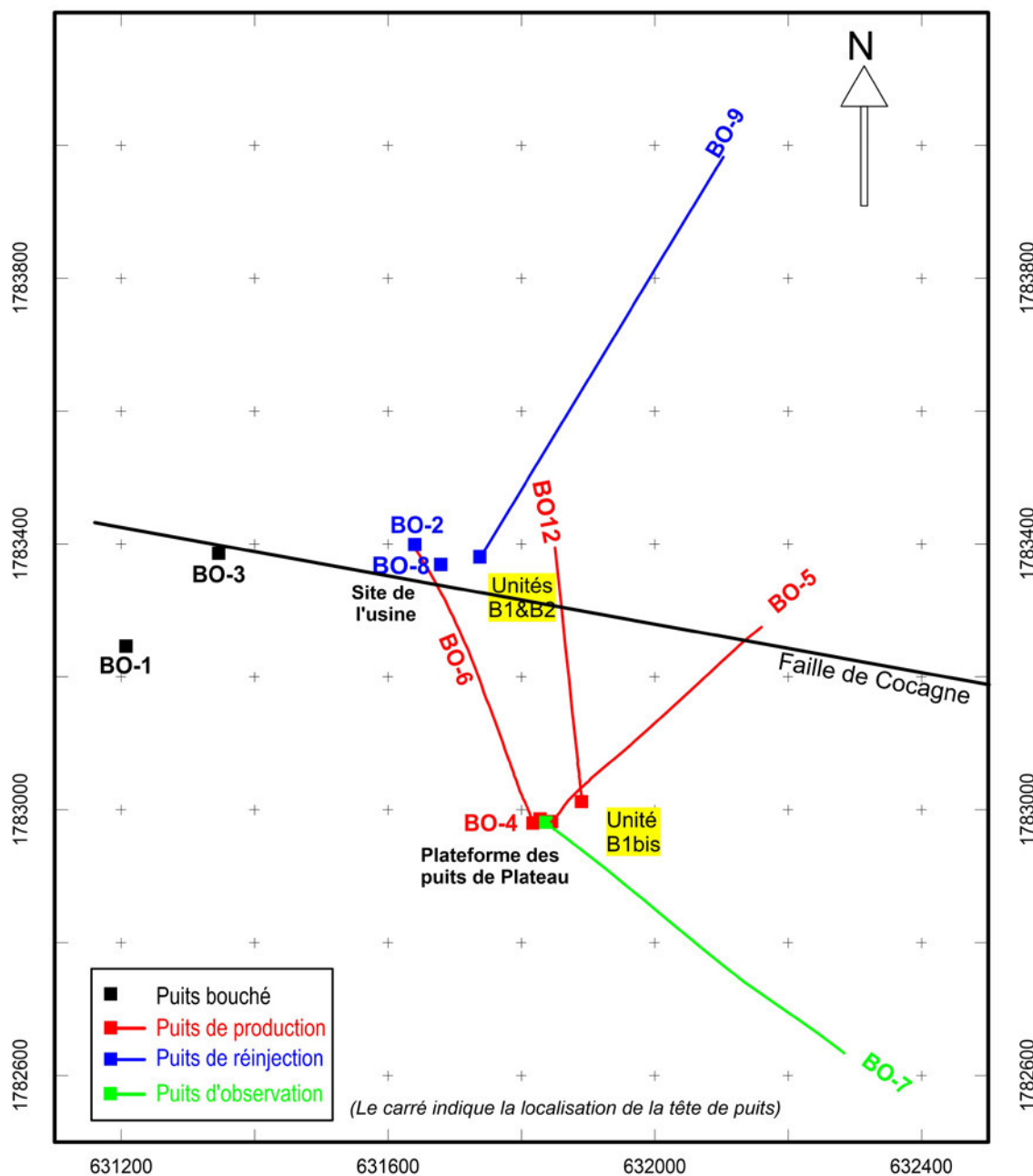


Figure 2 : Carte montrant les localisations et les trajectoires des puits existants et des trois nouveaux puits BO-8, BO-9 et BO-12 qui vont être forés prochainement (Coordonnées en UTM WGS84).



#### **I.4. LE PROJET D'EXTENSION MENE PAR GEOTHERMIE BOUILLANTE**

Le forage du puits BO-12 s'inscrit dans le cadre d'un projet d'extension de la capacité de production électrique de la centrale de Bouillante qui prévoit le forage de trois nouveaux puits et la construction d'une nouvelle unité de production B1bis. Les trois nouveaux puits sont :

- Ce puits BO-12 destiné à être un producteur.
- Le puits injecteur BO-8 ;
- Le puits injecteur BO-9 ;

La Figure 2 montre les puits existants et la localisation de ces trois nouveaux puits. Le puits BO-12 est localisé à proximité de la plateforme actuelle des puits BO-4, BO-5, BO-6 et BO-7 sur le site de Plateau.

La plateforme du puits BO-12 a également été retenue pour implanter la future unité de production électrique B1bis.



## II. REALISATION DES TRAVAUX

### II.1. CONDUITE DES TRAVAUX DE FORAGE

Le **Maître d’Ouvrage** des travaux de forage du puits BO-12 est la société Géothermie Bouillante, domicilié à Bouillante et exploitant la centrale géothermique.

Le **Maître d’œuvre** des travaux de forage du puits BO-12 est la société américaine ORMAT, actionnaire majoritaire de Géothermie Bouillante, et un des leaders mondiaux de l’industrie géothermique.

### II.2. LES EQUIPEMENTS DE FORAGE

La machine de forage qui sera mise en œuvre appartient à Géothermie Bouillante. Il s’agit d’une machine autotractée modèle SK1000 fabriquée aux Etats-Unis par Service King Manufacturing. Ses caractéristiques sont présentées au chapitre suivant.

### II.3. LES PERSONNELS DE FORAGE

Le personnel de forage est fourni par la société ORMAT.

Pour compléter ses équipes, ORMAT prévoit toutefois d’embaucher des personnels français notamment des superviseurs de forage. L’embauche de travailleurs intérimaires est également prévue.

Le Tableau 2 donne un aperçu de la composition d’une équipe de forage par poste.

### II.4. ORGANISATION DU TRAVAIL

Le chantier de forage fonctionnera en continu 24hx24h et 7jx7j.

Une partie du personnel travaillera par poste de 12h (voir Tableau 2). L’autre partie aura des horaires normaux.

Le personnel intérimaire travaillera en poste en 3x8h.

Le personnel en poste effectuera des rotations de deux semaines sur site et deux semaines de repos.

### II.5. LES ENTREPRISES SOUS-TRAITANTES

Des activités de services autour du forage seront assurées par des entreprises sous-traitantes. Il s’agit notamment:

- de la mise en place des cuvelages par la société Offshore Energy Services Inc (OES) , USA;
- des opérations de cimentation des cuvelages par la société Resource Cementing Personnel, USA ;
- du forage directionnel par la société Geoguidance Drilling Services, USA ;



- de l'enregistrement des paramètres de forage (mud-logging) par la société Horizon Mud Loggers, USA ;
- de la fourniture des équipements de décoincement de la garniture de forage par la Société SDP, 45220 Château-Renard, France ;
- etc...

Des entreprises locales seront également sollicitées pour la fourniture de divers services et consommables sur le chantier (grue, approvisionnement fuel, etc...).

<b>Composition type d'une équipe de forage (par poste)</b>				
<b>Content of the drilling team during a shift</b>				
	métiers	Skills	nombre de personnes par poste / number of persons per shift	
<b>Personnel d'encadrement</b>	Un chef de chantier / EHS	rig supervisor/EHS	1	en poste
	un superviseur forage	company man	1	en poste
<b>Personnel de forage s.s.</b>	un chef de poste	driller	1	en poste
	un accrocheur	derrick man	1	en poste
	un mécanicien	motor man	1	en poste
	sondeurs	floor hands	2	en poste
<b>Autres fonctions techniques</b>	un ingénieur boue	mud engineer	1	en poste
	un mud logger	mudlogger	1	en poste
	un déviateur	directional driller	1	en poste
	un opérateur MWD	MWD driller	1	en poste
<b>Intérimaires</b>	Caristes, gardien, etc	Roustabout	1-2	en poste
			<b>Total : 12-13 personnes</b>	
<b>Autres fonctions techniques non permanentes</b>	un ingénieur forage	drilling engineer	1	pas en poste
	un assistant forage CFG	CFG drilling assistant	1	pas en poste
	un géologue	Geologist	1	pas en poste
	un ingénieur d'essai	Test engineer	1	pas en poste
			<b>total : 4 personnes</b>	

Tableau 2 : Composition type d'une équipe de forage en distinguant le personnel en poste et le personnel non posté.

### III. PRESENTATION DES EQUIPEMENTS DE FORAGE

#### III.1. LA MACHINE DE FORAGE

Le type de machine de forage qui sera utilisée est illustré sur les Figure 3 et Figure 4. Il s'agit d'une machine autotractée modèle SK1000 fabriquée aux Etats-Unis par Service King Manufacturing. Ses caractéristiques techniques sont répertoriées dans le Tableau 3.



Figure 3 : Illustration photographique du type de machine de forage qui sera utilisée pour forer le puits BO-12.



Figure 4 : Illustration de la machine de forage qui sera utilisée pour réaliser le puits BO-12, avec le mât relevé, les bacs à boue à gauche, les racks supportant les tiges à droite du mât.



<b>Treuil :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treuil mécanique SK1000 de puissance 1000 HP</li> </ul>
<b>Mât :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mât télescopique, hauteur 36m</li> <li>• Capacité statique : 160T (Mouflage 8 brins), 200T (Mouflage 10 brins)</li> </ul>
<b>Sous-structure:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauteur : 6,4m, Longueur : 11m, Largeur : 3m. Hauteur sous les poutres du plancher : 5,5m</li> <li>• Capacité max en rotation : 230T + capacité max de stockage : 230T</li> </ul>
<b>Pompes de forage :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (2) Gardener Denver PZ-9 triplex de 1050HP chacune</li> <li>• (2) Moteurs Caterpillar C-27</li> </ul>
<b>Quartier boue :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (1) bac de 40m<sup>3</sup> à 3 compartiments</li> <li>• (1) pompe centrifuge de mixage de 75HP</li> <li>• (1) pompe d'alimentation du dispositif de séparation cyclonique (mud cleaner)</li> <li>• (2) vibrateurs Swaco Mongoose mono étage, 4 toiles par vibrateur</li> <li>• (1) mud cleaner Swaco avec 10 désilteurs (hydrocyclones)</li> <li>• (1) bac de préparation de 64m<sup>3</sup> (1,8 x 3 x 12,2 m) d'une pompe centrifuge de 75HP</li> </ul>
<b>Table de rotation :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Table de rotation Oilwell de 27''<sup>1/2</sup> d'ouverture</li> <li>• Capacité max. : 360T</li> </ul>
<b>Groupes électrogènes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (2) Caterpillar 350KW</li> </ul>
<b>Moufle mobile :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crochet et moufle Sentry, capacité 250T</li> <li>• 4 poulies de 36"</li> </ul>
<b>Drilling Line:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Câble de forage de diamètre 1''<sup>1/8</sup> longueur 150m</li> </ul>
<b>Tête d'injection:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sentry de 250T de capacité</li> <li>• Connexion 6''<sup>5/8</sup> reg mâle</li> </ul>
<b>Fourrure et tige d'entraînement :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (1) tige d'entraînement hexagonale 5''<sup>1/4</sup> x 2,2m avec fourrures d'entraînement carrées</li> </ul>
<b>Cabine de chef de poste et magasin de sonde :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (1) cabine de chef de poste 2,4 x 6,1m</li> <li>• (1) magasin de sonde 2,4 x 6,1m</li> </ul>
<b>Instrumentation:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (1) indicateur de poids Totco 225T</li> <li>• (1) indicateur de couple Totco</li> </ul>
<b>Stockage de fuel :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (2) réservoirs de 9000l</li> <li>• (1) réservoir de 4500l</li> </ul>
<b>Equipements auxiliaires :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un treuil de mesure avec 6000m de câble de diamètre 0,108'</li> <li>• Dispositif hydraulique de gerbage des tubulaires</li> <li>• Chargeur multifonction John Deere 624J</li> </ul>
<b>Options : Tête de rotation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• VentureTech, capacité statique 250T</li> <li>• Vitesse de Rotation 100 RPM, capacité dynamique 158T</li> <li>• Couple maximum 35,000 ft-lbs</li> <li>• Pression d'injection maximum, 5,000 PSI</li> <li>• Connexion standard 4''<sup>1/2</sup> I.F</li> </ul>
<b>Option : Unité hydraulique (alimentation de la tête de rotation) :</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (1) moteur C-18 Caterpillar</li> <li>• Débit hydraulique 1200 l/m</li> <li>• Pression hydraulique max 110 bar</li> <li>• Châssis de 2,4 x 6,1 m</li> </ul>

Tableau 3 : Principales caractéristiques de la machine de forage SK1000 qui sera mise en œuvre pour réaliser le puits BO-12.



### **III.2. TRAVAUX DE MAINTENANCE ET DE CERTIFICATION**

L'ensemble du matériel de forage est présent sur le site de Bouillante depuis fin 2019. En raison de la crise sanitaire, les travaux n'ont pu se dérouler comme prévu début 2020.

Au cours du premier semestre 2021, ce matériel a fait l'objet de travaux de maintenance et de mise en conformité avec la norme API (American Petroleum Institute) qui fait autorité dans l'industrie du forage.

Le dossier de mise en conformité est tenu à la disposition de l'administration sur le site de Bouillante.

#### IV. LA PLATEFORME DE FORAGE DU Puits BO-12

##### IV.1. LOCALISATION ET COORDONNÉES DU Puits BO-12

La localisation du puits BO-12 est indiquée sur les Figure 5 et Figure 6. Il est implanté sur la parcelle AO412 appartenant à Géothermie Bouillante, à proximité des autres puits. Ses coordonnées approchées sont indiquées dans le Tableau 4.

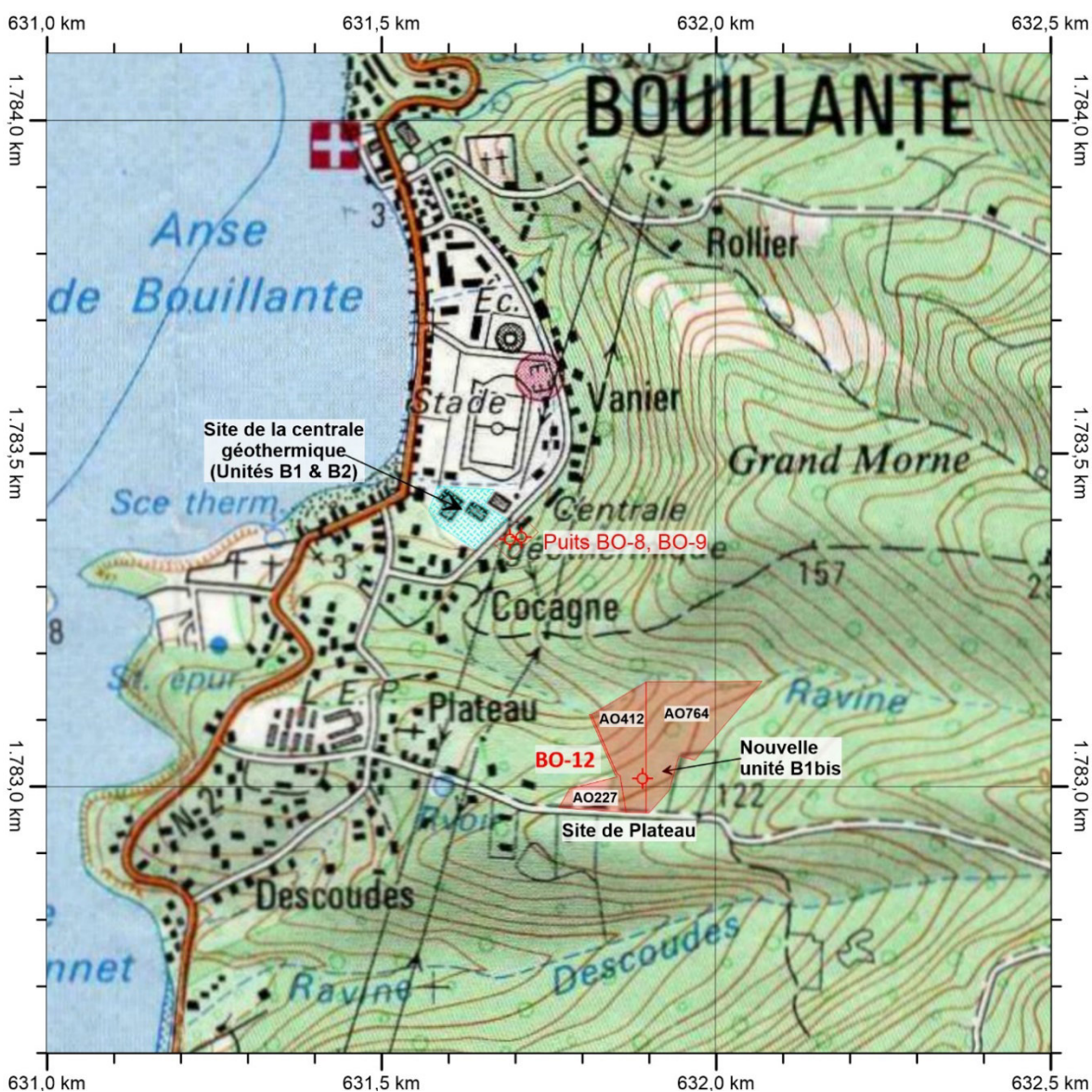


Figure 5 : Localisation du puits BO-12 sur la carte topographique de l'IGN au 1/25 000.

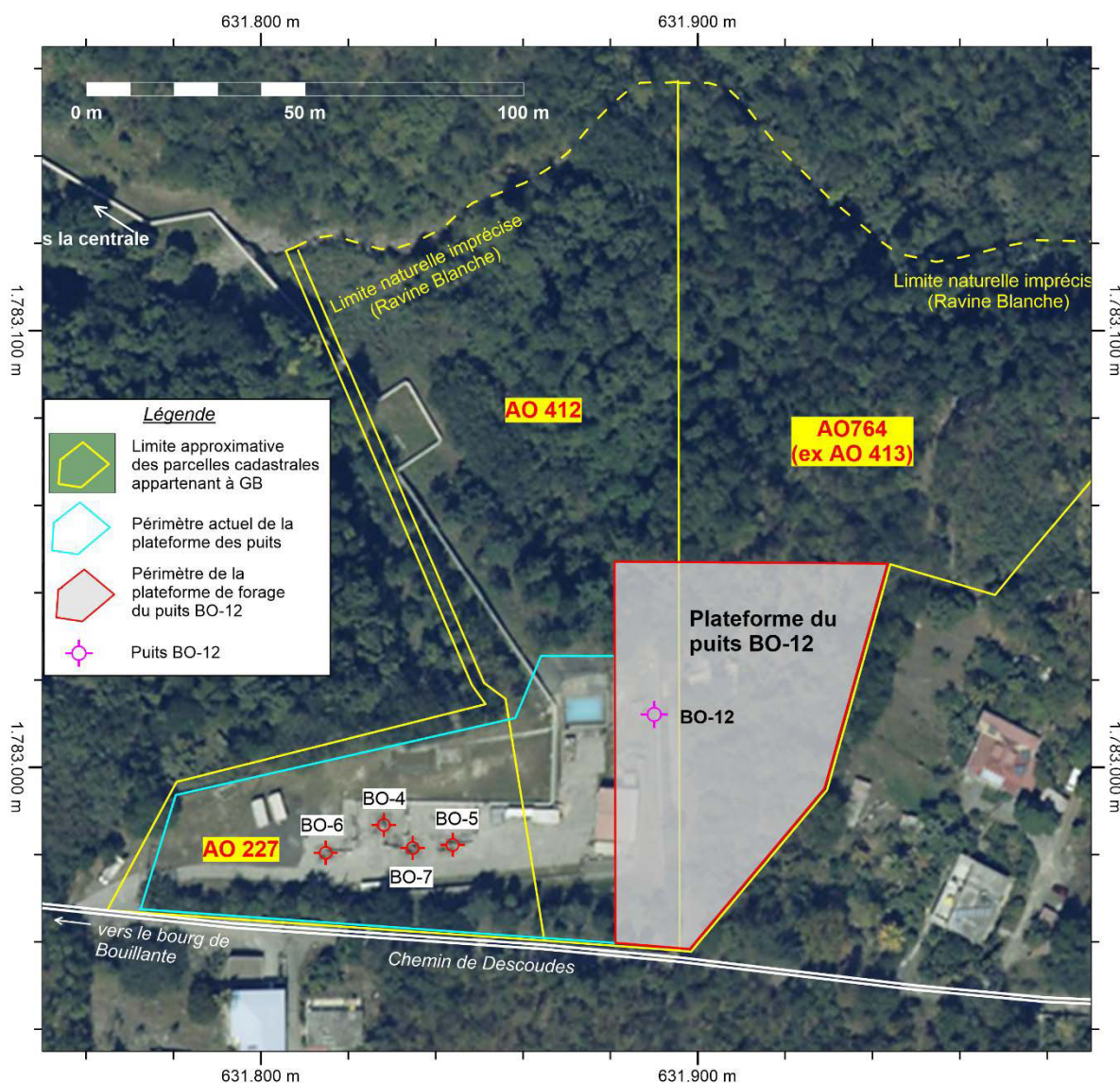


Figure 6 : Localisation du puits BO-12 sur la parcelle AO412, à proximité des puits existants.

Coordonnées	<b>BO-12</b>
X approchée (m)	631 890 E
Y approchée (m)	1 783 012 N
Z approchée (m)	+ 90

Tableau 4 : Coordonnées approchées du puits BO-12 (UTM WGS84).

#### IV.2. PREPARATION DE LA PLATEFORME

La plateforme du puits BO-12 est dans le prolongement de la plateforme actuelle des puits BO-4, BO-5, BO-6 et BO-7 (Figure 6). Elle a nécessité le décaissement de terrain et la confection d'un talus sur sa bordure est et sud (Figure 7).

Elle est entourée d'une clôture grillagée. Son accès se fait par la plateforme existante.



Figure 7 : Vue (vers le Nord) des travaux de terrassements de la plateforme de forage du puits BO-12 qui accueillera ultérieurement l'unité B1bis (source : Géothermie Bouillante).

### IV.3. IMPLANTATION DES EQUIPEMENTS

La Figure 8 illustre l'aménagement prévisionnel de la plateforme de forage avec la machine de forage et ses annexes. Les dimensions de cette plateforme sont approximativement de 50 m x 20 m, soit une surface de 1000 m<sup>2</sup>. Les principaux équipements sont les suivants :

- ✓ La machine de forage montée sur une remorque avec son mât redressé ;
- ✓ La superstructure servant de plancher au-dessus de la cave du puits avec la cabine du chef de poste attenante ;
- ✓ L'aire de stockage des tiges de forage dans le prolongement du plancher ;
- ✓ L'alimentation hydraulique de la machine de forage ;
- ✓ L'accumulateur d'énergie utilisé en cas de nécessité de fermeture soudaine du BOP ;
- ✓ Les pompes de forages assurant la circulation du fluide de foration ;
- ✓ L'ensemble composé des bacs à boue, des tamis chargés de séparer les déblais de forage (cuttings) de la boue de forage, et la réserve d'eau ;
- ✓ Le choke manifold ;

- ✓ L'ensemble composé du groupe électrogène destiné à alimenter le chantier en électricité et de sa réserve de fuel ;
- ✓ Le magasin pour stocker les pièces détachées.



Figure 8 : Implantation prévisionnelle des équipements de forage sur la plateforme du puits BO-12 (source : ORMAT).

#### **IV.4. MISE EN PLACE DU TUBE CONDUCTEUR (TUBE GUIDE)**

##### **IV.4.1 Introduction**

Postérieurement au dépôt du dossier de demande d'autorisation d'ouverture de travaux, Géothermie Bouillante a été amenée à modifier la partie du programme de forage portant sur la mise en place du tube conducteur (ou tube guide) du puit BO-12.

Dans le dossier de demande d'autorisation d'ouverture de travaux datant de 2018, le programme des travaux débutait par une phase de forage à la boue en 36" de 0 à 32 m environ puis la pose du tube conducteur en 30" avec cimentation de son annulaire.

Dans la nouvelle configuration proposée, le tube conducteur sera mis en place non pas par forage mais par battage (de façon similaire au battage de pieux pour les fondations d'un bâtiment) jusqu'à 20-30 m de profondeur.

Cette modification est spécifiquement adaptée aux conditions locales qui seront rencontrées dans le bourg de Bouillante lors du forage des puits BO-8 et BO-9, à la suite du forage du puits BO-12.



Elle n'est pas nécessaire pour le puits BO-12. Cependant, dans un **souci d'harmonisation entre les puits**, Géothermie Bouillante envisage d'appliquer la même méthode de mise en place du tube conducteur par battage et la même coupe technique à l'ensemble de ces trois puits.

#### **IV.4.2 Justification de la modification**

Les modifications apportées à la mise en place du tube conducteur sont dictées par la nature particulière du proche sous-sol dans le bourg de Bouillante où seront forés les futurs puits BO-8 et BO-9 (parcelle AO 196 située Rue Vanier derrière la centrale). En effet, les sondages géotechniques réalisés dans ce secteur lors des travaux préparatoires ont mis en évidence la présence d'aquifères superficiels portés à des températures supérieures à 100°C. Ces aquifères présentent un risque d'ébullition lors de leur traversée avec la possibilité de venues éruptives de vapeur au niveau du plancher de la machine de forage.

Dans le programme de forage initial de 2018, la phase de forage en diamètre 36'' (91 cm) jusqu'à 32 m environ destinée à poser le tube conducteur en 30'' (76 cm) n'était pas à l'abri de telles venues de vapeur puisqu'il n'y a pas de possibilité d'installer un équipement de contrôle du puits (diverter ou BOP) tant qu'un tube conducteur ou un casing n'est pas en place.

C'est la raison pour laquelle Géothermie Bouillante a modifié son programme de forage initial. Dans la nouvelle configuration proposée, le tube conducteur sera mis en place non pas par forage mais par battage (de façon similaire au battage de pieux pour les fondations d'un bâtiment) jusqu'à 20-30 m de profondeur. Dans la mesure où il n'y a pas retrait de sol, le confinement des aquifères superficiels sera maintenu à la fois à l'intérieur et à l'extérieur du tube conducteur et préviendra le risque de venues éruptives de vapeur. La mise en place du tube conducteur par battage présente donc un avantage certain concernant la sécurité du chantier durant le forage des 20-30 premiers mètres.

Dès que le tube conducteur sera en place, une bride sera soudée et un équipement de contrôle de puits (diverter en 29 ¼'') pourra être installé sur cette bride. Il permettra de contrôler d'éventuelles venues de vapeur lors de la phase suivante de forage en 28'' à l'intérieur du tube conducteur puis jusqu'à environ 85 m.

Un autre avantage de la mise en place du tube conducteur par battage est que cette intervention se fera avec un matériel léger comparé à une machine de forage et générant donc moins d'impacts pour le voisinage (voir Figure 9 et Figure 10). Les quantités de déblais de forage à évacuer seront également réduites.

Par contre, la méthode de battage ne permet pas de cimenter le tube conducteur à l'extrados comme prescrit par l'article 47 de l'Arrêté du 14 octobre 2016 puisqu'il n'y a pas d'annulaire. Cette absence de cimentation n'est cependant pas considérée comme rédhibitoire. La mise en place du tube conducteur par battage se fera en force à travers les terrains en place sans les déstructurer et le « frottement » entre le métal et le sol devrait assurer une forme d'étanchéité et prévenir contre d'éventuelles remontées de fluides ou de vapeur provenant d'aquifères superficiels.

Dans le cas du puits BO-12, il n'y a **aucun risque de remontées de fluide ou de vapeur** provenant d'aquifères superficiels. En effet, le site de la plateforme du puits n'est le siège d'aucune manifestation hydrothermale de surface. La nappe superficielle est située à une profondeur de 50 m environ sous la plateforme et a une température de l'ordre de 80°C. Elle ne donne donc pas lieu à des remontées de vapeur.



Figure 9 : Illustration d'un chantier de mise en place d'un tube conducteur par battage à l'aide d'une grue équipée d'un marteau (source : ORMAT).



Figure 10 : Illustration d'un marteau enfonçant un tube conducteur (source : ORMAT)



#### **IV.4.3 Mise en place du tube conducteur par battage (hammering)**

La modification proposée pour la mise en place du tube conducteur entraîne une légère modification du programme de forage et une adaptation de la coupe technique des puits (voir plus loin). Le nouveau programme de forage envisagé est le suivant :

- Le tube conducteur de 30'' est mis en place par battage à l'aide d'une grue équipée d'un marteau jusqu'au refus. Les sections successives du tube conducteur sont ajoutées depuis la surface par soudure ;
- Lorsque l'extrémité du tube conducteur a atteint un horizon de refus (20-30 m de profondeur ?) dans lequel il viendra s'ancrer, le battage est arrêté. En surface, le tube conducteur est découpé à la hauteur souhaitée en fonction de la configuration de la machine de forage ; une bride est soudée et un « diverter » en 29-1/4'' est installé ;
- La machine de forage est installée au-dessus du tube conducteur équipé de son diverter ;
- Le forage proprement dit débutera par une phase en 28'' à la boue afin de forer le bouchon de sol à l'intérieur du tube guide de 30'' jusqu'à 20-30 m de profondeur puis le terrain jusqu'à environ 85 m. Un premier casing en 25'' sera alors posé et son annulaire sera cimenté sur toute la hauteur, y compris à l'intérieur du tube conducteur.

#### **IV.4.4 Conclusion**

Cette modification dans la méthode de mise en place du tube conducteur et l'absence de cimentation à l'extrados du tube conducteur (qui résulte de l'absence d'annulaire) ne sont pas considérées comme des éléments de faiblesse de la nouvelle coupe technique des puits, adaptée aux conditions locales des terrains superficiels dans le bourg de Bouillante.

En surface, les puits seront donc encore mieux isolés du milieu environnant puisqu'ils comporteront 4 tubages métalliques (le tube conducteur en acier et trois cuvelages en acier) et 3 annulaires cimentés.

En profondeur, les puits comporteront au moins deux cuvelages en acier et deux annulaires cimentés jusqu'à 262 m contre 122 m dans la configuration initiale de 2018. Le risque de fuite du fluide géothermal consécutif à des phénomènes de corrosion des cuvelages qui était déjà très faible est encore réduit.

#### **IV.4.5 Diverter et BOP**

Le Diverter est un organe de sécurité qui permet de contrôler des venues éruptives à faible profondeur en début de forage, en dirigeant le flux de vapeur et d'eau en dehors du plancher de la machine ou en fermant le puits (Figure 11).

Le BOP est un organe de sécurité qui permet de fermer le puits en cas de venue éruptive notamment durant le forage du réservoir, quelle que soit la pression. Certains BOP permettent également de forer avec le puits en décharge en dirigeant le flux de vapeur et d'eau vers un bassin ou un bac de la machine de forage. On distingue généralement les BOP annulaires munis d'un anneau en caoutchouc renforcé par une armature métallique qui vient fermer le puits en se gonflant, et les BOP à rams munis de mâchoires ou pistons qui peuvent fermer le puits en sectionnant les tiges de forage.

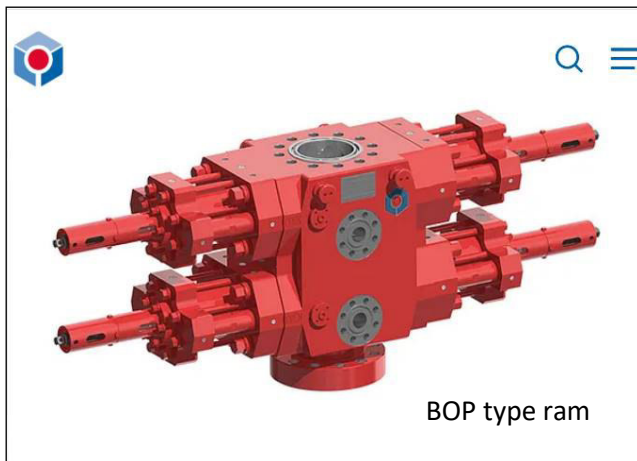
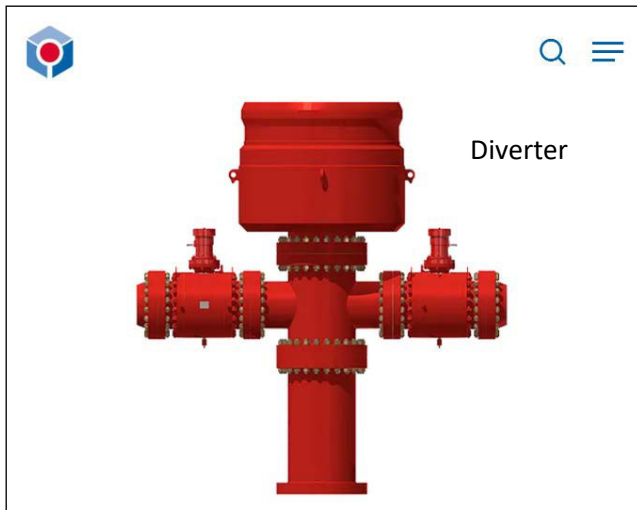


Figure 11 : Illustration des organes de contrôle de venues éruptives (Diverter et BOP) pouvant être installés sur la tête d'un puits en cours de forage.

#### IV.5. DESIGN DE LA CAVE

Une cave temporaire sera utilisée pendant les travaux de forage. Elle sera circulaire avec un diamètre de 2,5 mètres environ et enterrée sur une hauteur de 2 m environ (voir Figure 12).

Suite à la mise en place du tube conducteur, ou éventuellement suite à la cimentation de l'annulaire 24", le fond de cette cave provisoire sera cimenté sur une épaisseur de 30 centimètres environ pour la rendre étanche.

A la fin des opérations de forage, une cave définitive sera construite sur le modèle des caves existantes (voir Figure 13). Elle comportera des murs et un plancher en béton et sera étanche. Elle sera équipée d'une échelle. Des traverses métalliques fixées aux murs de cette cave maintiendront la tête de puits notamment en cas de sollicitation sismique. Une marge en béton entourera la cave pour empêcher les eaux de ruissellement de s'y déverser.



Figure 12 : Gabarit utilisé pour construire la cave temporaire qui sera utilisée pendant les travaux de forage.



Figure 13 : Vue de la cave en béton du puits BO-6 montrant une des traverses métalliques fixée au mur de la cave et destinée à maintenir la tête de puits en cas de sollicitation sismique.

## V. COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE DU Puits

### V.1. INTRODUCTION

Le puits BO-12 est destiné à être un puits producteur. Il est situé à équidistance entre les puits producteurs BO-5 et BO-6. Il est orienté vers le NNW et il est prévu recouper la faille de Cocagne (Figure 2).

La Figure 14 montre une section verticale orientée NNW-SSE à travers le réservoir de Bouillante. Elle permet de visualiser la trajectoire prévisionnelle du puits BO-12. Il doit recouper la faille de Cocagne entre -800 et -1000 m sous le niveau de la mer. La température attendue est de l'ordre de 250°C. De façon schématique, le puits va d'abord traverser des formations volcaniques mise en place à l'air libre (coulées de laves, dépôts pyroclastiques, lahars) puis des formations volcaniques mises en place sous l'eau (hyaloclastites, coulées de boue, dykes de laves).

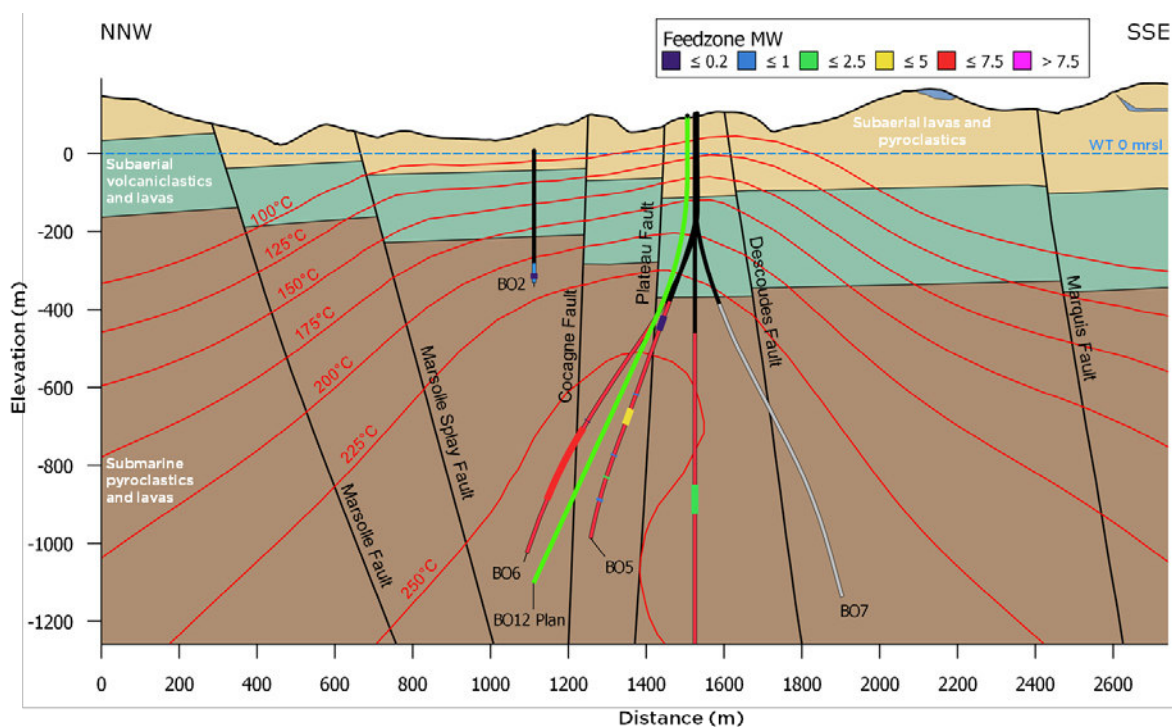


Figure 14 : Section verticale orientée NNW-SSE à travers le réservoir de Bouillante montrant la lithologie simplifiée, la position des failles, la distribution des isothermes et la trajectoire des puits existants et du puits BO-12 (source : ORMAT).

### V.2. COUPE GEOLOGIQUE PREVISIONNELLE DU Puits BO-12

La coupe géologique prévisionnelle du puits BO-12 a été établie par référence aux coupes géologiques des puits voisins BO-5 et BO-6 (Figure 15).



Entre 0 et 200 m de profondeur, le puits BO-12 devrait traverser une séquence de formations de tufs, lahars, formations argilisées et coulées de laves appartenant à un stade de volcanisme aérien et d'érosion des reliefs volcaniques.

Entre 200 et 500 m de profondeur, le puits BO-12 devrait traverser un ensemble de plusieurs coulées de laves andésitiques épaisses et de formations pyroclastiques.

A des profondeurs supérieures à 500m, le puits BO-12 devrait rencontrer des formations volcaniques sous-marines, notamment des hyaloclastites, des formations pyroclastiques et volcanoclastiques, et des laves andésitiques massives sous forme de dykes ou de sills. Ces formations seront affectées par une altération hydrothermale importante ayant donné lieu à la formation de minéraux d'altération tels que silice (quartz), calcite, chlorite, pyrite et épidote.

La distribution de la résistivité électrique en fonction de la profondeur est indiquée sur la Figure 15. L'horizon compris entre 50 et 300 m de profondeur et qui présente des résistivités particulièrement faibles (2-7 ohm-m) correspond à la couverture argilisée du réservoir (cap-rock). En profondeur, la résistivité augmente légèrement, traduisant la disparition des argiles de type smectites stables à basse-moyenne température au profit des argiles de type illite stables à haute température.

### **V.3. NIVEAUX PERMEABLES ATTENDUS**

Par référence aux puits BO-5 et BO-6, le puits BO-12 devrait recouper deux niveaux perméables notables :

- Le premier devrait être rencontré vers 500 m de profondeur, lors de la phase de forage en 17-1/2". Il pourrait donner lieu à des pertes partielles de la circulation, voire des venues éruptives comme cela avait été observé lors du forage du puits BO-5 ;
- Le second devrait être rencontré entre 800 m et 1130 m de profondeur, lors de la phase de forage du réservoir en 12-1/4" et de la traversée de la faille de Cocagne (Figure 15). Il s'agit du principal niveau perméable attendu et il pourrait donner lieu à des pertes totales de la circulation.

La plateforme de forage est située à environ 90 m d'altitude. Les profils de température dans les puits existants mettent en évidence une nappe perchée à environ 50 m sous la surface et ayant une température de l'ordre de 80-90°C. La présence de cette nappe perchée n'a pas donné lieu à des pertes de circulation significatives au cours des forages précédents.

### **V.4. RISQUES POTENTIELS DURANT LE FORAGE**

La nature des formations traversées par le puits BO-12 et la présence de zones faillées peuvent induire des risques techniques lors du forage tels que :

- Instabilités à la paroi du puits liées à la teneur élevée en argile des formations ou à leur caractère peu consolidé ;
- Coincement de la garniture de forage dans le puits ;
- Torque élevé ;
- Pertes de circulation et/ou venues éruptives liées à la traversée de niveaux perméables ;

...

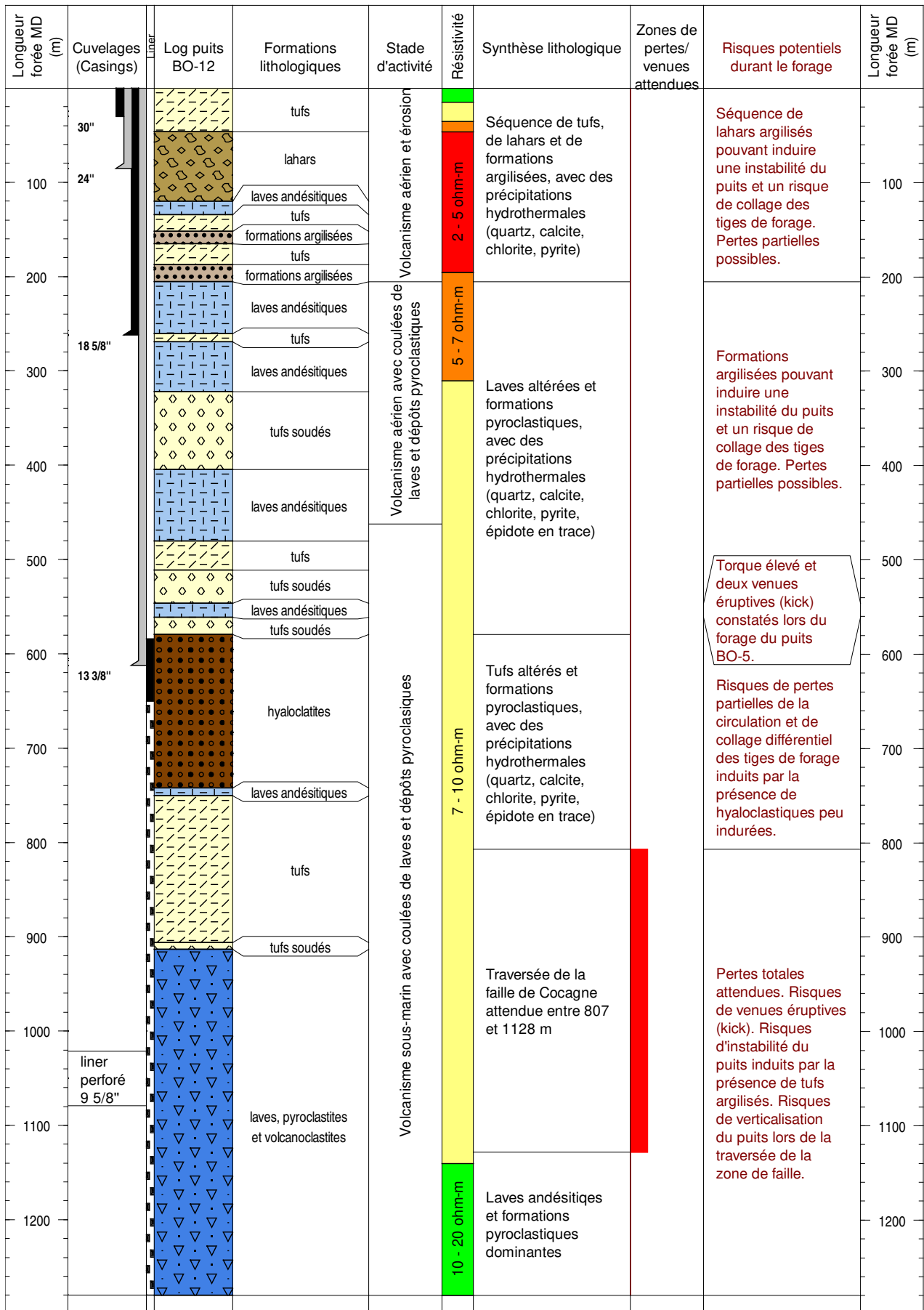


Figure 15 : Coupe géologique prévisionnelle du puits BO-12.

### V.5. CONDITIONS DE PRESSION ET DE TEMPERATURE ATTENDUES

Les conditions de pression et température attendues dans le puits BO-12 peuvent être appréhendées grâce aux profils de mesures effectués dans les puits existants voisins (Figure 16).

Au niveau du réservoir, la température devrait être de l'ordre de 250°C.

La pression attendue entre 800 m et 1000 m de profondeur au niveau de la principale zone perméable est comprise entre 50 bars-g et 70 bars-g.

A l'équilibre et à froid, et en tenant compte du déclin de pression observé actuellement au niveau du réservoir, le puits BO-12 ne devrait pas être artésien. Sa pression en tête sera nulle.

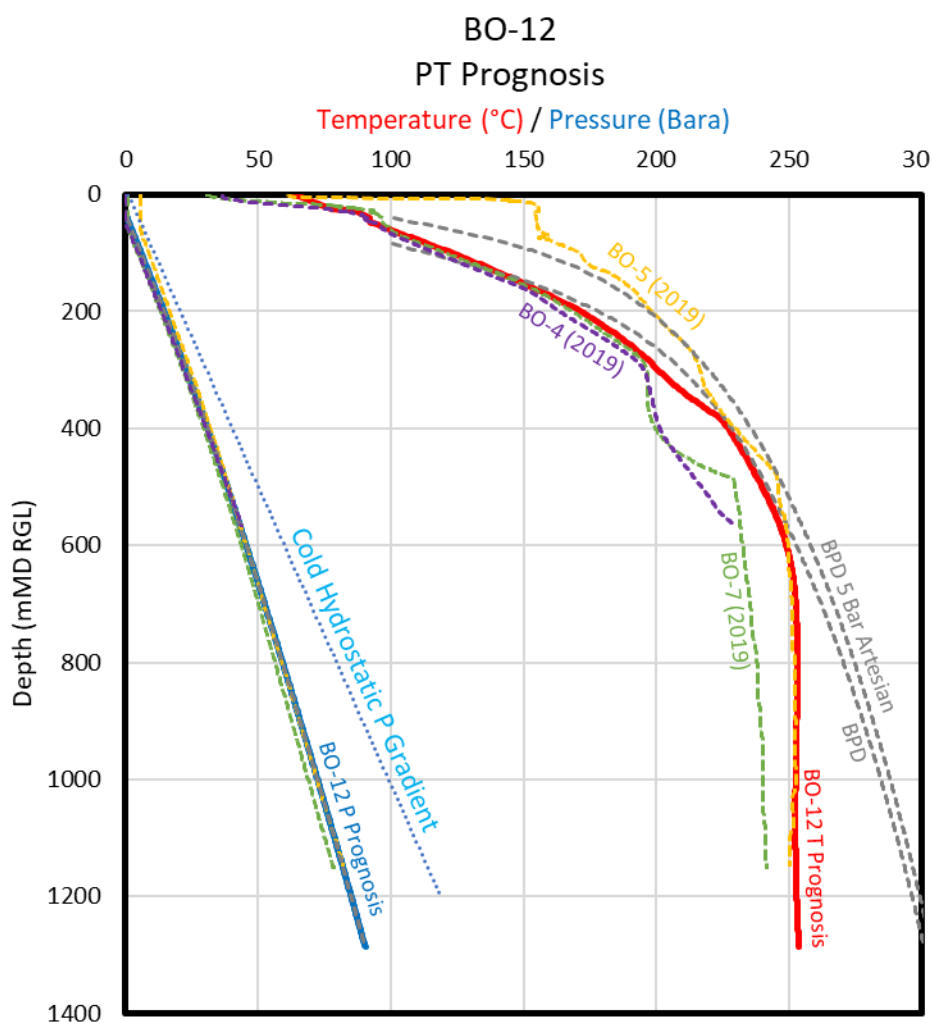


Figure 16 : Graphe des conditions de pression et température attendues dans le puits BO-12.

## VI. COUPE TECHNIQUE PREVISIONNELLE DU Puits BO-12

### VI.1. PHASES DE FORAGE PREVISIONNELLES

La mise en place du tube conducteur en 30'', déjà été décrite au § IV.4, est rappelée brièvement ici :

- Le tube conducteur de 30'' est mis en place par battage à l'aide d'une grue équipée d'un marteau jusqu'au refus. Les sections successives du tube conducteur sont ajoutées depuis la surface par soudure ;
- Lorsque l'extrémité du tube conducteur a atteint un horizon de refus (20-30 m de profondeur ?) dans lequel il viendra s'ancrer, le battage est arrêté. En surface, le tube conducteur est découpé à la hauteur souhaitée en fonction de la configuration de la machine de forage ;
- La machine de forage est installée au-dessus du tube conducteur.

Le puits BO-12 sera foré en plusieurs phases qui sont résumées dans le Tableau 5 :

- Le forage débutera par une phase en 28'' et à la boue afin de forer le bouchon de sol à l'intérieur du tube guide de 30'' puis le terrain jusqu'à environ 85 m (280 ft). Un premier casing en 24'' sera alors posé et son annulaire sera cimenté sur toute la hauteur ;
- Le forage se poursuivra par une seconde phase de forage en 21'' à la boue et avec un BOP de 21-1/4'' en tête de puits, de 85 m à 262 m environ. Cette phase se terminera par la pose d'un second casing en 18-5/8'' qui sera cimenté sur toute sa hauteur ;
- La troisième phase sera forée en 17-1/2'' et à la boue, avec un BOP de 21-1/4'' en tête de puits, de 262 m à 612 m environ. Elle se terminera par la pose d'un casing de production en 13-3/8'', dont l'annulaire sera également cimenté sur toute sa hauteur ;
- Enfin, la dernière phase sera forée en 12-1/4'' et à l'eau, avec un BOP de 13 5/8'' en tête de puits, de 612 m environ jusqu'à 1280 m environ. Un liner crépiné en 9-5/8'' sera mis en place afin de permettre la production (ou la réinjection) tout en garantissant la stabilité du puits.

<i>Longueur forée MD (m et ft)</i>	<i>Phases de forage</i>	<i>Fluide de foration</i>	<i>BOP</i>	<i>Type de cuvelage</i>	<i>Cimentation de l'annulaire</i>
0 m à 85 m 0 ft à 280 ft	28'' (711 mm)	Boue	N/A	Premier casing 24'' (610 mm)	oui
85 m à 262 m 280 ft à 861 ft	21'' (533 mm)	Boue	BOP en 21-1/4''	Casing intermédiaire 18-5/8'' (473mm)	oui
262 m à 612 m 861 ft à 2008 ft	17-1/2'' (444 mm)	Boue	BOP en 21-1/4''	Casing de production 13-3/8'' (340 mm)	oui
612 m à 1280 m 2008 ft à 4200 ft	12-1/4'' (311 mm)	Eau	BOP en 13-5/8''	Liner crépiné 9-5/8'' (244 mm)	non

Tableau 5 : Phases prévisionnelles de forage et diamètre des différents cuvelages qui seront mis en place dans le puits BO-12.

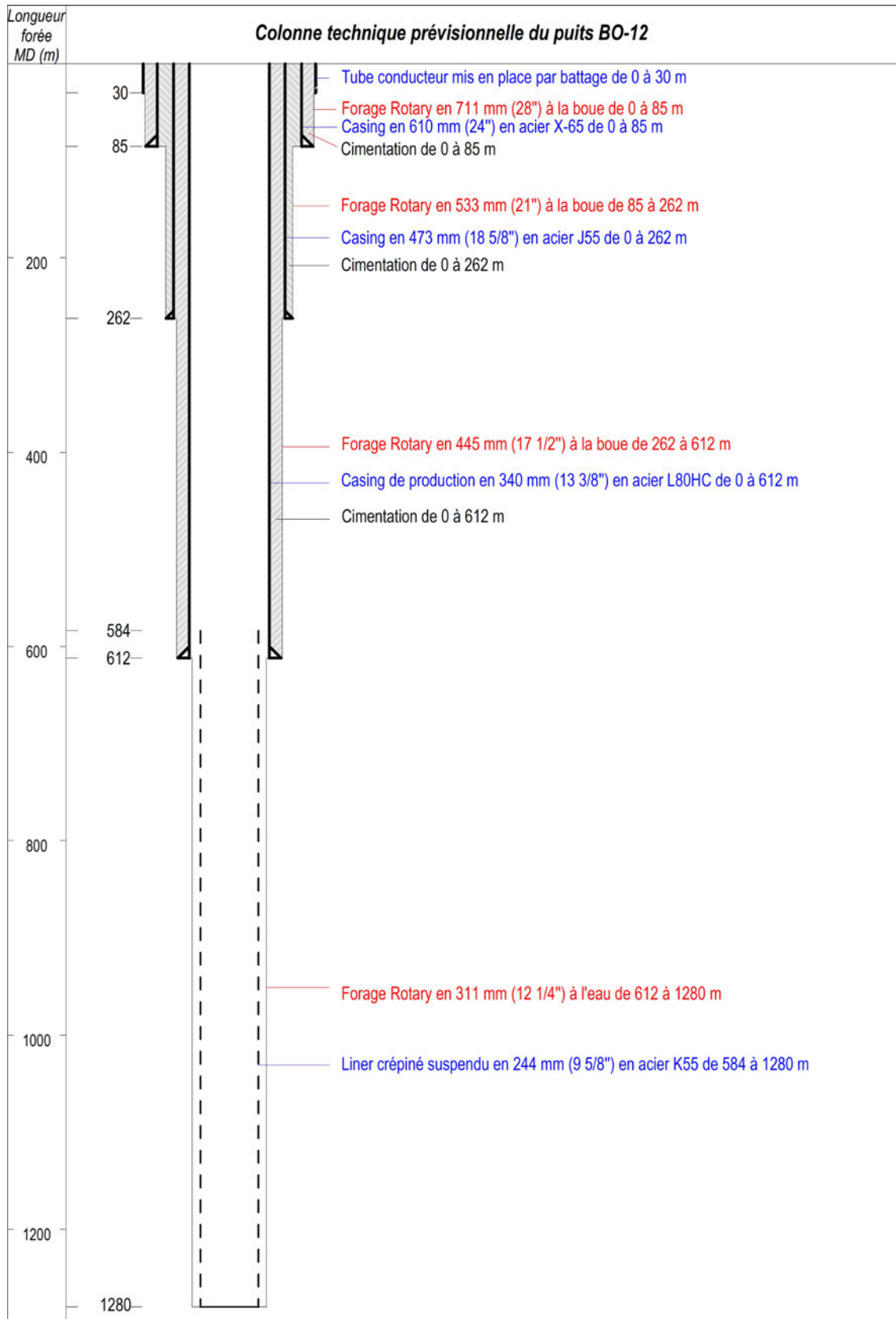


Figure 17 : Coupe technique prévisionnelle du puits BO-12 avec la position des cuvelages et des cimentations.

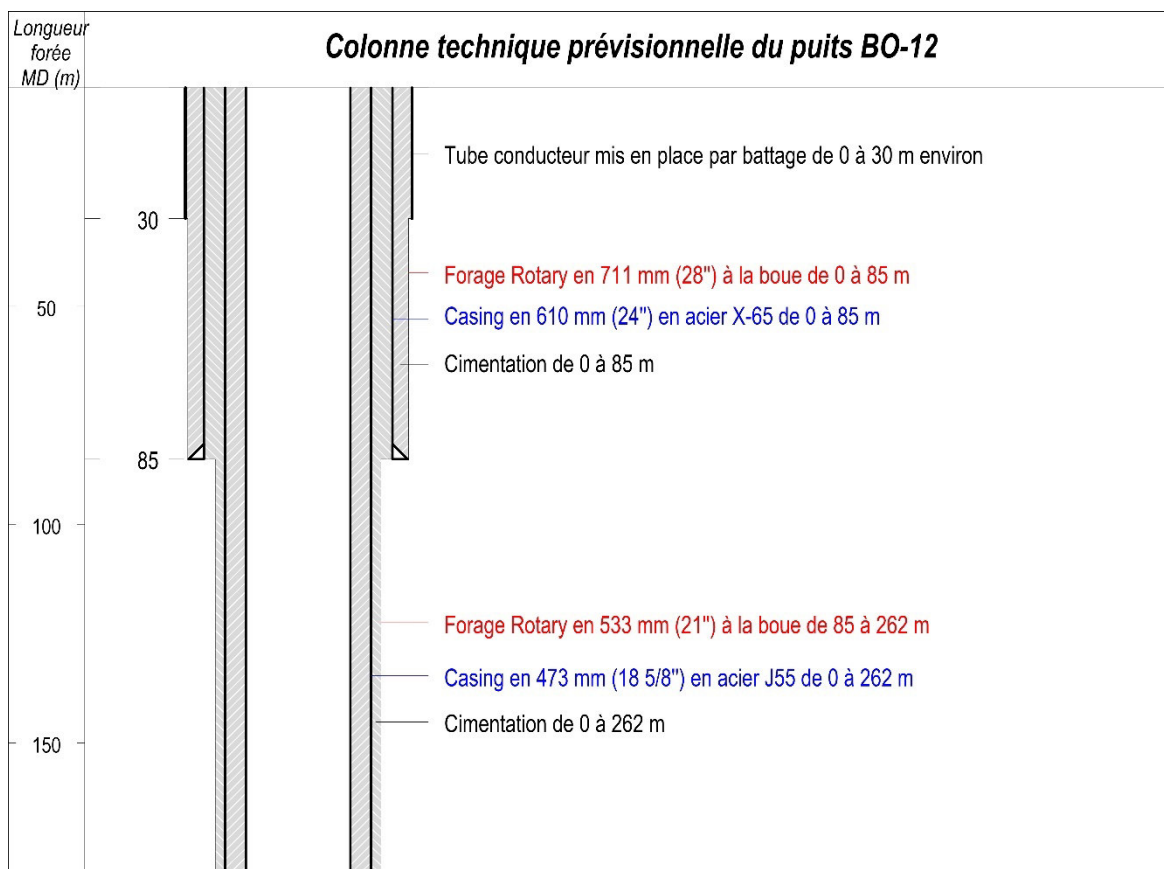


Figure 18 : Détail de la coupe technique prévisionnelle du puits BO-12 entre 0 et 150 m de profondeur.

## VI.2. COUPE TECHNIQUE PREVISIONNELLE

La coupe technique prévisionnelle du puits BO-12 est illustrée sur les Figure 17 et Figure 18. En surface, le puits sera isolé du milieu environnant puisqu'il comportera 4 tubages métalliques (un tube conducteur en acier et trois cuvelages en acier) et 3 annulaires cimentés.

En profondeur, le puits comportera au moins deux cuvelages en acier et deux annulaires cimentés jusqu'à 262 m de profondeur. Le risque de remontée du fluide géothermal consécutif à des phénomènes de corrosion des cuvelages est jugé très faible.

## VI.3. TRAJECTOIRE PREVISIONNELLE

Le puits BO-12 est un puits directionnel avec une inclinaison de 25°C par rapport à la verticale et un azimut à N356°. Le Tableau 6 résume les paramètres de sa trajectoire.

La Figure 19 montre la trajectoire du puits BO-12 projetée sur un plan horizontal. Elle est située à mi-distance des puits producteurs BO-5 et BO-6.

La Figure 20 montre la trajectoire du puits inclinée de 25°C. Le KOP est à 150 m environ. L'inclinaison moyenne est de 0.7°/10 m. Au fond du puits, le déport latéral par rapport à la position de la tête de puit est de 400 m environ.

Puits	BO-12
Longueur forée prévisionnelle (m)	1280
Azimut prévisionnel	N356°
Inclinaison par rapport à la verticale	25°
Kick-off Point (en longueur forée en m)	150
Altitude du fond du puits par rapport au niveau de la mer (m)	- 1 110 m

Tableau 6 : Principaux paramètres de la trajectoire envisagée pour le puits BO-12.

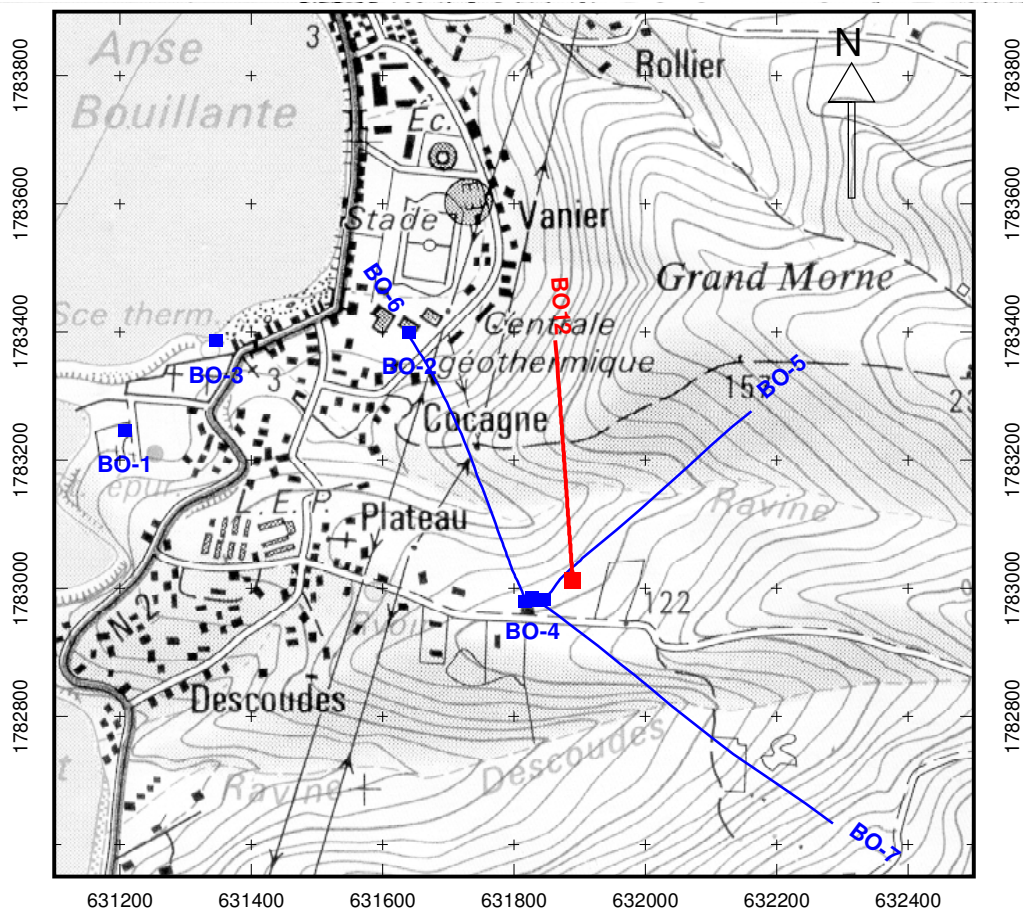


Figure 19 : Trajectoire du puits BO-12 (en rouge) et des puits existants (en bleu) sur un plan horizontal.

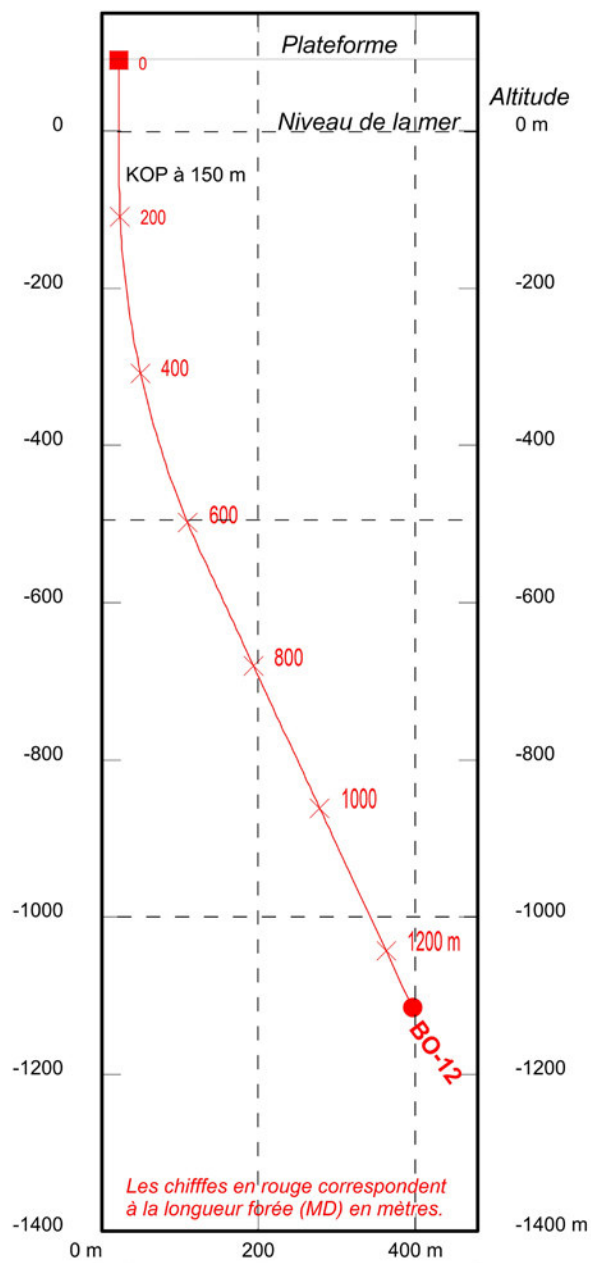


Figure 20 : Section verticale dans l'axe du puits BO-2 (N356°) montrant sa trajectoire inclinée de 25° par rapport à la verticale.

## VII. PROGRAMME DE FORAGE

### VII.1. PROGRAMME DE FORAGE

Les différentes phases de forage du puits BO-12 ont déjà été présentées au chapitre précédent. Elles sont rappelées dans le Tableau 7.

<i>Longueur forée MD (m et ft)</i>	<i>Phases de forage</i>	<i>Fluide de foration</i>	<i>BOP</i>	<i>Type de cuvelage</i>	<i>Cimentation de l'annulaire</i>
0 m à 85 m 0 ft à 280 ft	28" (711 mm)	Boue	N/A	Premier casing 24" (610 mm)	oui
85 m à 262 m 280 ft à 861 ft	21" (533 mm)	Boue	BOP en 21-1/4"	Casing intermédiaire 18-5/8" (473mm)	oui
262 m à 612 m 861 ft à 2008 ft	17-1/2" (444 mm)	Boue	BOP en 21-1/4"	Casing de production 13-3/8" (340 mm)	oui
612 m à 1280 m 2008 ft à 4200 ft	12-1/4" (311 mm)	Eau	BOP en 13-5/8"	Liner crépiné 9-5/8" (244 mm)	non

Tableau 7 : Phases prévisionnelles de forage et diamètre des différents cuvelages qui seront mis en place dans le puits BO-12.

### VII.2. OUTILS DE FORAGE

Les outils qui ont été retenus pour les différentes phases de forage du puits BO-12 sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Leurs caractéristiques techniques sont fournies en Annexe 1 page 93.

<i>Phases de forage</i>	<i>Type d'outil</i>	<i>Fabricant</i>
28"	Tricône	Titan
21"	Tricône	Smith
17-1/2"	Tricône	Varel
12-1/4"	PDC	ReedHycalog

Tableau 8 : récapitulatif des différents types d'outils qui seront utilisés pour le forage du puits BO-12.

### VII.3. FLUIDES DE FORAGE UTILISES

L'eau nécessaire pour alimenter le chantier de forage sera l'eau de mer pompée au niveau de la station de pompage et transportée par une conduite jusqu'à la plateforme du puits BO-12.

Deux types de fluide de forage seront utilisés. Les premières phases (28", 21", 17-1/2") seront forées à la boue à base d'eau de mer additionnée d'argiles naturelles (sépiolite, gélite) sélectionnées pour leurs propriétés rhéologiques particulières.

La dernière phase de forage (12 - 1/4") au niveau du réservoir sera forée à l'eau de mer seule. Des bouchons de polymères seront ajoutés régulièrement pour faciliter la remontée des cuttings et bien nettoyer le puits, afin d'éviter de coincer la garniture de forage par des accumulations de cuttings.

Pour éviter la précipitation d'anhydrite lors du mélange entre l'eau de mer et le fluide géothermal, l'eau de mer sera traitée avec un inhibiteur de croissance cristalline (IDOS 130 de la société REP) à une concentration de 1 pour 1000. Ce traitement sera appliqué à partir de 500 mètres de profondeur, lorsque le forage sera susceptible de rencontrer des niveaux perméables avec des venues de fluide géothermal.

Le Tableau 9 indique la densité de ces deux types de fluide de forage, leur pression d'injection (Stand-pipe pressure) et leur débit, ainsi que la surface des duses de l'outil de forage au travers desquelles ils sont injectés dans le puits.

Les paramètres recommandés par Sinclair Well Products & Services pour le fluide de forage selon les phases de foration sont indiqués dans le Tableau 10.

Le Tableau 11 présente les caractéristiques mécaniques des pompes (mud pumps) qui assureront la circulation du fluide de forage dans le puits.

#### VII.4. CONTROLE DES PERTES

Les pertes (et les gains de circulation) seront détectées en continu par des capteurs de niveau placés dans les bacs à boue.

Les zones de pertes seront colmatées par des LCMs (Lost Circulation Materials) comme des coquilles de noix (nutshells). Si cela est insuffisant, les pertes pourront être colmatées par des injections de ciment.

Phase de forage (inches)	Diamètre du cuvelage (inches)	Fluide de forage	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Stand-pipe pressure (bars)	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Total Flow area TFA (cm <sup>2</sup> )
30"	30"	Mis en place par battage				
28"	24"	Boue (eau de mer + Sepiolite / Gelite)	~ 1,078	35 - 90	136 - 227	7,7
21"	18-5/8"	Boue (eau de mer + Sepiolite / Gelite)	~ 1,078	103 - 138	182 - 227	12,9
17-1/2"	13-3/8"	Boue (eau de mer + Sepiolite / Gelite)	~ 1,078	110 - 148	182 - 227	16,1
12-1/4"	9-5/8" Liner	Eau (eau de mer + polymères)	1,030	138 - 170	159 - 182	12,9

Tableau 9 : Caractéristiques des fluides de forage utilisés pour la foration du puits BO-12.



# SINCLAIR

## WELL PRODUCTS & SERVICES

**1-800-782-3222**

### MUD PARAMETERS

OPERATOR ORMAT, INC.      WELL NAME BO-12      DATE May 06, 2021  
 TOTAL DEPTH 4,200' MD      FIELD Bouillante      LOCATION Guadeloupe

#### RECOMMENDED MUD PROPERTIES

<u>DEPTH</u> <u>FEET</u>	<u>WEIGHT</u>	<u>VISCOSITY</u>	<u>FILTRATE</u>	<u>TREATMENT</u>
	<u>PPG</u>	<u>SEC.</u>	<u>ML.</u>	
0-307'	8.6-9.4*	40-50	8-12	28" hole. ~300 F BHT. 20+ ppb Sea Mud/Gelite; ~.5 ppb Soda Ash/Lime; DMA/PAC as needed for fluid loss. Salt as needed for density requirements.
307'- 861'	8.6-9.4*	40-50	8-10	21" hole. ~350 F BHT. ~20 ppb Sea Mud/Gelite; Polyvis/Xanthan as needed; 2-4 ppb DMA/PAC (3:1); pH of 9.5-10.5 with Lime/Caustic Soda; TORKease/Walnut as needed; Conventional LCM as needed. Salt as needed for density requirements.
861'- 2,008' MD	8.6-9.4*	40-50	8-10	17 ½" hole. ~375 F BHT. ~20 ppb Sea Mud/Gelite; Polyvis/Xanthan as needed; 2-4 DMA/PAC (3:1); pH of 9.5-10.5 with Lime/Caustic Soda; TORKease/Walnut as needed; Conventional LCM as needed. DC-310 starting @ 20 gallons per tour, then DC-310 and CI-299 based on analysis of corrosion coupons. Salt as needed for density requirements.
2,008'- 4,200' MD	8.6-9.6*	38-45	8-12	12 ¼" hole. ~490 F BHT. 5-10 ppb Sea Mud/Gelite; Polyvis/Xanthan as needed; 2-4 DMA/PAC (3:1); pH of 9.5-10.5 with Lime/Caustic Soda; TORKease as needed. DC-310 and CI-299 based on analysis of corrosion coupons. Salt as needed for density requirements.

Tableau 10 : Paramètres détaillés des fluides de forage recommandés par Sinclair Well Products & Services selon les phases de foration du puits BO-12.

<u>PISTON CYLINDER</u>		<u>DISPLACEMENT – DRILLING SERVICE</u>				<u>MAXIMUM PSI</u>		<u>PUMP RPM</u>	<u>JACKSHAFT RPM</u>
<u>DIAMETER</u>		<u>PER REVOLUTION</u>		<u>MAXIMUM FLOW RATE</u>		<u>PSI</u>	<u>bar</u>		
<u>inch</u>	<u>mm</u>	<u>gallon</u>	<u>liters</u>	<u>GPM</u>	<u>LPM</u>				
7	178	4.50	17.03	585	2214	2638	182	130	582
6.5	165	3.88	14.68	504	1909	3059	211		
6.25	159	3.59	13.57	466	1765	3309	228		
6	152	3.30	12.51	430	1626	3591	248		
5.5	140	2.78	10.51	364	1367	4273	295		
5	127	2.29	8.69	298	1129	5000	345		
4.5	114	1.86	7.04	242	915	5000	345		
4	102	1.47	5.56	191	723	5000	345		

Tableau 11 : Caractéristiques des pompes utilisées pour la circulation du fluide de forage.



### **VII.5. PROGRAMME DE DIAGRAPHIES**

Pendant le forage, il est prévu de réaliser des profils de pression et température, notamment à l'approche du réservoir (phase en 17 -1/2") pour vérifier que la température est proche des 250°C attendues.

Une imagerie de paroi sera réalisée à la fin du forage en trou nu dans la section en 12"1/4, avant la mise en place du liner crépiné en 9"5/8. Cette diaggraphie a pour objectif d'identifier les fractures à la paroi du puits et de mesurer leur azimut et leur pendage. Ces informations permettront au géologue de compléter le modèle géologique et structural du réservoir, de déterminer l'orientation des failles qui contrôlent la circulation des fluides et qui seront des cibles pour les forages suivants.

### **VII.6. DEBLAIS DE FORAGE**

Le forage de ces puits va générer des déblais de roches (cuttings) qu'il convient d'évacuer vers un centre de traitement agréé.

Ces déblais sont des fragments des roches broyées par l'outil de forage et ayant la granulométrie d'un sable. Ils sont remontés à la surface par la boue de forage. En surface, ils passent sur des tamis et sont séparés de la boue de forage qui est recyclée. Ces fragments de roches sont ensuite stockés temporairement dans des bennes pour être ensuite évacués.

La production journalière est estimée entre 2 m<sup>3</sup> et 5 m<sup>3</sup> selon les phases de forage. En dehors des phases de forage, la production sera nulle.

L'évacuation se fera à raison de 1 à 3 camions par semaine en phase de forage.

Le volume prévisionnel de ces déblais de forage est estimé à environ 100 m<sup>3</sup> par puits soit environ 300 m<sup>3</sup> au total.

Préalablement à leur prise en charge par l'entreprise, ces déblais de forage peuvent être séchés à l'air libre afin de limiter le volume et le tonnage de matériaux transportés. Pour faciliter leur manutention, ils peuvent aussi être mélangés à du ciment.

Ces déblais sont des produits minéraux naturels inertes et ne présentent pas de danger pour l'environnement. Leur traitement sera réalisé avec une priorité donnée à leur valorisation en matériaux de construction ou de remblai, sous réserve des résultats des analyses règlementaires d'innocuité. A défaut, ils peuvent être envoyés en centre d'enfouissement de déchet inerte.

### **VII.7. PROGRAMME DE CAROTTAGE**

Il n'est pas prévu de carottage.

### **VII.8. CONTROLE DE L'INCLINAISON ET DE L'AZIMUT**

L'azimut choisi est pratiquement N-S (N356°). Il permet de recouper la faille de Cocagne qui est un drain majeur du réservoir (voir Figure 2).

Une inclinaison de 25° est suffisante pour atteindre cet objectif.

## VIII. EQUIPEMENT DU PUIT

### VIII.1. CUVELAGES

#### VIII.1.1 Choix des cuvelages

Les caractéristiques des cuvelages retenus pour équiper le puits BO-12 sont précisés dans le Tableau 12.

Il s'agit de cuvelages en acier de différents grades. Ils ont été sélectionnés en référence aux conditions de pression et température rencontrées, à la qualité du fluide géothermal et sa corrosivité qui est faible.

Le cuvelage interne de production retenu est en diamètre 13-3/8". Il s'agit d'un grand diamètre comparé au diamètre standard de 9-5/8" qui équipe les puits existants à Bouillante. Il autorisera des débits de production importants.

<b>Cote des cuvelages (m et ft)</b>	<b>Type de cuvelage</b>	<b>Diamètre du cuvelage</b>	<b>Caractéristiques du cuvelage</b>	<b>Cimentation de l'annulaire</b>
0 à 30 m 0 à 122 ft	Tube conducteur	30"	118 ppf 3/8" Wall X-42 - welded	-
0 à 85 m 0 à 280 ft	Cuvelage externe	24"	94.7 ppf 3/8" Wall X-65 w/Puma connectors	oui
0 à 262 m 0 à 861 ft	Cuvelage intermédiaire	18-5/8"	87.5 ppf J55 BTC-SCC – 19.625"	oui
0 à 612 m 0 à 2008 ft	Cuvelage interne de production	13-3/8"	68 ppf L80HC GB-Butt	oui
584 à 1280 m 1917 à 4200 ft	Liner perforé	9-5/8"	40 ppf K55	non

ppf : pound per feet

Tableau 12 : Caractéristiques des cuvelages retenus pour équiper le puits BO-12.

Interval		Casing Specs									Connection Specs				
Casing Size	Hole Size	OD	ID	Wt/ft	Wall Thickness	Drift	Grade	Tensile (kips)	Burst (psi)	Collapse (psi)	Connection	OD	ID	Tensile (kips)	Burst (psi)
30	36	30	29.25	119	0.375		X42				Welded				
24	28	24	23.25	94.7	0.375		X-42	974.14	957	185	Puma	24.12	21.992	4050	3500
18.625	21	18.625	17.755	87.5	0.435	17.567	J-55	1367	2250	630	BTC-SCC	19.625		1329	2250
13.375	17.5	14.375	13.415	68	0.48	12.289	L80HC	1556	5024	2600	GB-Butt	14.375		1545	
9.625	12.25	9.625	8.835	40	0.395	8.679	K55	630	3950	2570	BTC	10.625		843	

Tableau 13 : Spécifications techniques des cuvelages qui seront mis en place dans le puits BO-12.



### VIII.1.2 Spécifications techniques des cuvelages

Les spécifications techniques des cuvelages qui seront mis en place dans le puits BO-12 sont résumées dans le Tableau 13. Des spécifications techniques plus détaillées sont données en Annexe 2 page 97.

Les spécifications techniques concernant le liner hanger permettant d'accrocher le liner perforé 9-5/8" au cuvelage en 13-3/8" sont données en Annexe 3 page 99.

### VIII.1.3 Description des colonnes de cuvelages prévisionnelles

Les Figure 21 à Figure 27 illustrent les différentes colonnes de cuvelage prévisionnelles qui seront installées dans le puits BO-12. Elles indiquent la succession des joints, la position des centreurs, les dispositifs de sabot (Float shoe) et d'anneau (Floar collar).

### VIII.1.4 Positionnement des sabots

Le Tableau 14 récapitule les cotes prévisionnelles de mise en place des sabots. Ils ont été positionnés en fonction de la lithologie et des contraintes de forage (voir Figure 15). Ils évitent les zones susceptibles de présenter des indices de perméabilité et de fracturation.

<b>Colonne de cuvelage</b>	<b>Cote du sabot prévisionnelle</b>	<b>Formation lithologique</b>
30"	30m, 122 ft	Tufs
24"	85m, 280 ft	Lahars
18-5/8"	262 m, 861 ft	Laves andésitiques
13-5/8"	612 m, 2008 ft	hyaloclastites
9-5/8"	1280 m, 4200 ft	Laves, pyroclastites, volcanoclastites

Tableau 14 : Cotes prévisionnelles des sabots des colonnes de cuvelage dans le puits BO-12.

### VIII.1.5 Choix du nombre et du positionnement des centreurs

Le nombre de centreurs et leur position sont indiqués sur les Figure 21 à Figure 23. En moyenne, il est prévu un centreur tous les trois joints.

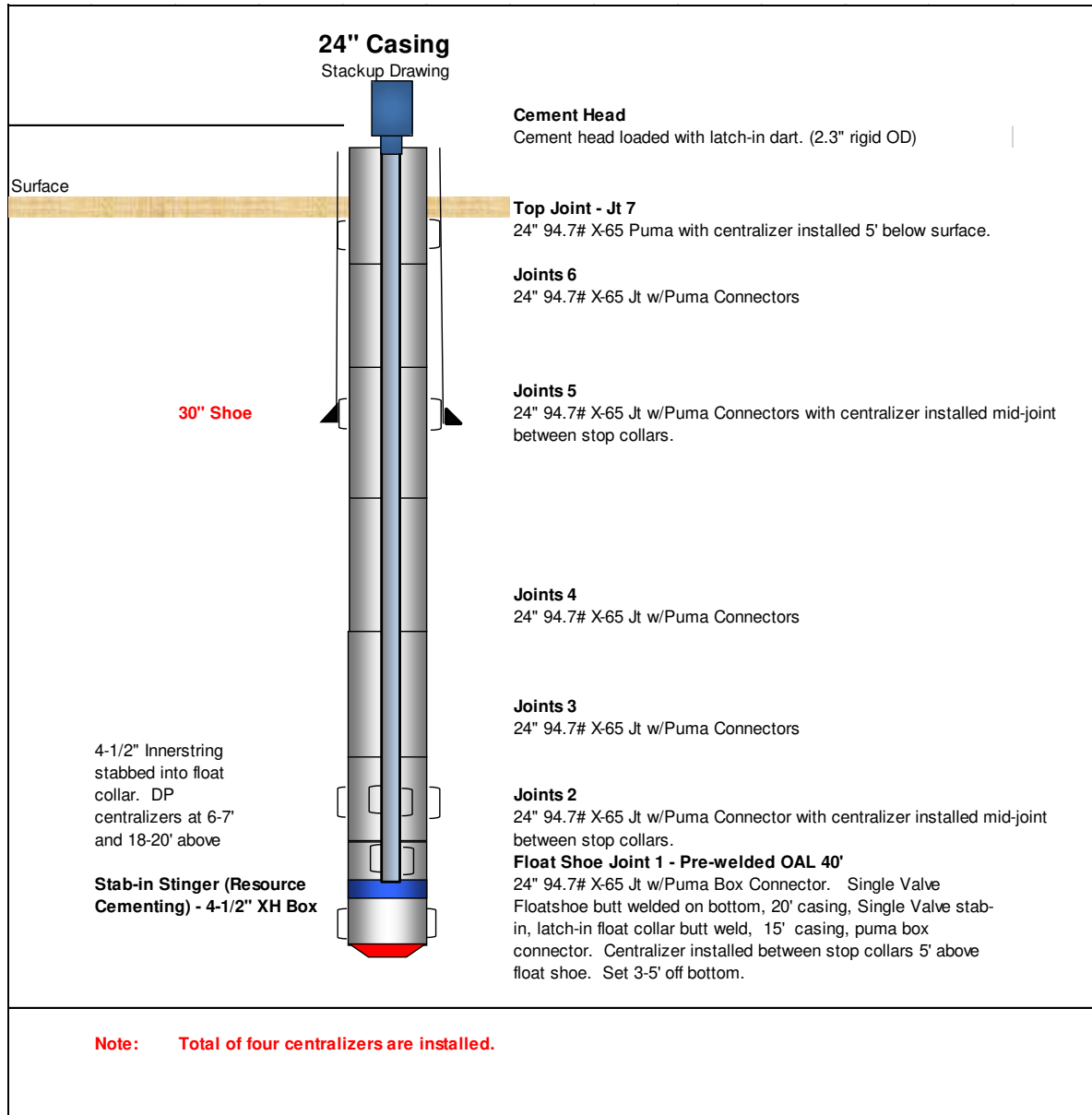


Figure 21 : Schéma de la colonne prévisionnelle du cuvelage 24".

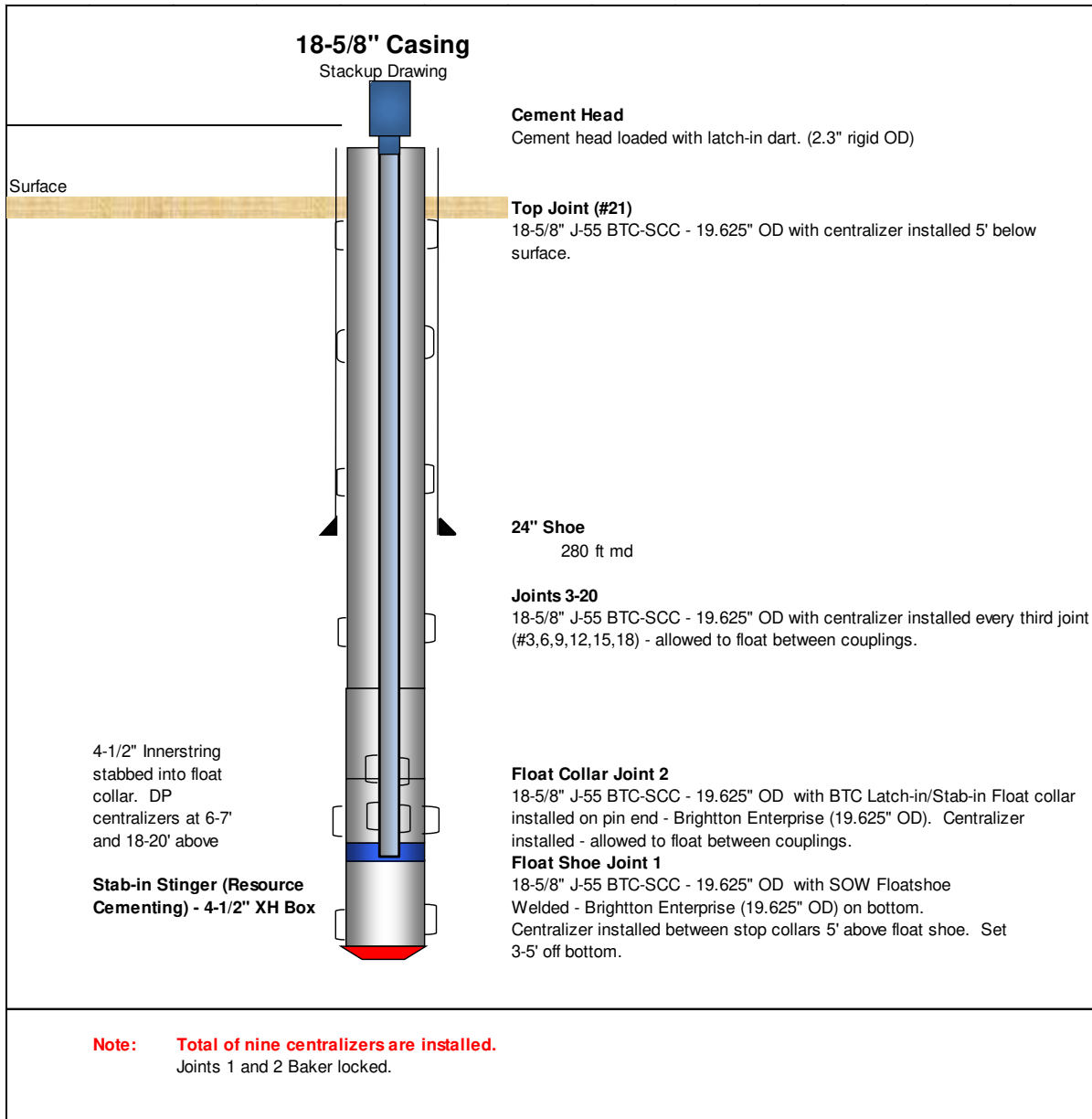


Figure 22 : Schéma de la colonne prévisionnelle du cuvelage 18-5/8''.

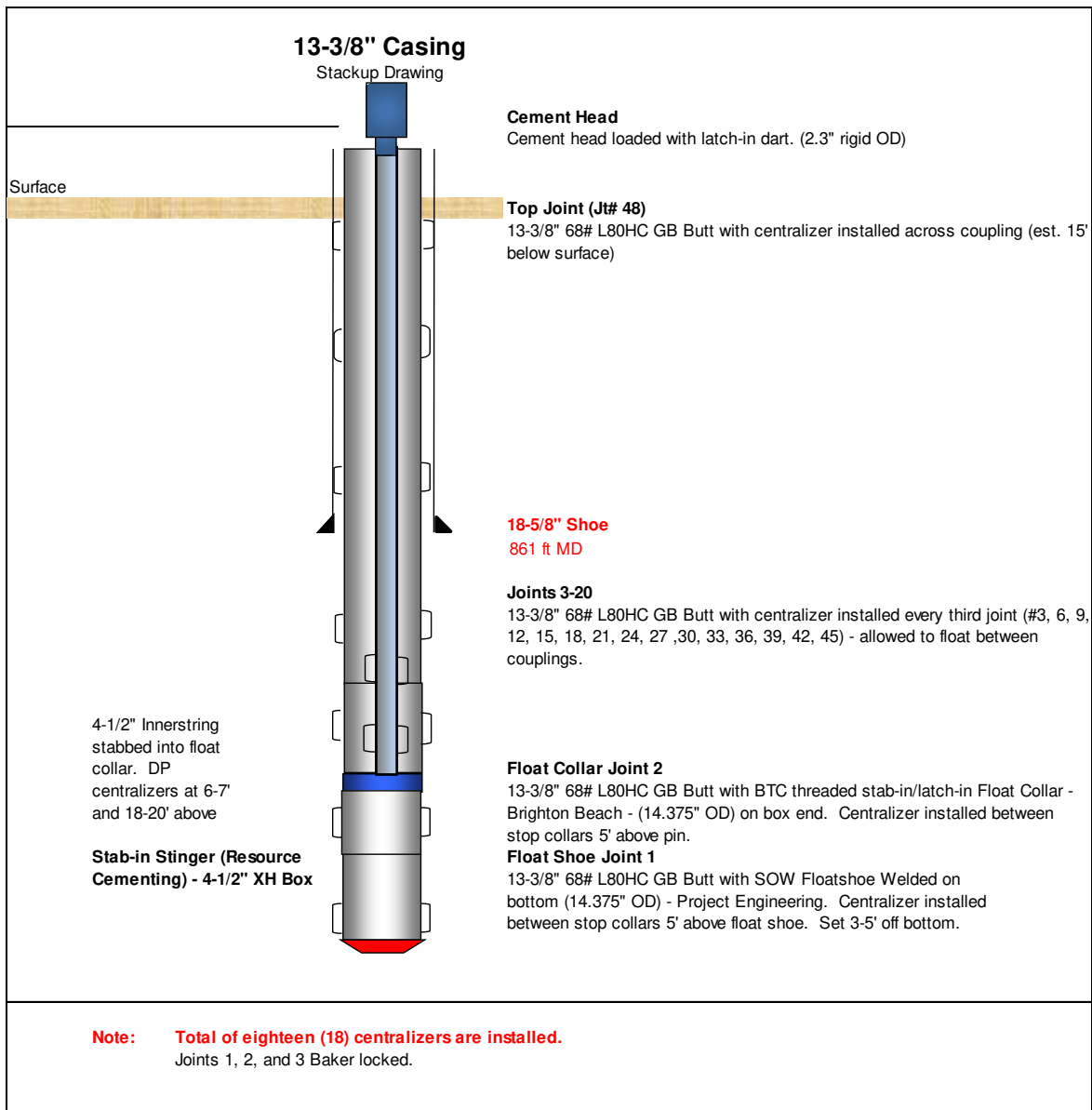


Figure 23 : Schéma de la colonne prévisionnelle du cuvelage 13-3/8".

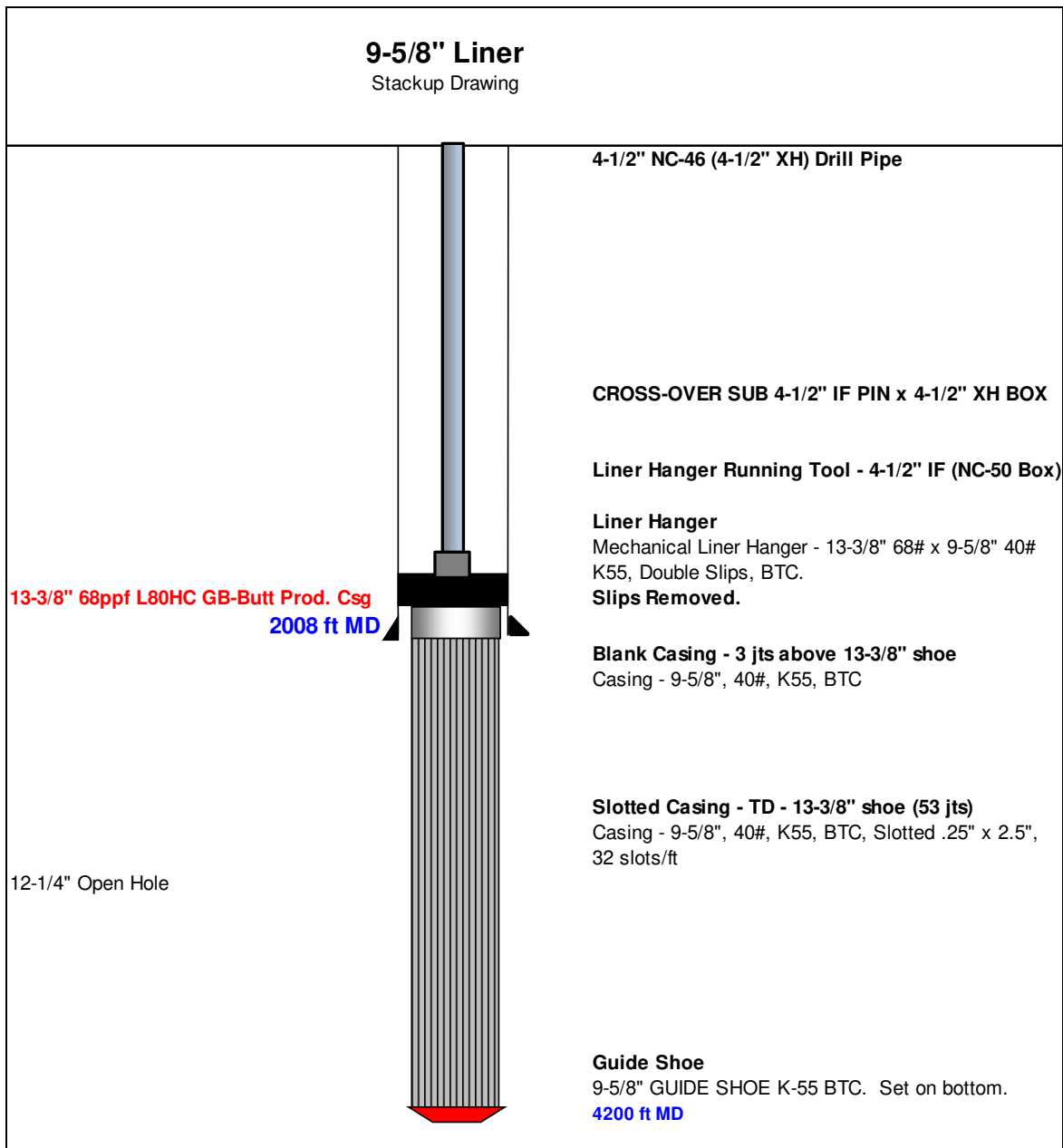


Figure 24 : Schéma de la colonne prévisionnelle du liner perforé 9-5/8".

## VIII.2. CIMENTATIONS

### VIII.2.1 Choix des phases de cimentation

En raison de sa mise en place par battage et en l'absence d'annulaire, le tube conducteur ne sera pas cimenté (voir § IV.4 page 21).

Le cuvelage externe 24", le cuvelage intermédiaire 18-5/8" et le cuvelage interne de production 13-3/8" seront cimentés.

Le liner perforé 9-5/8" qui sera accroché au cuvelage 13-3/8" ne sera pas cimenté.

### VIII.2.2 Hauteur des cimentations

Les cimentations seront réalisées sur toute la hauteur des colonnes de cuvelages 24", 18-5/8" et 13-3/8" (voir Figure 17 page 32).

### VIII.2.3 Caractéristiques et composition des ciments

Les ciments utilisés seront des ciments de classe G additionnés de silice. Les compositions exactes des fluides et des ciments qui seront mis en œuvre pour la cimentation des trois colonnes de cuvelage 24", 18-5/8" et 13-5/8" sont détaillées dans les Tableau 15, Tableau 16 et Tableau 17.

Fluid 1:	100 bbls Sea Water	Density:	8.53 lb/gal
Spacer		Volume:	100.00 bbls
Fluid 2:	30 bbls Sepiolite Viscous Spacer	Density:	10.5 lb/gal
Spacer		Volume:	30.00 bbls
Fluid 3:	13 bbls Sodium Silicate Preflush *	Density:	11.6 lb/gal
Reactive Spacer	* (If necessary due to lost circulation.)	Volume:	13 bbls
Fluid 4:	5 bbls Fresh Water	Density:	8.33 lb/gal
Spacer		Volume:	5.00 bbls
Fluid 5:	600 sacks RC-ThermaLite 65/35 MS	Density:	13.5 lb/gal
Primary Cement	61.1 lbs Class G cement	Slurry Yield:	1.57 ft <sup>3</sup> /sk
	25.9 lbs Fly Ash	Water Requirement:	5.69 gal/sk
	25% bwoc Microsilica	Total Mix Water Volume:	81.29 bbl
	10 lb/sk Cenospheres	Slurry Volume:	942.0 ft <sup>3</sup>
	0.5% bwob CDI-33		167.77 bbl
	0.25 lb/sk Poly Flake LCM		
		Calc. Top of Cement:	0 ft
Fluid 6:	2.86 bbls Fresh Water Displacement	Density:	8.33 lb/gal
Displacement		Volume:	2.86 bbls

Tableau 15 : Composition des fluides et du ciment qui seront mis en œuvre pour la cimentation de la colonne de cuvelage externe 24".

### VIII.2.4 Temps de séchage

Les temps de séchage des cimentations seront déterminés selon les règles de l'art et en fonction des pratiques habituellement observées pour les forages géothermiques haute température.

<b>Fluid 1:</b> <b>Spacer</b>	<b>100 bbls Sea Water</b>	<b>Density:</b> <b>Volume:</b>	<b>8.53 lb/gal</b> <b>100.00 bbls</b>
<b>Fluid 2:</b> <b>Pre-Flush</b>	<b>20 bbls RC Mud Clean</b>	<b>Density:</b> <b>Volume:</b>	<b>8.50 lb/gal</b> <b>20.00 bbls</b>
<b>Fluid 3:</b> <b>Spacer</b>	<b>5 bbls Fresh Water</b>	<b>Density:</b> <b>Volume:</b>	<b>8.33 lb/gal</b> <b>5.00 bbls</b>
<b>Fluid 4:</b> <b>Weighted Spacer</b>	<b>30 bbls Sepiolite Viscous Spacer</b>	<b>Density:</b> <b>Volume:</b>	<b>10.50 lb/gal</b> <b>30.00 bbls</b>
<b>Fluid 5:</b> <b>Primary Cement</b>	<b>800 sacks RC-ThermaLite-HT 65/35 MS</b> 61.1 lbs Class G cement 25.9 lbs Fly Ash 25% bwoc Microsilica 10 lb/sk Cenospheres 0.5% bwob CDI-33 0.75% bwob CR-180	<b>Density:</b> <b>Slurry Yield:</b> <b>Water Requirement:</b> <b>Total Mix Water Volume:</b> <b>Slurry Volume:</b> <b>Calculated Top of Cement:</b>	<b>13.50 lb/gal</b> <b>1.59 ft<sup>3</sup>/sk</b> <b>5.69 gal/sk</b> <b>108.38 bbl</b> <b>1272.00 ft<sup>3</sup></b> <b>226.54 bbl</b> <b>0 ft</b>
<b>Fluid 6:</b> <b>Displacement</b>	<b>9.77 bbls Fresh Water and Seawater Displacement</b>	<b>Density:</b> <b>Volume:</b>	<b>8.33 lb/gal</b> <b>9.77 bbls</b>

Tableau 16 : Composition des fluides et du ciment qui seront mis en œuvre pour la cimentation de la colonne de cuvelage intermédiaire 18-5/8”.

<b>Fluid 1:</b> <b>Spacer</b>	<b>100 bbls Sea Water</b>	<b>Density:</b> <b>Volume:</b>	<b>8.53 lb/gal</b> <b>100.00 bbls</b>
<b>Fluid 2:</b> <b>Pre-Flush</b>	<b>20 bbls RC Mud Clean</b>	<b>Density:</b> <b>Volume:</b>	<b>8.50 lb/gal</b> <b>20.00 bbls</b>
<b>Fluid 3:</b> <b>Spacer</b>	<b>5 bbls Fresh Water</b>	<b>Density:</b> <b>Volume:</b>	<b>8.33 lb/gal</b> <b>5.00 bbls</b>
<b>Fluid 4:</b> <b>Reverse Cement</b>	<b>1580 sacks RC-ThermaLite-HT Cement</b> 61.1 lbs Class G cement 25.9 lbs Fly Ash 25% bwoc Microsilica 10 lb/sk Cenospheres 0.5% bwob CDI-33 0.75% bwob CR-270	<b>Density:</b> <b>Slurry Yield:</b> <b>Water Requirement:</b> <b>Total Mix Water Volume:</b> <b>Slurry Volume:</b> <b>Calculated Top of Cement:</b>	<b>13.50 lb/gal</b> <b>1.56 ft<sup>3</sup>/sk</b> <b>5.69 gal/sk</b> <b>214.05 bbl</b> <b>2464.80 ft<sup>3</sup></b> <b>438.98 bbl</b> <b>0 ft</b>
<b>Fluid 5:</b> <b>Displacement</b>	<b>23.42 bbls Fresh Water and Sea Water Displacement</b>	<b>Density:</b> <b>Volume:</b>	<b>8.33 lb/gal</b> <b>23.42 bbls</b>

Tableau 17 : Composition des fluides et du ciment qui seront mis en œuvre pour la cimentation de la colonne de cuvelage intermédiaire 13-3/8”.

### VIII.2.5 Programme type des opérations de cimentation

Le programme type des opérations de cimentation des colonnes de cuvelages intermédiaire 18-5/8” et interne 13-3/8” est le suivant :

1. Cimentation principale : pomper le ciment dans le puits au travers des tiges de forage (primary cement job) :
  - a) Si un retour du ciment est observé en surface, attendre le séchage ;
  - b) Si le retour du ciment n’est pas observé ou si la cimentation est mauvaise, préparer le pompage d’eau dans l’espace annulaire depuis la surface pour évacuer le ciment dans la zone de pertes ;

2. Fermer le BOP (Ram) et pomper l'eau dans l'annulaire. S'assurer que la pression d'injection plus la pression hydrostatique n'excèdent pas la pression d'écrasement du cuvelage. Maintenir le BOP fermé pour éviter toute depuis la zone de pertes ;
3. Après attente de prise ciment, réaliser une cimentation complémentaire par squeeze dans l'annulaire depuis la surface ;
4. Si besoin, procéder à une nouvelle cimentation complémentaire jusqu'à présence de ciment en surface.

Cette séquence est résumée dans la Figure 25 ci-dessous.

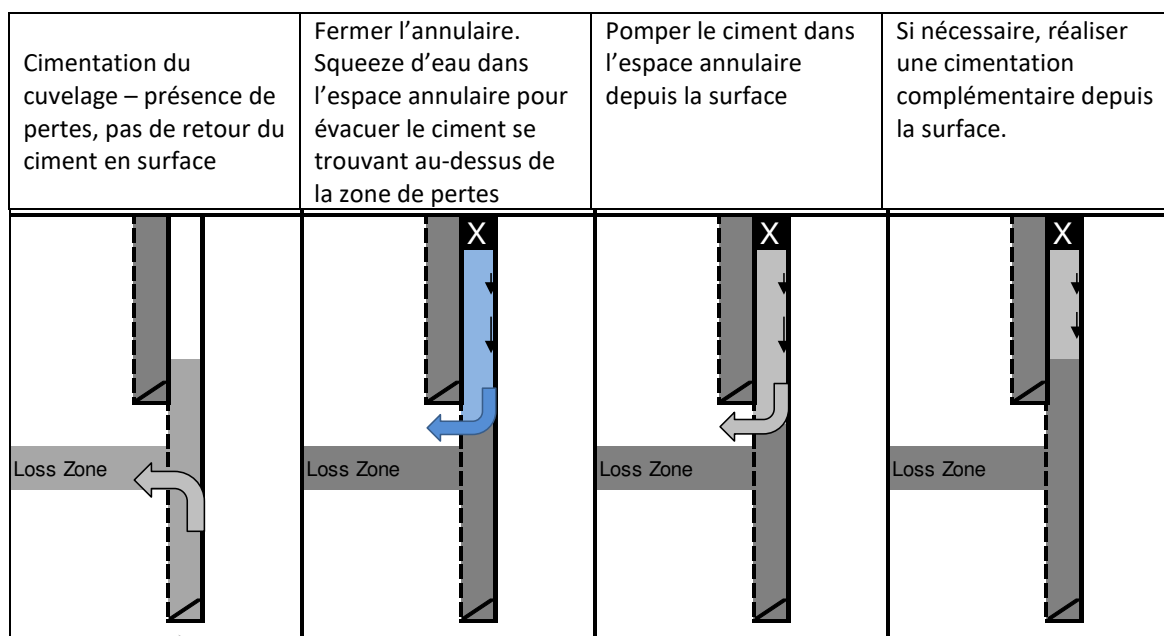


Figure 25 : Illustration des opérations à réaliser pour remédier à une mauvaise cimentation ou à une cimentation incomplète.

### VIII.2.6 Moyens de contrôle des cimentations

La qualité de la mise en place du ciment et notamment des hauteurs de remontée de ciment derrière le cuvelage seront contrôlées systématiquement en cours de travaux.

Les caractéristiques du laitier de ciment seront vérifiées par des essais préalables.

En raison des conditions de température élevées, il n'est pas prévu de réaliser des diagraphies de type CBL pour vérifier la qualité de la cimentation.

L'étanchéité des cuvelages et des cimentations sera vérifiée par des essais en pression appropriés en fin de cimentation ou avant la reprise du forage.

La DEAL sera informée des opérations de cimentation au moins deux jours à l'avance.

Tous les documents et résultats d'essais concernant les opérations de cimentation seront consignés et tenus à disposition du préfet et de la DEAL sur le chantier.

## IX. EQUIPEMENTS DE SECURITE

### IX.1. PRESSION MAXIMALE EN TÊTE DE PUIITS ATTENDUE

Les pressions maximales attendues en tête de puits au cours des différentes phases de forage du puits BO-12 sont indiquées dans le Tableau 18.

Phases de forage	Pression maxi. attendue en tête de puits (bars-g)	BOP	Pression minimum de test du BOP (bars-g)	Tête de puits (Casing head)
28"	4	Non	n/a	non
21"	18	BOP 21-1/4" 2M	28	Casing Head 21-1/4" 2M soudée sur le cuvelage 24"
17-1/2"	45	BOP 21-1/4" 2M	55	Casing Head 21-1/4" 2M soudée sur le cuvelage 18-5/8"
12-1/4"	90	BOP x DSA 13-5/8" 3M	97	Casing head 12" 600 soudée sur le cuvelage 13-3/8"

Tableau 18 : Pressions maximales attendues en tête de puits, caractéristiques des BOP et pression minimum de test, caractéristiques des têtes de puits.

### IX.2. TÊTE DE PUIITS (CASING HEAD)

A chaque phase de forage, le puits sera équipé d'une casing head soudée sur le dernier cuvelage mis en place (voir Tableau 18).

### IX.3. BLOC OBTURATEUR DE PUIITS (BOP)

Lors des phases suivantes (21", 17-1/2", 12-1/4"), un BOP sera installé en tête de puits afin de contrôler d'éventuelles venues éruptives de gaz ou de vapeur (voir Tableau 18).

Le BOP est un dispositif de sécurité, installé entre la tête de puits et le plancher de forage et destiné à fermer le puits en cas d'urgence, comme par exemple en cas de venue éruptive de fluide. Ce type de dispositif comprend plusieurs éléments et en particulier un obturateur annulaire (Annular Preventer) qui peut fermer le puits autour des tiges de forages, et des mâchoires (ou Rams) qui referment hermétiquement le puits si nécessaire en sectionnant les tiges de forage présentes dans le puits. Ces mécanismes de fermeture sont commandés hydrauliquement et peuvent être enclenchés par commande manuelle ou automatique. Avec ces équipements, il est possible d'obturer dans n'importe quelle condition et à n'importe quel moment :

- l'espace annulaire entre le cuvelage de surface et les tiges en phase de forage ;
- l'espace annulaire entre le cuvelage de surface et le cuvelage en phase de descente de cuvelage ;
- l'ensemble du trou en sectionnant l'équipement présent à l'intérieur du puits.

Afin de contrôler une éventuelle venue éruptive de fluide, le BOP est raccordé à des lignes hydrauliques qui permettent :

- d'injecter un fluide de densité élevée (à base de barytine par exemple) dans le puits pour contrebalancer la pression et « tuer » le puits (kill line) ;
- d'évacuer si nécessaire le fluide de façon contrôlée (choke line).

La Figure 26 illustre l'assemblage de BOP 21-1/4" 2M qui sera mis en place sur la casing head lors des phases de forage en 21" et 17-1/2".

La Figure 27 montre l'assemblage de BOP 13-5/8" 3M qui sera mis en place sur une vanne maîtresse lors de la phase de forage en 12-1/4".

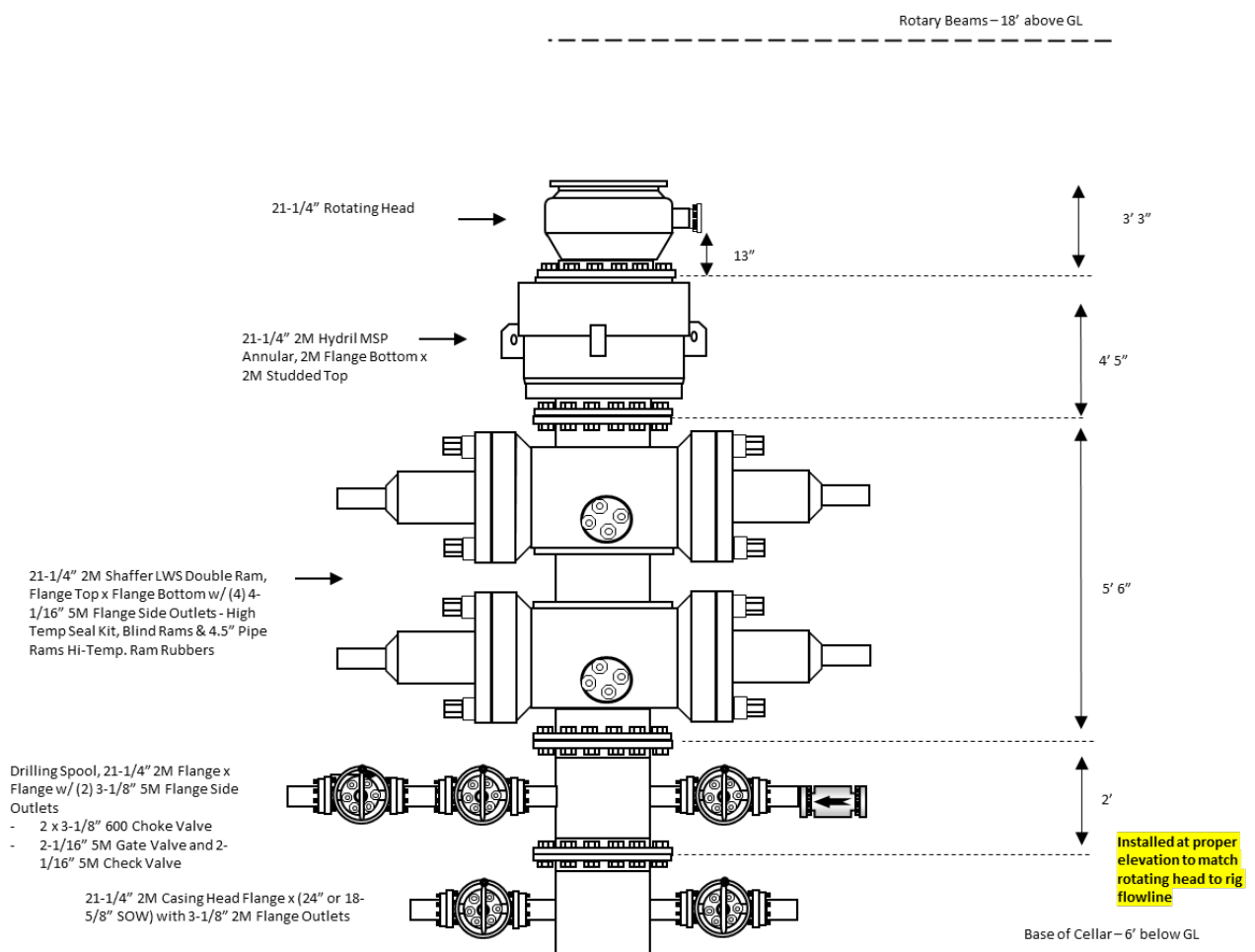


Figure 26 : Schéma du BOP 21-1/4" 2M qui sera mis en place sur la casing head lors des phases de forage en 21" et 17-1/2".

#### IX.4. CONTROLE DES BOP

Avant d’être installés en tête de puits, les BOP seront soumis à un test à leur pression de service (2000 psi soit 138 bars).

Une fois installés en tête de puits, les BOP seront testés avant le début de la phase de forage à la pression maximale attendue en tête de puits plus un facteur de sécurité de l’ordre de 10 bars (voir Tableau 18). Toutefois, les tests en pression des BOP ne pourront pas dépasser 70% de la pression d’éclatement (API Burst Rating) des équipements du puits.

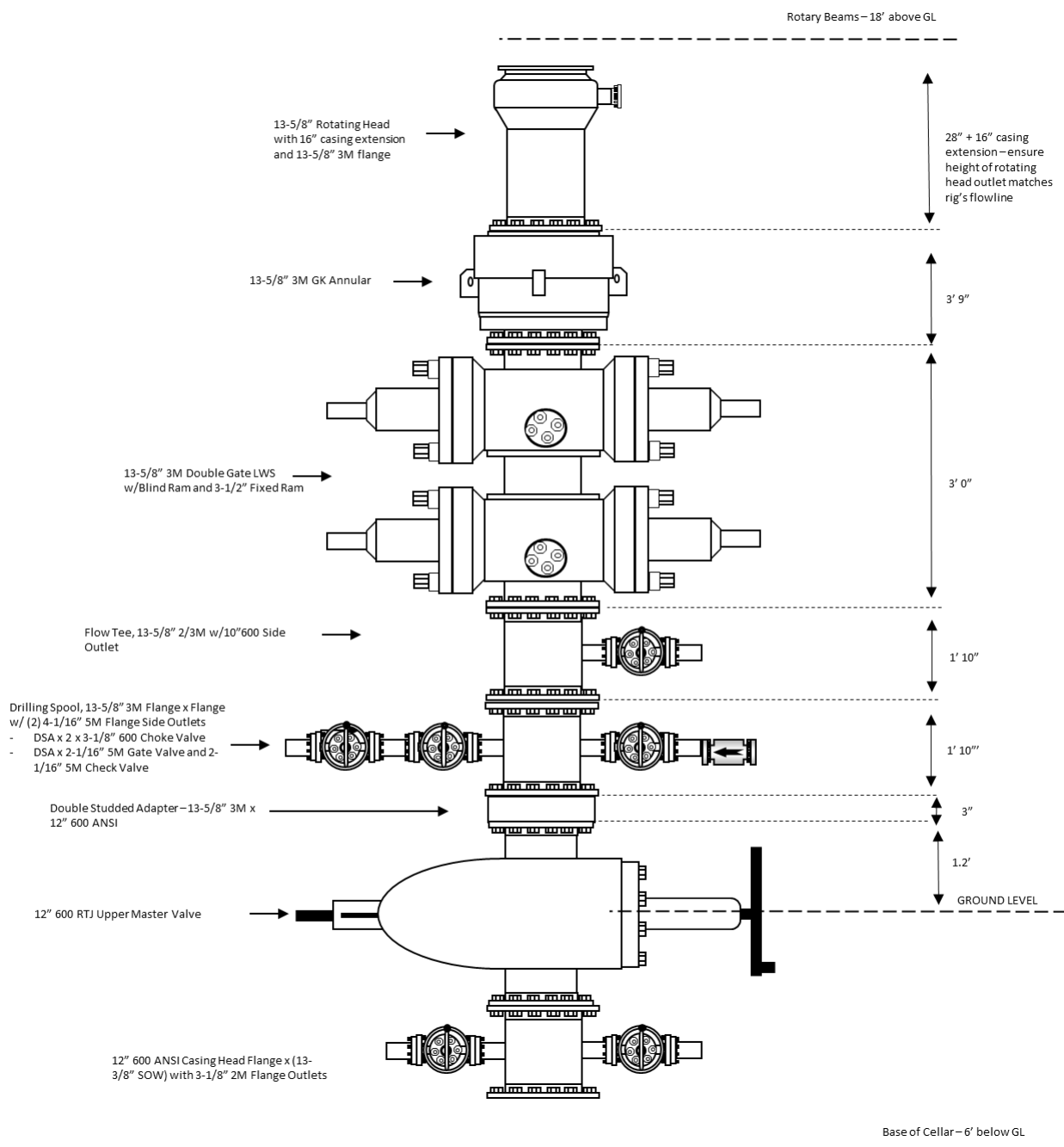


Figure 27 : Schéma du BOP 13-5/8" 3M qui mis en place sur une vanne maîtresse lors de la phase de forage en 12-1/4".



## X. DEROULEMENT PREVISIONNEL DES TRAVAUX DE FORAGE DU Puits BO-12

### X.1. MOBILISATION

1. Mise en place du tube conducteur 30'' par battage jusqu'à la cote de refus.
2. Installation de la cave provisoire.
3. Mobilisation et installation des équipements de forage sur le puits.
4. Affichage de tous les permis et numéros de téléphone d'urgence à l'entrée du site. Les certificats de toutes les masses tiges, tiges de forage et réductions seront contrôlés selon la norme DS1 – Cat 3.
5. Mobilisation et installation du matériel de surveillance du forage (mud logging) qui inclura des capteurs H<sub>2</sub>S reliés à un système d'alarme. Des capteurs seront installés au plancher de forage et au niveau de la conduite de retour des boues.
6. Mise en place des lignes téléphoniques directes entre le plancher de forage et les bureaux de chef de chantier et de supervision.
7. Tenue d'une réunion sécurité abordant les thèmes suivants : sécurité H<sub>2</sub>S, règles générales de sécurité, protection de l'environnement, gestion des déchets, présentation du programme de forage, des responsables, des procédures d'urgence, problèmes rencontrés sur les puits précédents.

Le Drill site Manager et le Rig Supervisor doivent prendre connaissance, compléter et mettre à disposition sur le chantier les documents et procédures de sécurité suivants :

- Procédure de sécurité et de prévention des risques (Safety and Emergency Contingency Plan) (Annexe 4);
- Procédures de contrôle des venues éruptives (Blowout action plan) (Annexe 5 et Annexe 6) ;
- Plan de protection de l'environnement (Annexe 7).

Le Drill site Manager et le Rig Supervisor doivent vérifier et signer le formulaire de sécurité (IADC Drilling Rig Safety Inspection ;Annexe 8) avant de pouvoir démarrer les travaux de forage.

8. Installation de la ligne d'alimentation en eau vers les bacs de la machine de forage. Fabrication de la boue de démarrage. Forage du trou de manœuvre (mouse hole) et rat hole selon les spécifications de la machine de forage.
9. Information de la DEAL.

## X.2. PHASE DE FORAGE EN 28'' ET MISE EN PLACE DU CUVELAGE DE 24''

### X.2.1 Analyse des risques

Une analyse des problèmes techniques et des risques d'échec pendant la phase de forage en 28'' et la mise en place du cuvelage 24'' a été faite et des mesures permettant d'y remédier ont été identifiées (Tableau 19).

<b>Risques identifiés</b>	<b>Mesures identifiées pour y remédier</b>
<i>Pertes de circulation</i>	Emploi de matériaux colmatant comme des coquilles de noix (Lost Circulation Material), Dilution pour maintenir la densité de la boue appropriée
<i>Coincement de la garniture</i>	Pompage d'un bouchon visqueux à chaque connexion Surveiller les signes d'augmentation du Torque et de frottement (drag) En cas de coincement, la première action à mettre en œuvre est l'usage de la coulisse (jar), tout en maintenant la circulation si possible.
<i>Faible vitesse d'avancement (ROP)</i>	Ajustement des paramètres de foration (WOB poids sur l'outil ; RPM vitesse de rotation)
<i>Impossibilité de descendre le cuvelage à la cote prévue (TD)</i>	Mise en œuvre d'une garniture rigide (packed hole BHA) pour optimiser la géométrie du trou nu Prévoir un alésage du puits si la traction est supérieure à 10 kips (45 kN) lors de la remontée de la garniture Envoyer 2 bottom up avant de remonter la garniture
<i>Contrôle du puits</i>	Profondeur objectif (TD) prévue 20-30' (6-10 m) au-dessus du niveau piézométrique. Analyse des conditions de forage des puits voisins (offset wells)
<i>Pas de retour du ciment en surface</i>	Procéder à des opérations de chasse à l'eau claire et de cimentation complémentaire depuis la surface par squeeze ou au travers de canules
<i>Défaillance des équipements de cimentation en pied de colonne (sabot et anneau)</i>	Redondance – mise en œuvre d'un anneau et d'un sabot chacun équipé d'un clapet anti-retour
<i>Vibrations élevées lors de la foration</i>	Augmenter le poids sur l'outil (WOB) et procéder à une analyse MSE (Mechanical Specific Energy) afin d'affiner les paramètres de forage.

Tableau 19 : Risques identifiés et mesures adoptées pour y remédier lors de la phase de forage en 28'' et lors de la mise en place du cuvelage en 24''.



## X.2.2 Procédure opérationnelle

1. Assemblage de la garniture de forage avec outil 28'' (voir Tableau 20) ;
2. Forage en 28'' de la surface jusqu'à 85 m à la boue en utilisant les paramètres suivants : 10-30 WOB, 40-80 RPM, 1900-3800 l/mn. Echantillonnage des déblais de forage si le retour de circulation le permet. La profondeur du sabot sera déterminée par le géologue. Si des pertes importantes sont observées, les traiter avec des produits colmatants (lost circulation material – LCM) ou des bouchons de ciment. Contrôler en permanence les retours de circulation et les concentrations en gaz.
  - Réaliser des analyses MSE afin d'appliquer les paramètres de forages optimaux ;
  - Circuler un bouchon de 6 m<sup>3</sup> avec sépiolite à chaque fin de stand avant la connexion ;
  - Démarrer le forage avec un débit de circulation faible et augmenter progressivement jusqu'à l'atteinte de la TD ;
  - Noter les PU/SO/ROT (poids en montant, poids en descendant, poids en rotation) à chaque connexion ;
3. Circuler un minimum de 2 bottom up jusqu'à un retour propre. Appliquer une rotation et un débit de circulation maximum. Pomper un bouchon visqueux au fond ;
4. Remontée au jour de la garniture. Si la traction (drag) dépasse 10 kips, procéder à un alésage du puits. Si la traction est normale, préparer la descente du cuvelage. Si la traction est significative, redescendre la garniture au fond et circuler pour nettoyer le puits.
5. Préparer la descente du cuvelage 24'' par la société OES. Inspection visuelle des filetages des cuvelages et contrôle du diamètre interne. Installation du matériel de vissage ;
6. Descente du cuvelage 24'' jusqu'à TD (voir colonne prévisionnelle d'assemblage du cuvelage sur la Figure 21 page 42). Placer le sabot entre 1 et 2 m du fond. Installer un centreur 2m au-dessus du sabot. Maintenir le cuvelage en mouvement pendant la circulation et le conditionnement de la boue.
7. Installation du matériel de cimentation. Mise en place de la colonne sur cales et descente des tiges de forage 4-1/2'' avec centreurs. Arrêter la descente 1m avant l'anneau, circuler pendant 2 minutes, puis engager le stinger dans l'anneau. Circuler pour nettoyage et refroidissement du puits. Vérifier le bon centrage du tubage en surface avant cimentation ;
8. Pompage du ciment préparé selon programme (voir Tableau 15 page 46). Contrôle continu des retours. Attente pour séchage. En cas d'absence de retour du ciment après pompage du volume prévu, préparer et réaliser une cimentation complémentaire à partir de la surface. Purger et vérifier le bon fonctionnement des soupapes. Remontée au jour du stinger. Démobilisation du matériel de cimentation.
9. Couper le cuvelage 24'' à la bonne hauteur et souder la bride 21''1/4 de la casing head. Vérifier que la tête rotative sera bien positionnée par rapport à la flow line.

Component	Length (ft)	Cum Length (ft)	ppf (adj)	Connection (Top/Btm)	# Jts	Makeup Torque	Provider	Buoyed Wt
4-1/2" DP	30	182	22	NC-46 (4-1/2" XH)	1	21-26k ft-lbs	Rig	20.8
				NC-46 (4-1/2" XH)				
4-1/2" HWDP	31	152	40	NC-46 (4-1/2" XH)	3	21-26k ft-lbs	Rig	20.3
				NC-46 (4-1/2" XH)				
XO	3	121	100	NC-46 (4-1/2" XH)	1	21-26k ft-lbs	Rig	19.3
				6-5/8" Reg				
8-1/4" Spiral DC	62	118	161	6-5/8" Reg	2	53-58k ft-lbs	Rig	19.0
				6-5/8" Reg				
27-1/2" String Stab	10	56	400	6-5/8" Reg	1	53-58k ft-lbs	K&R	11.0
				6-5/8" Reg				
8-1/4" Spiral DC	31	46	161	6-5/8" Reg	1	53-58k ft-lbs	Rig	7.8
				6-5/8" Reg				
27-1/2" String Stab	10	15	400	6-5/8" Reg	1	53-58k ft-lbs	K&R	3.8
				6-5/8" Reg				
Bit Sub (w/Float)	3	5	160	6-5/8" Reg (box)	1	53-58k ft-lbs	Rig	0.6
				7-5/8" Reg (Box)				
28" Bit	2	2	160	7-5/8" Reg (Pin)	1	34-40k ft-lbs	SJB	0.3

Tableau 20 : Composition prévisionnelle de la BHA (garniture de forage) en 28''.

### X.3. PHASE DE FORAGE EN 21'' ET MISE EN PLACE DU CUVELAGE 18-5/8''

#### X.3.1 Analyse de risques

Une analyse des problèmes techniques et des risques d'échec pendant la phase de forage en 21'' et de mise en place du cuvelage 18-5/8'' a été faite et des mesures permettant d'y remédier ont été identifiées (Tableau 21).

Risques identifiés	Mesures identifiées pour y remédier
<i>Pertes de circulation</i>	Emploi de matériaux colmatant comme des coquilles de noix (Lost Circulation Material), dilution pour maintenir la densité de la boue appropriée
<i>Coincement de la garniture</i>	Pompage d'un bouchon visqueux à chaque connexion Surveiller les signes d'augmentation du Torque et de frottement (drag) En cas de coincement, la première action à mettre en œuvre est l'usage de la coulisse (jar), tout en maintenant la circulation si possible.
<i>Faible vitesse d'avancement (ROP)</i>	Ajustement des paramètres de foration (WOB poids sur l'outil ; RPM vitesse de rotation)
<i>Impossibilité de descendre le cuvelage à la cote prévue (TD)</i>	Réaliser un alésage du puits avec une garniture rigide (packed hole assembly) Envoyer 2 bottom up avant de remonter la BHA.
<i>Contrôle du puits</i>	Sabot du cuvelage capable de se fermer en cas de venue éruptive de vapeur ou de gaz Analyse des conditions de forage des puits voisins (offset wells)
<i>Pas de retour du ciment en surface</i>	Procéder à des opérations de chasse à l'eau claire et de cimentation complémentaire depuis la surface par squeeze ou au travers de canules

<i>Défaillance des équipements de cimentation en pied de colonne (sabot et anneau)</i>	Redondance – mise en œuvre d’un anneau et d’un sabot chacun équipé d’un clapet anti-retour
<i>Vibrations élevées lors de la foration</i>	Augmenter le poids sur l’outil (WOB) et procéder à une analyse MSE (Mechanical Specific Energy) afin d’affiner les paramètres de forage.

Tableau 21 : Risques identifiés et mesures adoptées pour y remédier lors de la phase de forage en 21’’ et de mise en place du cuvelage 18-5/8’’.

### **X.3.2 Travaux préparatoires**

1. Couper le casing placé au-dessus du sabot pour ajuster la profondeur d’ancrage à la cote souhaitée. Souder le sabot au casing préalablement coupé ;
2. Envoyer de l’eau et des échantillons de ciment à Resource Cementing pour des tests ;
3. Calibrer les casings 18-5/8’’ avec un drift API de diamètre minimum de 17.567’’ ;
4. Préparation de la tête de circulation au plancher pour descente du casing en pompage si nécessaire ;
5. Remplir les silos à ciment ;
6. Nettoyer les connexions à haute pression et avec un détergent et s’assurer qu’elles sont débarrassées de tout corps étranger ;
7. Installer l’anneau de cimentation stab-in ;
8. Informer la DEAL au minimum deux jours avant l’opération de descente et de cimentation du cuvelage 18-5/8’’.
9. Planifier l’arrivée des personnels de la société OES (mise en place du cuvelage).

### **X.3.3 Procédure opérationnelle**

1. Mise en place du BOP 21-1/4’’ x 2000psi avec kill line et choke manifold ;
2. Test du BOP ;
3. Fermeture du BOP et test en pression du casing jusqu’à 28 bars-g. La perte de pression doit être inférieure à 10% après 15 minutes ;
4. Assemblage et descente de la garniture directionnelle avec outil 21’’ (voir Tableau 22);
5. Forage ciment et équipements de cimentation jusqu’à 2,5 m sous le sabot. Vérifier la densité de la boue en entrée et en sortie. Remontée dans le casing 24’’. Procéder à un Leak-Off Test de la façon suivante :
  - Pression minimum de fracturation requise de 11 bars-g, ou 0,13 bars/m en supposant une profondeur de sabot de 85 m ;
  - Ne pas tester à une valeur supérieure à 0,16 bar/m. La pression maximum de test en surface est de 5 bars-g ;
  - La TD de la section en 21’’ pourra être ajustée en fonction des résultats du Leak-Off Test.



6. Forer en rotary jusqu'à la côte du KOP de 152 m en utilisant les paramètres : 10-30 WOB, RPM aussi élevée que permise par le déviateur, 3800 L/mn ;
  - Réaliser une analyse MSE pour déterminer les paramètres optimaux de forage ;
  - Noter les PU/SO/ROT (poids en montant, poids en descendant, poids en rotation) à chaque connexion ;
  - Forage à la boue ;
  - Contrôler en permanence les retours de circulation et les concentrations de gaz ;
  - Si des pertes importantes sont observées, les traiter avec des produits colmatants (lost circulation material – LCM) ou des bouchons de ciment ;
  - Echantillonnage des déblais selon le pas fixé.
7. Forer en directionnel jusqu'à la TD. Pomper au moins un bouchon à chaque connexion ;
  - Noter les PU/SO/ROT (poids en montant, poids en descendant, poids en rotation) à chaque connexion.
8. Circuler un minimum de 2 bottom up jusqu'à un retour propre ;
9. Remontée de la garniture ;
10. Assembler une garniture d'alésage en 21" : outil 21", near-bit stabilisateur 20-3/4", Drill-collars 8", String stabilisateur 20-3/4". Aléser le puits jusqu'à TD. Circulation avec 2 bottom up. Pomper un bouchon visqueux au fond.
11. Remontée au jour de la garniture. Si la traction (drag) dépasse 10 kips, procéder à un nouvel alésage du puits. Si la traction est normale, préparer la descente du casing. Si la traction est significative, redescendre la garniture au fond et circuler pour nettoyer le puits ;
12. Préparer la descente du cuvelage 18-5/8" par la société OES. Inspection visuelle des filetages des cuvelages et contrôle du diamètre interne. Installation du matériel de vissage ;
13. Descente du cuvelage à TD (voir colonne prévisionnelle dans Tableau 22 page 58):
  - a. Mettre du frein filet (Baker Lock) sur les connexions des 4 premiers casings. Appliquer une fine couche sur 50% maximum de la hauteur des filetages mâles. Ne pas mettre de graisse de vissage sur les connexions mâles ou femelles de ces casings ;
  - b. Appliquer de la graisse de vissage certifiée API sur les connexions des tubages suivants. Appliquer une fine couche côtés mâle et femelle en veillant à ce que le filetage reste visible ;
  - c. Vissage jusqu'à la base du triangle ;
  - d. A minima, descente du dernier tubage en circulation ;
14. Installation du matériel de cimentation. Mise en place de la colonne sur cales et descente des tiges de forage 4-1/2" avec centreurs. Arrêter la descente 1m avant l'anneau, circuler pendant 2 minutes, puis engager le stinger dans l'anneau. Circuler pour nettoyage et refroidissement du puits. Vérifier le bon centrage du tubage en surface avant cimentation ;
15. Pompage du ciment préparé selon programme (voir Tableau 16 page 47). Contrôle continu des retours. Attente pour séchage. En cas d'absence de retour du ciment après pompage du volume prévu, préparer et réaliser une cimentation complémentaire à partir de la surface.



Purger et vérifier le bon fonctionnement des soupapes. Remontée au jour du stinger.  
 Démobilisation du matériel de cimentation.

- Découper le cuvelage 24'' à la base de la cave temporaire. Découper le cuvelage 18-5/8'' à la bonne hauteur et souder la bride 21''1/4 de la casing head. Vérifier que la tête rotative sera bien positionnée par rapport à la flow line.

GEOGUIDANCE WELLING SERVICES, LLC		Bottom Hole Assembly				ORMAT							
Job#		Rig	Ormat 117		BHA Length (Lift)	871.00							
Operator	ORMAT	BHA#	1		BHA Weight dry (kibs)	58.58							
Well	New Actual Well	Bit#			BHA Weight Bouyed (kibs)	57.64							
Field	GUADELOUPE	Depth In (Lift)	0.00		Wt. Below Jars dry (kibs)	48.82							
Date In		Depth Out (Lift)	0.00		Wt. Below Jars Bouyed (kibs)	42.27							
Date Out		Drilled (Lift)	0.00		Drilling / Circ Hours	0.00 / 0.00							
Sensor Offsets													
Survey Offset		N/A		Gamma Offset		N/A		Cyno Offset		N/A			
#	SN	Description	OD (in)	ID (in)	FNOD (in)	FN Length (Lift)	Cox Up	Cox Dn	Unit Weight (lb/ft)	Comp Weight (kibs)	Total Weight (kibs)	Length (Lift)	Total Length (Lift)
1		Drill Pipe	4.500	3.500	0.000	0.00	4 1/2 NC48	4 1/2 NC48	22.820	4.11	4.11	180.00	180.00
2		4 1/2 HWDP	4.500	2.750	0.000	0.00	NC 48	NC 48	41.000	14.76	18.87	360.00	540.00
3		Jars	6.500	2.500	0.000	0.00	4 1/2 NC48	4 1/2 NC48	100.000	3.00	21.87	30.00	570.00
4		Rig DC	6.500	2.500	0.000	0.00	4 1/2 NC48	4 1/2 NC48	150.000	3.00	24.87	30.00	600.00
5		XD 8	8.000	2.875	0.000	0.00	4 1/2 NC48	6 5/8 REG	125.000	0.37	25.24	3.00	603.00
6		Rig Casing	8.000	2.500	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	150.000	22.50	47.74	150.00	753.00
7		Shock Sub	8.000	2.500	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	150.000	1.50	49.24	10.00	763.00
8	NMDC 8002	8002 NMDC	8.000	3.250	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	145.161	4.50	53.74	31.00	794.00
9	NMDC 8001	8002 NMDC	8.000	3.250	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	145.161	4.50	58.24	31.00	825.00
10	UBHC 8001	8001 UBHC	8.000	3.000	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	150.000	0.45	58.69	3.00	828.00
11	SS9ab1	String Stabilizer	20.750	3.250	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	250.000	2.50	61.19	10.00	838.00
12	9001	9 5/8" Combo Casing	10.000	2.000	0.000	0.00	6 5/8 REG	7 5/8 REG	216.867	8.50	67.69	30.00	868.00
13	1	Roller Cone	21.000	3.000	0.000	0.00	7 5/8 REG		1000.000	3.00	70.69	3.00	871.00

Tableau 22 : Composition prévisionnelle de la garniture de forage directionnelle en 21''.

#### X.4. PHASE DE FORAGE EN 17-1/2" ET MISE EN PLACE DU CUVELAGE 13-3/8"

##### X.4.1 Analyse de risques

Une analyse des problèmes techniques et des risques d'échec pendant la phase de forage en 17-1/2" et de mise en place du cuvelage 13-3/8" a été faite et des mesures permettant d'y remédier ont été identifiées (Tableau 23).

<b>Risques identifiés</b>	<b>Mesures identifiées pour y remédier</b>
<i>Pertes de circulation</i>	Emploi de matériaux colmatant comme des coquilles de noix (Lost Circulation Material), Dilution pour maintenir la densité de la boue appropriée Injection de ciment pour colmater les pertes
<i>Coincement de la garniture</i>	Pompage d'un bouchon visqueux à chaque connexion Surveiller les signes d'augmentation du Torque et de frottement (drag) En cas de coincement, la première action à mettre en œuvre est l'usage de la coulisse (jar), tout en maintenant la circulation si possible.
<i>Faible vitesse d'avancement (ROP)</i>	Ajustement des paramètres de foration (WOB poids sur l'outil ; RPM vitesse de rotation)
<i>Impossibilité de descendre le cuvelage à la cote prévue (TD)</i>	Réaliser un alésage du puits avec une garniture rigide (packed hole assembly) Circuler 2 bottom up avant de remonter la BHA.
<i>Contrôle du puits</i>	Sabot du cuvelage sélectionné pour permettre la fermeture totale du puits en cas de venue éruptive de vapeur ou de gaz Analyse des conditions de forage des puits voisins (offset wells)
<i>Pas de retour du ciment en surface</i>	Procéder à des opérations de chasse à l'eau claire et de cimentation complémentaire depuis la surface par squeeze ou au travers de canules
<i>Défaillance des équipements de cimentation en pied de colonne (sabot et anneau)</i>	Redondance – mise en œuvre d'un anneau et d'un sabot chacun équipé d'un clapet anti-retour
<i>Vibrations élevées lors de la foration</i>	Augmenter le poids sur l'outil (WOB) et procéder à une analyse MSE (Mechanical Specific Energy) afin d'affiner les paramètres de forage.

Tableau 23 : Risques identifiés et mesures adoptées pour y remédier lors de la phase de forage en 17-1/2" et de mise en place du cuvelage 13-5/8".

##### X.4.2 Travaux préparatoires

1. Couper le casing placé au-dessus du sabot pour ajuster la profondeur d'ancrage à la cote souhaitée. Souder le sabot au casing préalablement coupé ;
2. Envoyer de l'eau et des échantillons de ciment à Resource Cementing pour des tests ;



3. Calibrer les casings 13-3/8" avec un drift API de diamètre minimum de 12.259" ;
4. Préparation de la tête de circulation au plancher pour descente du casing en pompage si nécessaire ;
5. Remplir les silos à ciment ;
6. Nettoyer les connexions à haute pression et avec un détergent et s'assurer qu'elles sont débarrassées de tout corps étranger ;
7. Installer l'anneau de cimentation stab-in ;
8. Informer la DEAL au minimum deux jours avant l'opération de descente et de cimentation du cuvelage 13-3/8".
9. Planifier l'arrivée des personnels de la société OES (mise en place du cuvelage).

#### **X.4.3 Procédure opérationnelle**

1. Mise en place du BOP 21-1/4" x 2000psi avec kill line et choke manifold ;
2. Test du BOP ;
3. Fermeture du BOP et test en pression du casing jusqu'à 55 bars-g. La perte de pression doit être inférieure à 10% après 15 minutes ;
4. Assemblage et descente de la garniture directionnelle avec outil 17-1/2" (voir Tableau 24); nombre de HWDP (Heavy Weight Drill Pipes) réduit à 6 pour limiter la Stand-Pipe Pressure SPP ;
5. Descendre la garniture et circuler au niveau du dernier stand ;
6. Forage ciment et équipements de cimentation jusqu'à 2,5 m sous le sabot. Vérifier la densité de la boue en entrée et en sortie. Remontée dans le casing 18-5/8". Procéder à un Leak-Off Test de la façon suivante :
  - Pression minimum de fracturation requise de 38 bars-g, ou 0,15 bars/m en supposant une profondeur de sabot de 262 m ;
  - Ne pas tester à une valeur supérieure à 0,17 bar/m. La pression maximum de test en surface est de 5 bars-g ;
  - La TD de la section en 17-1/2" pourra être ajustée en fonction des résultats du Leak-Off Test.
7. Forer en directionnel jusqu'à la côte du KOP de 152 m en utilisant les paramètres : 10-30 WOB, RPM aussi élevée que permise par le déviateur, 3800L/mn.
  - Pompage d'un bouchon visqueux à chaque connexion
  - Noter les PU/SO/ROT (poids en montant, poids en descendant, poids en rotation) à chaque connexion ;
  - Forage à la boue ;
  - Contrôler en permanence les retours de circulation et les concentrations de gaz ;
  - Si des pertes importantes sont observées, les traiter avec des produits colmatants (lost circulation material – LCM) ou des bouchons de ciment ;
  - Echantillonnage des déblais selon le pas fixé.
8. Circuler un minimum de 2 bottom up jusqu'à un retour propre ;



9. Remontée au jour de la garniture. Si la traction (drag) dépasse 10 kips, procéder à un alésage du puits. Si la traction est normale, préparer la descente du casing. Si la traction est significative, redescendre la garniture au fond et circuler pour nettoyer le puits ;
  - Si un alésage est nécessaire, utiliser : outil 17-1/2", near-bit stabilisateur 17-3/8", Drill-collars 8", String stabilisateur 17-1/4". Aléser le puits jusqu'à TD. Circulation avec 2 bottom up ; remontée de la garniture ;
10. Préparer la descente du cuvelage 13-3/8" par la société OES. Inspection visuelle des filetages des cuvelages et contrôle du diamètre interne. Installation du matériel de vissage ;
11. Descente du cuvelage à TD (voir colonne prévisionnelle sur Figure 23 page 44) ;
  - a. Mettre du frein filet (Baker Lock) sur les connexions des 4 premiers casings. Appliquer une fine couche sur 50% maximum de la hauteur des filetages mâles. Ne pas mettre de graisse de visage sur les connexions mâles ou femelles de ces casings ;
  - b. Appliquer de la graisse de visage certifiée API sur les connexions des tubages suivants. Appliquer une fine couche côtés mâle et femelle en veillant à ce que le filetage reste visible ;
  - c. Vissage jusqu'à la base du triangle ;
  - d. A minima, descente du dernier tubage en circulation ;
12. Mise en place de la colonne sur cales et descente des tiges de forage 4-1/2" avec centreurs. Arrêter la descente 1m avant l'anneau, circuler pendant 2 minutes, puis engager le stinger dans l'anneau. Circuler pour nettoyage et refroidissement du puits. Vérifier le bon centrage du tubage en surface avant cimentation ;
13. Pompage du ciment préparé selon programme (voir Tableau 17 page 47). Contrôle continu des retours. Attente pour séchage. En cas d'absence de retour du ciment après pompage du volume prévu, préparer et réaliser une cimentation complémentaire à partir de la surface. Purger et vérifier le bon fonctionnement des soupapes. Remontée au jour du stinger. Démobilisation du matériel de cimentation.
14. Découper le cuvelage 18-5/8" à la base de la cave temporaire. Découper le cuvelage 13-3/8" à la bonne hauteur et souder la bride 12" 600 de la vanne maîtresse. Vérifier que la hauteur de découpe du cuvelage 13-3/8" positionne la vanne maîtresse à la bonne hauteur.



GEOGUIDANCE DRILLING OBSERVER, INC.				Bottom Hole Assembly				ORMAT					
Job #		Rig	Ormat 117		BHA Length (Usft)	749.50							
Operator	ORMAT	BHA #	2		BHA Weight dry (kibs)	45.96							
Well	New Actual Well	Bit #			BHA Weight Bouyed (kibs)	39.79							
Field	GUADELOUPE	Depth In (Usft)	0.00		Wt. Below Jars dry (kibs)	28.20							
Date In		Depth Out(Usft)	0.00		Wt. Below Jars Bouyed (kibs)	24.41							
Date Out		Drilled(Usft)	0.00		Drilling / Circ Hours	0.00 / 0.00							
Sensor Offsets													
Survey Offset		N/A		Gamma Offset		N/A		Gyro Offset		N/A			
#	SN	Description	OD (in)	ID (in)	FN OD (in)	FN Length (Usft)	Crx Up	Crx Dn	Unit Weight (ft/lbs)	Comp Weight (kibs)	Total Weight (kibs)	Length (Usft)	Total Length (Usft)
1		Drill Pipe	4.500	3.500	0.000	0.00			22.820	4.11	4.11	180.00	180.00
2		(12) 4 1/2 HWDP	4.500	2.750	0.000	0.00			41.000	14.76	18.87	360.00	540.00
3		Jars	6.500	2.500	-1.000	-1.00			100.000	3.00	21.87	30.00	570.00
4		Rig DC	6.500	2.500	0.000	0.00			100.000	3.00	24.87	30.00	600.00
5		XD 8	8.000	2.875	-1.000	-1.00			125.000	0.37	25.24	3.00	603.00
6		Rig Collar	8.000	2.500	0.000	0.00			150.000	4.50	29.74	30.00	633.00
7		Shock Sub	8.000	2.500	-1.000	-1.00			150.000	1.50	31.24	10.00	643.00
8		8002 NMDC	8.000	3.250	-1.000	-1.00			145.161	4.50	35.74	31.00	674.00
9		8002 NMDC	8.000	3.250	-1.000	-1.00			145.161	4.50	40.24	31.00	705.00
10		8001 UBHO	8.000	3.000	-1.000	-1.00			150.000	0.45	40.69	3.00	708.00
11		String Stabilizer	20.750	3.250	-1.000	-1.00			250.000	2.50	43.19	10.00	718.00
12		9 5/8 Combo Colossus	10.000	2.000	0.000	0.00	6 5/8 REG	7 5/8 REG	216.667	6.50	49.69	30.00	748.00
13		17.5 Drill Bit	17.500	3.000	0.000	0.00	7 5/8 REG		250.000	0.38	50.07	1.50	749.50

Tableau 24 : Composition prévisionnelle de la garniture de forage directionnelle en 17-1/2”.

## X.5. PHASE DE FORAGE EN 12-1/4" ET MISE EN PLACE DU LINER 9-5/8"

### X.5.1 Analyse de risques

Une analyse des problèmes techniques et des risques d'échec pendant la phase de forage en 12-1/4" et de mise en place du cuvelage 9-5/8" a été faite et des mesures permettant d'y remédier ont été identifiées (Tableau 25).

<b>Risques identifiés</b>	<b>Mesures identifiées pour y remédier</b>
<i>Pertes de circulation</i>	Circuler avec l'eau de mer et pomper des bouchons visqueux afin de nettoyer le puits. Considérer une garniture directionnelle montante si le puits a tendance à se colmater.
<i>Coincement de la garniture</i>	Pompage d'un bouchon visqueux à chaque connexion Surveiller les signes d'augmentation du Torque et de frottement (drag) En cas de coincement, la première action à mettre en œuvre est l'usage de la coulisse (jar), tout en maintenant la circulation si possible.
<i>Faible vitesse d'avancement (ROP)</i>	Ajustement des paramètres de foration (WOB poids sur l'outil ; RPM vitesse de rotation)
<i>Impossibilité de descendre le cuvelage à la cote prévue (TD)</i>	Réaliser un alésage du puits avec une garniture rigide (packed hole assembly) Circuler 2 bottom up avant de remonter la BHA.
<i>Vibrations élevées lors de la foration</i>	Augmenter le poids sur l'outil (WOB) et procéder à une analyse MSE (Mechanical Specific Energy) afin d'affiner les paramètres de forage. Choix d'un outil permettant d'augmenter le WOB sans augmenter le torque

Tableau 25 : Risques identifiés et mesures adoptées pour y remédier lors de la phase de forage en 12-1/4" et de mise en place du liner 9-5/8".

### X.5.2 Travaux préparatoires

1. Calibrer les casings 9-5/8" avec un drift API de diamètre minimum de 8.679" ;
2. Nettoyer les connexions à haute pression et avec un détergent et s'assurer qu'elles sont débarrassées de tout corps étranger ;
3. Retirer les slips du liner hanger
4. Ne pas préparer de boue pour cette phase. Diluer la boue existante jusqu'à ce que des pertes soient rencontrées.
5. Informer la DEAL au minimum deux jours avant l'opération de descente du liner 9-5/8".



### **X.5.3 Procédure opérationnelle**

1. Mise en place de la vanne maîtresse 12'' 600 sur la bride de la casing head ;
2. Installation du BOP 13-5/8'' ;
3. Fermeture du BOP et test en pression du casing jusqu'à 55 bars-g. La perte de pression doit être inférieure à 10% après 15 minutes ;
4. Assemblage de la garniture directionnelle avec outil PDC 12-1/4'' (voir Tableau 26);
5. Descente de la garniture dans le puits et circuler au niveau du dernier stand;
6. Forage ciment et équipements de cimentation jusqu'à 2,5 m sous le sabot. Vérifier la densité de la boue en entrée et en sortie. Remontée dans le casing 13-3/8''. Procéder à un Leak-Off Test de la façon suivante :
  - Pression minimum de fracturation requise de 41 bars-g, ou 0,07 bar/m en supposant une profondeur de sabot de 612 m ;
  - Ne pas tester à une valeur supérieure à 0,13 bar/m. La pression maximum de test en surface est de 5 bars-g ;
  - Si des pertes ont été rencontrées lors du forage de la phase précédente, procéder au forage du sabot et si le puits reste plein, poursuivre le forage de la formation ;
7. Forer en directionnel jusqu'à la côte TD de la section (1280 m) en utilisant les paramètres : 10-30 WOB, RPM aussi élevée que permise par le déviateur, 3800L/mn.
  - Pompage d'un bouchon visqueux à chaque connexion
  - Noter les PU/SO/ROT (poids en montant, poids en descendant, poids en rotation) à chaque connexion ;
  - Contrôler en permanence les retours de circulation et les concentrations de gaz ;
  - Echantillonnage des déblais selon le pas fixé.
  - Forage à la boue jusqu'à ce que des pertes soient rencontrées. Ensuite forer à l'eau de mer traitée et en envoyant régulièrement des bouchons de polymères ;
  - TD à fixer par le géologue ;
8. Circuler un minimum de 2 bottom up jusqu'à un retour propre ;
9. Remontée au jour de la garniture.

### **X.5.4 Test d'injectivité et essai de production**

10. Lorsque la côte finale sera atteinte (1280 m), une imagerie de paroi sera réalisée au niveau de la section forée en 12-1/4'' avant de descendre le liner afin de repérer et mesurer l'orientation des fractures perméables. Géothermie Bouillante dispose d'une unité de logging.
11. Un test « water loss » et un test d'injectivité par palier pourront être réalisés si les conditions du puits le permettent et s'il apparaît nécessaire d'évaluer la perméabilité du puits avant de descendre le liner 9-5/8''.
12. Suite à la mise en place du liner 9-5/8'', un essai de production pourra être réalisé pour mesurer l'Index de Productivité du puits et tracer sa courbe caractéristique.



#### **X.5.5 Procédure de mise en place du liner 9-5/8''**

13. Préparer une garniture d'alésage avec : outil 12-1/4'', near-bit stabilisateur 12-1/8'', Drill-collars 8'', String stabilisateur 12''. Aléser le puits jusqu'à TD. Circulation avec 2 bottom up pour s'assurer que le puits est suffisamment refroidi pour la descente du liner ; Remontée de la garniture ;
14. Préparer la colonne prévisionnelle du liner (voir Figure 24 page 45) ;
15. Mise en place du liner 9-5/8'' jusqu'à la côte finale :
  - Mettre du frein filet (Baker Lock) sur les connexions des 4 premiers casings. Appliquer une fine couche sur 50% maximum de la hauteur des filetages mâles. Ne pas mettre de graisse de vissage sur les connexions mâles ou femelles de ces casings ;
  - Appliquer de la graisse de vissage certifiée API sur les connexions des tubages suivants. Appliquer une fine couche côtés mâle et femelle en veillant à ce que le filetage reste visible ;
  - Vissage jusqu'à la base du triangle ;
  - A minima, descente du dernier tubage en circulation ;
16. Préparer le liner hanger 9-5/8'' x 13-3/8'' de Project Engineering Mechanical et mise en place à l'aide des drill pipes 4-1/2''.
  - Pas de rotation à droite des drill pipes (tiges de forage) pour éviter de décrocher le liner Hanger
  - Suivre la procédure de mise en place préconisée par Project Engineering Mechanical (voir Annexe 3 page 93).
17. A la côte déterminée, rotation à droite des drill pipes afin de libérer le liner hanger. Remontée des drill pipes.
18. Fermeture de la vanne maîtresse.
19. Démontage du BOP
20. Transfert de la machine de forage sur le prochain puits.



Job #		Operator		Well		Field		Date In		Date Out		Rig		Omat 117		BHA Length (Usft)		1944.50	
		ORMAT		New Actual Well		GUADELOUPE								3					
																BHA Weight dry (klbs)		48.17	
																BHA Weight Bouyed (klbs)		41.70	
																Wt. Below Jars dry (klbs)		33.71	
																Wt. Below Jars Bouyed (klbs)		29.18	
																Drilling / Circ Hours		0.00 / 0.00	
Sensor Offsets																			
Survey Offset				N/A		Gamma Offset				N/A		Gyro Offset		N/A					
#	SN	Description	OD (in)	ID (in)	FN OD (in)	FN Length (Usft)	Cnx Up	Cnx Dn	Unit Weight (ft/lbs)	Comp Weight (klbs)	Total Weight (klbs)	Length (Usft)	Total Length (Usft)						
1		43 JNTS 4.5 DP	4.500	3.000	0.000	0.00	4 1/2 NC46	4 1/2 NC46	22.820	30.42	30.42	1333.00	1333.00						
2		9 4.5 HMWP	4.500	3.000	0.000	0.00	4 1/2 NC46	4 1/2 NC46	42.000	11.72	42.14	279.00	1612.00						
3		16 1/2 JAR	6.500	2.500	0.000	0.00	4 1/2 NC46	4 1/2 NC46	88.600	2.75	44.88	31.00	1643.00						
4		3 4.5 HMWP	4.500	3.000	0.000	0.00	4 1/2 NC46	4 1/2 NC46	42.000	3.91	48.79	93.00	1736.00						
5		16 1/2 DC	6.500	3.000	0.000	0.00	4 1/2 NC46	4 1/2 NC46	88.600	2.66	51.45	30.00	1766.00						
6		8" X0	8.000	3.000	0.000	0.00	4 1/2 NC46	6 5/8 REG	150.500	0.45	51.90	3.00	1769.00						
7		2 8" DCS	8.000	3.000	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	150.500	9.03	60.93	60.00	1829.00						
8		8" SHOCK SUB	8.000	3.000	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	150.500	1.81	62.74	12.00	1841.00						
9		2 8" NMDC	8.000	3.250	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	150.500	9.33	72.07	62.00	1903.00						
10		8" UBHO	8.000	3.000	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	150.500	0.53	72.59	3.50	1906.50						
11		STRING STABILIZER	12.000	3.000	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	200.000	1.20	73.79	6.00	1912.50						
12		8" COLOSSUS MOTOR	8.000	1.500	0.000	0.00	6 5/8 REG	6 5/8 REG	150.000	4.50	78.29	30.00	1942.50						
13		PDC BIT	12.250	3.000	0.000	0.00	6 5/8 REG		150.000	0.30	78.59	2.00	1944.50						

Tableau 26 : Composition prévisionnelle de la garniture de forage directionnelle en 12-1/4".



## XI. MOYENS D'INTERVENTIONS EN CAS DE BLOCAGE DE LA GARNITURE DANS LE PUIT

### XI.1. INTRODUCTION

En cours de forage, il arrive parfois que la garniture reste coincée dans le puits. Ce risque doit être pris en compte et les mesures appropriées pour y faire face doivent être définies au niveau du programme de forage.

Cet évènement en cours de forage fait partie de la liste des situations et opérations qui doivent faire l'objet d'une information spécifique auprès de la DEAL.

Ce risque est présent pour les phases de forage profondes. Par contre, il n'est généralement pas considéré pour la première phase de forage superficielle.

### XI.2. MOYENS D'INTERVENTION

#### XI.2.1 Mise en œuvre de la coulisse

En cas de coincement, la première action à mettre en œuvre est l'usage de la coulisse (jar). Cet équipement est obligatoirement inséré au niveau des garnitures de forage (voir par exemple la composition prévisionnelle des garnitures de forage des phases 21'' et 17-1/2'' (Tableau 22 et Tableau 24).

#### XI.2.2 Mise en œuvre d'explosifs

Si la mise en œuvre de la coulisse n'a pas permis de décoincer la garniture, il est prévu de mettre en œuvre des équipements comportant des charges explosives. Il s'agit d'une pratique standard dans le cadre d'un chantier de forage profond. Deux types d'intervention sont possibles :

- La première consiste à descendre à l'intérieur des tiges de forage une charge explosive de faible importance au niveau de la connexion entre deux tiges que l'on souhaite dévisser. Le souffle de l'explosion « décoince » le serrage et facilite le dévissage ;
- La seconde consiste à descendre à l'intérieur des tiges de forage une charge explosive plus importante dont l'explosion est destinée à sectionner (severing) la tige de forage et permettre la remontée partielle de la garniture.

La mise en œuvre de ces interventions avec des explosifs est considérée comme une opération standard en forage. Lorsqu'un maître d'œuvre doit mettre en œuvre une telle opération, il sollicite une société de services spécialisée pour ce type d'intervention. Et c'est la société de services, dans la mesure où elle possède les habilitations nécessaires, qui se charge de toutes les formalités administratives liées au transport et à la mise en œuvre des équipements contenant des charges explosives.

Dans la pratique, en métropole, la société de services prélève l'équipement ou les équipements contenant des charges explosives dans son stock sécurisé, les charge dans son camion d'intervention, assure le transport jusqu'au site de forage, met en œuvre les explosifs en s'entourant des mesures de sécurité nécessaires, et revient à sa base avec éventuellement des équipements non utilisés.



Part #	Pieces	BOX	QTY	Description	Approvals	UN	Class.	Comments	Net Weight Kg	Gross Weight Kg
<b>OWEN OIL TOOLS</b>										
PAC-1562-457	1	1	20	PERF 1-9/16IN PAC CIRC. 5/8 -3/4 HMX <b>Puncher - Circulating Charge</b>	EX-1994050290	0440	1.4D Charges, Shaped	20 Charges per box. 1 Box = 14"x7"x7" NET Weight = 0,91 Kg (per box) Gross Weight = 1,36 Kg (per box)	0,91	1,36
PAC-1562-455	2	1-2	40	PERF 1-9/16IN PAC CIRC. 1/2-5/8 HMX <b>Puncher - Circulating Charge</b>	EX-1994050290	0440	1.4D Charges, Shaped	20 Charges per box. 1 Box = 14"x7"x7" NET Weight = 0,91 Kg (per box) Gross Weight = 1,36 Kg (per box)	1,82	2,72
A545015	1	4	500 ft	FIRELINE 8/40 HMX LS RIBBON 1.4D AIRPACK 500 FT. <b>Puncher - Detonating Cord</b>	EX-19995050048	0289	1.4D	FIREPAK air cargo shipping container, 29"x17"x27" NET Weight = 2,60 Kg (per box) Gross Weight = 19,70 Kg (per box)	2,60	19,70
DET-3050-125S	1	5	10	DET ASSY - I-161 CRIMP-ON <b>Puncher - Electric Detonator</b>	EX-1985120219	0456	1.4S	Box Dimensions 17"x13"x9" NET Weight = 0,09 Kg GROSS Weight = 1,36 Kg	0,09	1,36
CRT-3030-400JV	10	6-15	300	PELLET, HMX, 2 IN OD DUAL FIRE SEVERING TOOL <b>Severing tool - for DP 4" to 6"</b>	EX2000030156	0352	1.4D	box 14"x14"x11" NET Weight = 0,70 Kg GROSS Weight = 5,90 Kg	7,00	59,00
2-300180-3	1	16	10	CLCP EBW DETONATOR (EBW-PSC1-401) <b>Severing Tool - Detonator</b>	EX-2004100104	0456	1.4S	Box Dimensions 13"x10"x7" NET Weight = 0,04 Kg GROSS Weight = 5,90 Kg	0,04	5,90
DET-3050-001	1	17	10	DET ASSY - UNI-DET <b>Back Off - Exposed Electric Detonator</b>	EX-2011070175	0456	1.4S	Box Dimensions 14"x14"x8" NET Weight = 0,29 Kg GROSS Weight = 16,33 Kg	0,29	16,33
A576015	1	18	500 ft	FIRELINE 17/80 HMX EXPOSED 1.4D <b>Back Off - Exposed Detonating Cord</b>	EX-2007060067	0289	1.4D	FIREPAK air cargo shipping container, 29"x17"x27" NET Weight = 5 Kg (per box) Gross Weight = 21,90 Kg (per box)	5,00	21,90
SDP-1687-402NT3	1	19	50	Perf. 1-11/16" SDP Hero, HMX <b>Super deep Penetration Charge - Circulating Charge</b>	EX1994050290	0440	1.4D Charges, Shaped	50 Charges per box, 14"x14"x8" NET Weight = 2,27 Kg (per box) Gross Weight = 4,54 Kg (per box)	2,27	4,54
									<b>20,02</b>	<b>132,81</b>

Tableau 27 : Liste et caractéristiques des équipements comportant des matières explosives qui seront approvisionnés en Guadeloupe dans le cadre du forage des puits BO-12, BO-8 et BO-9.



#### **XI.2.2.1 Nature des explosifs**

La liste et les caractéristiques des équipements comportant des matières explosives qui seront approvisionnés en Guadeloupe pour faire face à un éventuel coincement de la garniture dans le puits lors du forage des puits BO-12, BO-8 et BO-9, sont fournies dans le Tableau 27. Il s'agit :

- De charges explosives ;
- De cordons détonateurs ;
- De détonateurs électriques.

La quantité totale de matière explosive est de 20,02 kg.

#### **XI.2.2.2 Approvisionnement**

Ces équipements comportant des matières explosives seront approvisionnés en Guadeloupe pour faire face à un éventuel coincement de la garniture dans le puits lors du forage du puits BO-12 et des deux puits suivants BO-8 et BO-9.

Ils seront fournis par la société française SDP dont les coordonnées sont les suivantes :

SDP (Société de Diagraphies et de Perforations)  
Z.A. Pense Folie  
45220 Château-Renard  
Tel : 02 38 95 64 35  
Contact : Monsieur Frank Raigneau, Directeur Général

Cette société dispose de toutes les habilitations nécessaires pour l'achat, le transport et la mise en œuvre de matières explosives sur des chantiers de forage.

En cas de non-utilisation, ces explosifs seront réexpédiés en métropole.

#### **XI.2.2.3 Transport et Stockage**

Ces équipements seront conditionnés par la société SDP dans un container spécial pour le transport maritime entre sa base à Château-Renard et la Guadeloupe.

A son arrivée en Guadeloupe, le container avec les explosifs sera pris en charge par la Société SODIMAT qui est habilitée à transporter et à stocker des matières explosives sur son site de stockage sécurisé à Baie-Mahault :

SODIMAT S.A.  
3 rue Thomas Edison – Z.I. de Jarry  
97122 Baie Mahault.  
Tel. : 05 90 26 60 58  
Contact : Monsieur Pierre-Henri Ffrench, Responsable Département Explosifs

Les explosifs seront stockés à la SODIMAT pendant leur séjour en Guadeloupe.

#### **XI.2.2.4 Mise en œuvre sur le chantier de forage**

La mise en œuvre des explosifs est envisagée uniquement en cas de coincement de la garniture de forage dans un puits. C'est un type d'évènement dont la probabilité d'occurrence est faible. Il sera systématiquement porté à la connaissance de la DEAL.



La mise en œuvre des explosifs sur le chantier sera assurée par des personnels de la société SDP (boutefeux) qui disposent des habilitations nécessaires au regard de l'arrêté n°2010/3386/DIMENC du 28 décembre 2010 et de l'arrêté n°368 du 15 mai 1985 et qui appliqueront sur le chantier de forage les procédures de sécurité requises pour ce type d'opération. La procédure qui sera appliquée est la suivante :

1. Le personnel de SDP établira la liste des explosifs nécessaires à une intervention dans les puits BO-12 et la transmettra à la SODIMAT ;
2. Le transport des explosifs depuis l'entrepôt de la SODIMAT à Baie-Mahault jusqu'au site de forage à Bouillante sera assuré par la SODIMAT qui dispose d'une habilitation pour ce type d'activité et possède des véhicules pour ce type de transport ;
3. Sur le chantier de forage à Bouillante, la réception des explosifs sera faite par le personnel habilité de SDP ;
4. Les explosifs seront transférés du véhicule de la SODIMAT vers un container sécurisé de SDP placé dans un secteur du chantier à l'écart des zones de circulation des personnels et de manœuvres (voir Figure 28). L'emplacement sera délimité, clairement identifié comme un site de stockage temporaire d'explosifs et strictement interdit d'accès à toute personne excepté le personnel de la société SDP ;
5. Ce container sera sous la surveillance constante du personnel de la société SDP sur le chantier qui par ailleurs fonctionnera et sera gardé 24hx24h ;
6. Durant toute l'opération, l'accès au plancher de la machine de forage sera limité au personnel de la société SDP et au personnel de forage strictement nécessaire à l'opération. Les autres personnels seront évacués au-delà de la zone considérée à risque, conformément aux pratiques mise en œuvre sur les chantiers de forage en France ;
7. A la fin de l'opération, le personnel de SDP assurera le transfert des explosifs non utilisés du container sécurisé vers le véhicule de la SODIMAT qui sera chargé de ramener ces explosifs au site de stockage de la SODIMAT à Baie-Mahault.  
En cas d'indisponibilité d'un véhicule de transport, il est prévu que les explosifs soient maintenus sur le chantier à l'intérieur du container sécurisé et sous la surveillance du personnel de la société SDP ou d'un gardien. Ce stockage temporaire ne pourra excéder 24 heures.

#### **XI.2.2.5 Fin des travaux de forage**

Il est prévu que le stock de matières explosives soit maintenu en Guadeloupe jusqu'à la fin du forage du troisième puits.

Lorsque les travaux de forage seront terminés, les explosifs restants seront rapatriés vers l'entrepôt sécurisé de la société SDP en métropole. Les différentes étapes de leur transport seront supervisées par la société SDP.



Figure 28 : Illustration du container de la société SDP qui sera utilisé pour le stockage sécurisé des explosifs sur le chantier de forage à Bouillante.



## XII. TESTS DE COURTE DUREE A LA FIN DU FORAGE

A la fin du forage, le puits fera l'objet d'un programme de mesures et de tests de courte durée (environ 5 jours) en vue de déterminer sa productivité et/ou son injectivité. Ce programme comportera un certain nombre de phases classiques :

1. une diaggraphie d'imagerie de paroi ;
2. un test « water-loss » ;
3. un test d'injectivité ;
4. une mise en décharge du puits (dégorgement) suivi d'un test de production de courte durée ;
5. une série de profils de mesures de pression et température pendant la phase de réchauffement (warm-up) des puits ;

Ces différentes activités sont décrites ci-après. A noter que ce programme de test est classique pour l'ensemble des puits géothermiques haute température, quel que soit leur devenir (producteur ou injecteur).

### XII.1. DIAGRAPHIES D'IMAGERIE DE PAROI

Cette diaggraphie a pour objectif d'identifier les fractures à la paroi du puits et de mesurer leur azimut et leur pendage. Ces informations permettront au géologue de compléter le modèle géologique et structural du champ, de déterminer l'orientation des failles qui contrôlent la circulation des fluides et qui seront des cibles pour les forages suivants.

Elle sera réalisée à la fin du forage en trou nu dans la section en 12"1/4, avant la mise en place du liner crépiné en 9"5/8. Sa durée est de 1 jour environ.

### XII.2. TEST « WATER-LOSS »

Ce test consiste à injecter de l'eau froide dans le puits (eau de mer ou fluide géothermal refroidi si disponible) et réaliser simultanément des diaggraphies de température, pression et de débitmétrie. Ces diaggraphies permettent de localiser les zones perméables qui absorbent l'eau injectée froide et qui seront des zones productrices potentielles. La localisation des zones perméables dans le puits permet de positionner au mieux les portions de liner crépiné et de liner non crépiné en 9"5/8. Sa durée est de 1 jour environ.

### XII.3. TEST D'INJECTIVITE

Le test d'injectivité consiste à injecter de l'eau dans le puits sous trois paliers de débit croissant durant une heure chacun environ. Pendant le test, une sonde de pression est positionnée dans le puits à la hauteur de la principale zone perméable, afin de mesurer les variations de pression au niveau du réservoir en fonction du débit d'injection. Ces mesures permettront de calculer l'index d'injectivité du puits qui reflète la perméabilité (faible ou élevée) des zones perméables. Ce test dure environ 1 jour.



A la fin du test, lorsque l'injection d'eau est stoppée, la sonde de pression mesure le retour à l'équilibre du réservoir (mesure de la décroissance hydraulique ou Test de Fall Off). De ce test, seront déduits des paramètres hydrogéologiques du puits et du réservoir tels que : l'index d'injectivité, la transmissivité, le facteur de skin, le facteur d'emmagasinement (storativity), etc...

#### **XII.4. DEGORGEMENT DU PUIS ET MISE EN PRODUCTION DE COURTE DUREE**

Après le test d'injectivité, le puits sera mis en décharge pendant 2-3 heures afin de le nettoyer de la boue de forage et des fragments de déblais de forage qui se seraient infiltrés dans les niveaux perméables (dégorgement). Puis un essai de production de courte durée sera réalisé (1 ou 2 jours).

La ligne d'essai sera composée d'une conduite de décharge qui sera mise en place entre la tête de puits et un séparateur atmosphérique cyclonique qui sera installé sur la plateforme. Un schéma de cette ligne d'essai est donné sur la Figure 29.

Pour limiter le bruit de la décharge du fluide géothermal diphasique (eau + vapeur) au niveau du séparateur atmosphérique, plusieurs aménagements seront faits (Figure 29) :

- la conduite et le tube de décharge qui relieront la tête de puits au séparateur seront en gros diamètre (DN300) afin de réduire la vitesse de l'écoulement et donc le bruit ;
- le séparateur sera entouré sur les 2/3 de sa hauteur par un mur en béton ;
- à l'intérieur du séparateur, un ou plusieurs gabions de pierre seront disposés afin de disperser le jet de vapeur et réduire encore le bruit.

Enfin, pour supprimer le panache de vapeur à la sortie de la cheminée du séparateur, un système d'aspersion à l'eau de mer sera mis en place afin de condenser la phase vapeur; ce qui aura également pour effet de réduire le bruit.

A titre préventif, un système de traitement du gaz H<sub>2</sub>S présent dans la phase vapeur sera mis en place, prévoyant l'injection d'eau de javel ou de soude (ou tout autre oxydant puissant) dans la conduite de décharge pour neutraliser si nécessaire ce gaz avant la décharge du fluide géothermal à l'atmosphère (voir paragraphe suivant).

La phase liquide du fluide géothermal en sortie du séparateur atmosphérique sera évacuée vers le bassin de rétention existant sur la plateforme actuelle (Figure 30). De ce bassin, le trop-plein sera évacué via un caniveau dans la Ravine Blanche.

Des rejets ponctuels de fluide géothermal ont déjà lieu dans la Ravine Blanche lors des phases transitoires d'arrêt et de remise en marche des installations. Lors des phases d'arrêt, les puits producteurs BO-5 et BO-6 sont maintenus en température grâce à un petit débit de fuite. Le fluide géothermal est déchargé dans un bassin de rétention situé sur la plateforme des puits. En cas de trop-plein, ce dernier est évacué vers la Ravine Blanche en contrebas de la plateforme des puits par un caniveau bétonné de 50 mètres de long environ. Le long du trajet, le fluide se refroidit à température ambiante. Ces opérations sont réalisées avec une fréquence d'environ 30 fois par an.

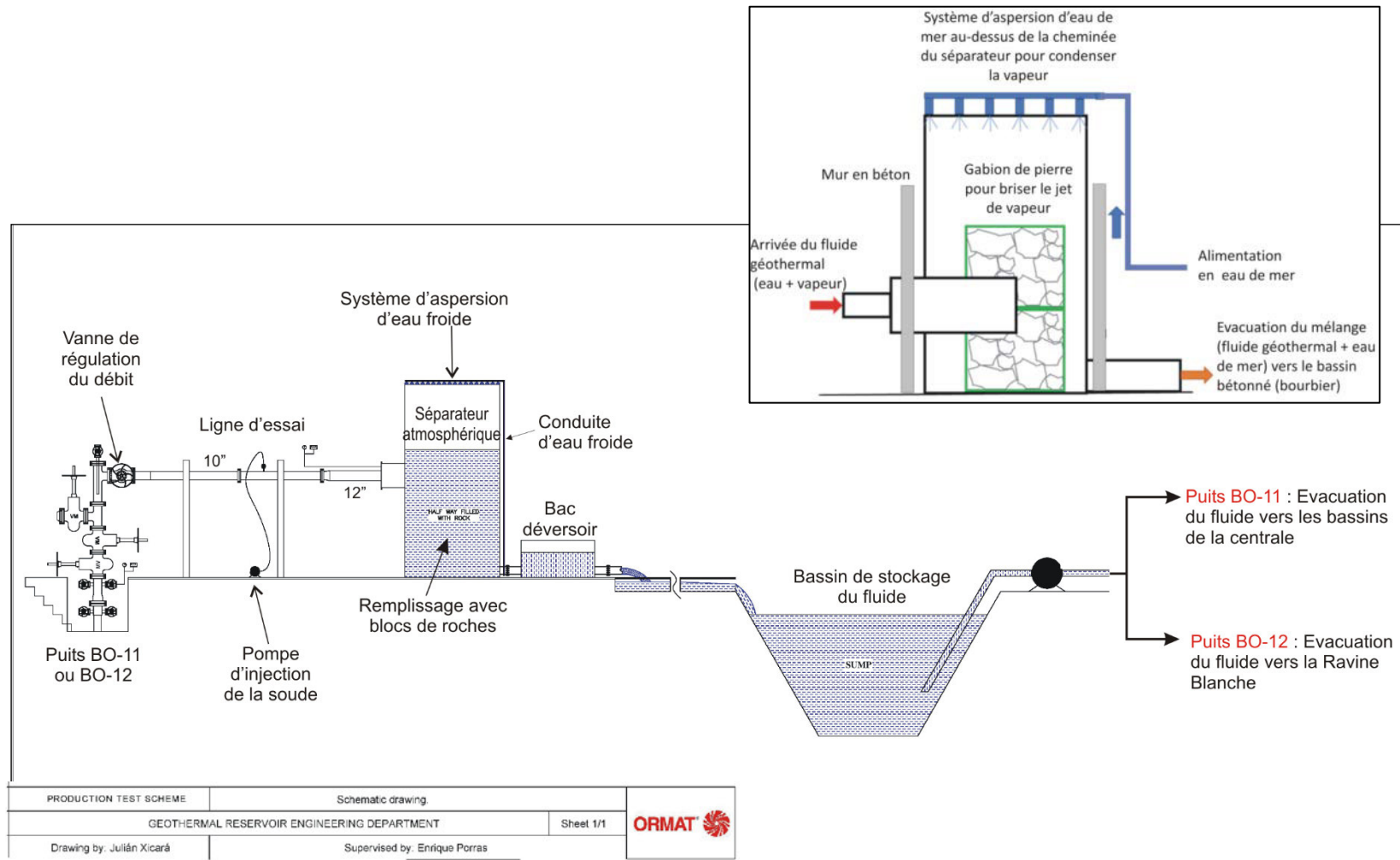


Figure 29 : Schéma de la ligne d'essai utilisée pour les essais de production des puits BO-11 et BO-12 (d'après un document de Ormat).

Encart : Détails des aménagements apportés au séparateur atmosphérique afin de réduire les nuisances sonores et visuelles liées à la décharge du fluide géothermal.

La Ravine Blanche n'est pas un cours d'eau permanent. Elle présente un écoulement seulement en cas de périodes de pluies intenses durant la saison cyclonique. Le rejet de fluide géothermal se fait donc habituellement sur le substrat sablo-caillouteux constituant le lit de la ravine. Le fluide s'infiltré dans le lit de la ravine jusqu'au niveau de la nappe phréatique. Au niveau du bourg de Bouillante, la nappe phréatique apparaît largement contaminée et réchauffée par des remontées de fluide géothermal profond et par des invasions marines si l'on se réfère à la composition des fluides délivrés par les sources thermales (cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). L'impact des rejets ponctuels du fluide géothermal délivré par les puits producteurs BO-5 et BO-6 sur les eaux souterraines est donc insignifiant. De même, en raison de leur infiltration, ils n'ont pas d'impact significatif sur la faune et la flore dans la Ravine Blanche. Il en sera de même pour les rejets temporaires de fluide géothermal lors de l'essai de production de courte durée du puits BO-12.



Figure 30 : Bassin de rétention bétonné sur la plateforme des puits actuelle destiné à recueillir le fluide géothermal déchargé durant les phases transitoires d'ouverture et de chauffe des puits, et de maintien en température.

## XII.5. LE SYSTEME DE TRAITEMENT DU GAZ H<sub>2</sub>S

A titre préventif, un système de traitement du gaz H<sub>2</sub>S présent dans la phase vapeur sera mis en place, prévoyant l'injection d'eau de javel ou de soude caustique (ou tout autre oxydant puissant) dans la ligne d'essai pour neutraliser ce gaz avant la décharge du fluide géothermal à l'atmosphère (Figure 29).

S'il se révèle nécessaire, ce traitement sera appliqué durant le dégorgement du puits et le test de production de courte durée.

### XII.5.1 Les émissions de gaz H<sub>2</sub>S dans l'atmosphère

Ces émissions sont liées au fait que le fluide géothermique délivré par les puits lors des essais de production de courte durée sera déchargé dans un séparateur atmosphérique. La vapeur sera condensée mais les gaz incondensables qu'elle contient seront émis à l'atmosphère.

A la pression de séparation de 6,5 bars-a, la vapeur géothermique contient un faible pourcentage de gaz (0,4-0,5 % en poids). Le Tableau 28 ci-dessous fournit les résultats de la dernière analyse de gaz prélevé dans la phase vapeur délivrée par les puits BO-5 et BO-6. Parmi les gaz présents, seul l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) est susceptible d'avoir un impact sur l'environnement. Son odeur désagréable est perceptible à partir de la concentration de 0,01 ppm et il est potentiellement dangereux pour la santé humaine.

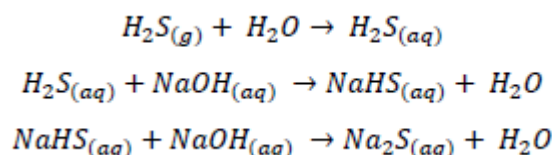
Basée sur les données géochimiques disponibles, la concentration en gaz H<sub>2</sub>S dans le panache de gaz incondensables au-dessus du séparateur est estimée autour de 65 ppm. Cependant, la concentration dans l'atmosphère sur la plateforme des puits devrait être beaucoup plus faible en raison de la dilution dans l'air. Les retours d'expérience précédents lors des essais de production des puits BO-5, BO-6 et BO-7 en 2000-2001 avaient montré que les teneurs en H<sub>2</sub>S étaient faibles et ne représentaient ni une gêne ni un danger pour les personnels et les riverains.

Gaz	Concentration (mg/kg)	Pourcentage pondéral (%)
CO <sub>2</sub>	4700	95,2
H <sub>2</sub> S	103	2,1
H <sub>2</sub>	0,19	<0,001
N <sub>2</sub>	127	2,6
Ar	2,18	<0,001
O <sub>2</sub>	<0,001	<0,001
CH <sub>4</sub>	6,41	0,001

Tableau 28 : Concentration des gaz incondensables présents dans la phase vapeur délivrée par les puits BO-5 et BO-6 à la sortie du séparateur HP à une pression de 6,5 bars-a le 06/02/2018 (Prélèvement et analyse par ISOR ).

### XII.5.2 Traitement des émissions de H<sub>2</sub>S

Le système de traitement qui sera mis en place pour neutraliser le gaz H<sub>2</sub>S utilisera de l'eau de javel ou de la soude caustique liquide (NaOH). 2 moles de NaOH pour 1 mole de H<sub>2</sub>S seront injectées. L'élimination du gaz H<sub>2</sub>S se fera selon les réactions suivantes :



Avec ce traitement, la concentration de gaz H<sub>2</sub>S dans le panache de vapeur sera fortement réduite et proche de zéro.



L'injection de la soude se fera grâce à un piquage sur la ligne d'essai entre la tête de puits et le séparateur atmosphérique (Figure 29). Une pompe ayant un débit de l'ordre de 25 L/h sera installée. Elle injectera à un débit de 10 L/h une solution contenant 50% en poids de NaOH.

### **XII.5.3 Mesures de prévention**

En plus des mesures de réduction des émissions mentionnées ci-dessus, des mesures de prévention seront appliquées pour surveiller les émissions de gaz H<sub>2</sub>S dans l'atmosphère durant les essais de production des puits :

- ⇒ Des kits de mesures (HACH) seront utilisés pour mesurer la concentration de H<sub>2</sub>S dans la vapeur avant et après traitement;
- ⇒ Des détecteurs d'H<sub>2</sub>S seront mis en place en plusieurs endroits de la plateforme des puits afin de surveiller la concentration en H<sub>2</sub>S dans l'atmosphère et alerter en cas de dépassement des valeurs réglementaires ;
- ⇒ Les responsables du chantier disposeront également de détecteurs individuels qui pourront être utilisés pour réaliser des mesures ponctuelles en tout autre endroit du chantier ou des habitations les plus proches ;
- ⇒ Une manche à air sera installée en un point visible du chantier pour indiquer la direction du vent en cas de nécessité d'évacuation du chantier qui se fera toujours dans la direction « au vent » ;
- ⇒ Le personnel sera informé au début des essais des risques afférents au gaz H<sub>2</sub>S et à la conduite à tenir.

### **XII.6. PROFILS DE MESURES DURANT LE RECHAUFFEMENT**

Le puits qui a été refroidi par le fluide de forage pendant la foration puis par l'injection d'eau froide durant le test d'injectivité restera fermé et se réchauffera progressivement pendant plusieurs semaines voire plusieurs mois. Pendant cette phase de réchauffement (warm-up), des profils de température, pression et débitmétrie seront réalisés régulièrement afin de suivre notamment le retour à l'équilibre en température et en pression du réservoir. De ces mesures, seront tirées des informations importantes sur la localisation des zones productrices et leur perméabilité.



### XIII. REMISE EN ETAT DU SITE A LA FIN DES TRAVAUX

A la fin des travaux, la plateforme de forage située sur les parcelles AO 413 et AO 412 est normalement destinée à être pérennisée en tant qu'extension de la plateforme d'exploitation des puits actuelle.

L'ensemble des équipements de forage sera démobilisé et évacué. De même, l'ensemble des déchets sera évacué vers un centre de traitement agréé. Des aménagements concernant la sécurité du puits et son impact sur l'environnement seront réalisés autour du puits :

- ⇒ La clôture sera maintenue ou remplacée par une clôture définitive, en continuité avec la clôture de la plateforme actuelle, de façon à ce que le public ne puisse pénétrer sur le site. Des panneaux interdisant l'accès au public seront mis en place ;
- ⇒ Un éclairage nocturne sera mis en place, en conformité avec les recommandations éventuelles de l'étude faunistique ;
- ⇒ Les surfaces nécessaires à la circulation des engins ou concernées par les travaux d'exploitation et de maintenance seront bétonnées. Le reste sera laissé en herbe de façon à limiter le ruissellement des eaux pluviales ;
- ⇒ Un réseau de collecte des eaux pluviales pérenne sera aménagé de façon à drainer efficacement la plateforme. Des dispositifs déboureur-déshuileur seront mis en place pour traiter ces eaux avant leur rejet au milieu naturel ;
- ⇒ Des margelles en béton seront réalisées sur le pourtour de la cave de façon à éviter tout ruissellement d'eau dans cette cave ;
- ⇒ Une barrière solide sera mise en place autour de la cave de façon à éviter toute collision accidentelle avec des véhicules et engins de chantier ;
- ⇒ La tête de puits sera maintenue par des traverses métalliques prenant appui sur les murs de la cave pour limiter ses mouvements en cas de séisme ;
- ⇒ Le bassin bétonné (bourbier) de 1 000 m<sup>3</sup> construit pour les travaux de forage sera maintenu et utilisé en tant que bassin de stockage des fluides de purge temporaire du puits.

La Figure 31 qui est une vue du puits BO-6 et de la plateforme des puits actuelle, est une bonne illustration de ce que sera la plateforme aménagée autour du futur puits BO-12.



Figure 31 : Vue du puits BO-6 sur la plateforme de Plateau illustrant la tête d'un puits géothermique placée dans une cave bétonnée, munie de vannes d'isolement et connectée à une conduite de transport des fluides calorifugée.

La cave est entourée d'une barrière de sécurité. La tête de puits est maintenue par des traverses métalliques prenant appui sur les murs de la cave pour limiter ses mouvements en cas de séisme.



## XIV. PROGRAMME PREVISIONEL DE FERMETURE DU PUIITS

### XIV.1. PRINCIPE DE L'ABANDON D'UN PUIITS

L'abandon d'un puits implique une série d'opérations destinées à restaurer l'isolation entre les niveaux producteurs du réservoir géothermal et les aquifères superficiels au moyen de bouchons de ciment. Ces bouchons de ciment doivent empêcher la circulation des fluides entre les niveaux perméables, interdire toute possibilité de fuite au jour des effluents, prévenir la pollution et protéger les niveaux aquifères. Considérés comme une barrière fiable dans le temps, leur volume minimum doit être de 1 m<sup>3</sup> et leur hauteur de 50 m minimum (Note Technique DNEMT n° 11 de Novembre 1997). La qualité de la cimentation est assurée par le contrôle des paramètres suivants :

- Continuité de l'injection ;
- Bilan des volumes injectés ;
- Densité du laitier ;
- Nature des additifs ;
- Evolution des pressions.

### XIV.2. DECISION D'ABANDON DU PUIITS BO-12

L'abandon du puits BO-12 peut être décidé dès la fin du forage si les résultats obtenus en termes de perméabilité sont décevants, ou ultérieurement.

En cas de décision d'abandon immédiat du puits BO-12, ce dernier devra être rebouché dans un délai de 2 mois à partir de l'achèvement des travaux de recherches, conformément aux dispositions de l'article 69 de l'Arrêté DEAL du 20 décembre 2019.

En cas d'abandon ultérieur, et conformément à l'article 92 de l'Arrêté DEAL du 20 décembre 2019, Géothermie Bouillante doit en faire la déclaration au moins 6 mois avant les travaux d'abandon.

Dans tous les cas Géothermie Bouillante adressera à la DEAL Guadeloupe une déclaration d'arrêt des travaux qui inclura les éléments suivants :

- un résumé des conditions conduisant à la décision de fermeture du puits ;
- un plan de position et la coupe technique du puits avant rebouchage ;
- la procédure d'abandon de puits qui sera appliquée et un schéma de la coupe technique après rebouchage ;
- les mesures de prévention des risques identifiées, notamment celles concernant la protection des aquifères superficiels.

### XIV.3. PROGRAMME PREVISIONNEL DES TRAVAUX D'ABANDON DU PUIITS BO-12

Le programme de travaux suivant est prévu en cas d'abandon du puits BO-12.

1. Mobilisation et installation de l'appareil de forage ou de work-over et de son environnement.



2. Mise en place de l'appareil sur la cave du puits BO-12. Affichage de tous les permis et numéros de téléphone d'urgence à l'entrée du site. Toutes les masses tiges, tiges de forage et réductions seront contrôlées selon la norme IADC-API Class II, les certificats seront fournis.
3. Injection d'eau salée de densité 1.08 pour neutraliser le puits.
4. Installation d'un BOP 13"5/8 x 3000 avec une kill line et un choke manifold. Réalisation des tests de fonctionnement.
5. Organisation d'une réunion sécurité sur les thèmes suivants : H<sub>2</sub>S, contrôle de puits, règles générales de sécurité, protection de l'environnement, présentation du programme d'abandon, procédures d'urgences et numéro de téléphone importants.
6. Fabrication d'une boue à viscosité élevée. Maintenir le puits en circulation pour le refroidir. Pomper la boue pour remplir le puits jusqu'au niveau producteur le plus profond.
7. Préparation du matériel de cimentation.
8. Pomper un premier bouchon de ciment au niveau du sabot du cuvelage de production 13-3/8", ayant une épaisseur minimum de 50 m de part et d'autre du sabot (voir Figure 32).
9. Attendre le séchage au moins 8h ou lorsque les échantillons témoins de surface sont secs. Descendre les tiges de forage et localiser le sommet du bouchon. Pomper de la boue visqueuse.
10. Pomper un second bouchon de ciment à hauteur du changement de diamètre 18-5/8" - 13-3/8" sur une hauteur minimale de 100 m.
11. Attendre le séchage au moins 8h ou lorsque les échantillons témoins de surface sont secs. Descendre les tiges de forage et localiser le sommet du bouchon. Pomper de la boue visqueuse.
12. Placer un dernier bouchon de ciment dans la partie haute du puits sur une épaisseur minimale de 50 m.
13. Démontage du BOP. Découpe des tubages au fond de la cave et retrait de la casing head. Installation d'une plaque métallique de 15 mm d'épaisseur soudée sur l'un des tubages pour fermer le puits.
14. Démobilisation du matériel.
15. Comblement de la cave au béton.
16. Evacuation des déchets et des produits boue.

La Figure 32 montre la disposition prévisionnelle des trois bouchons de ciment dans le puits BO-12.

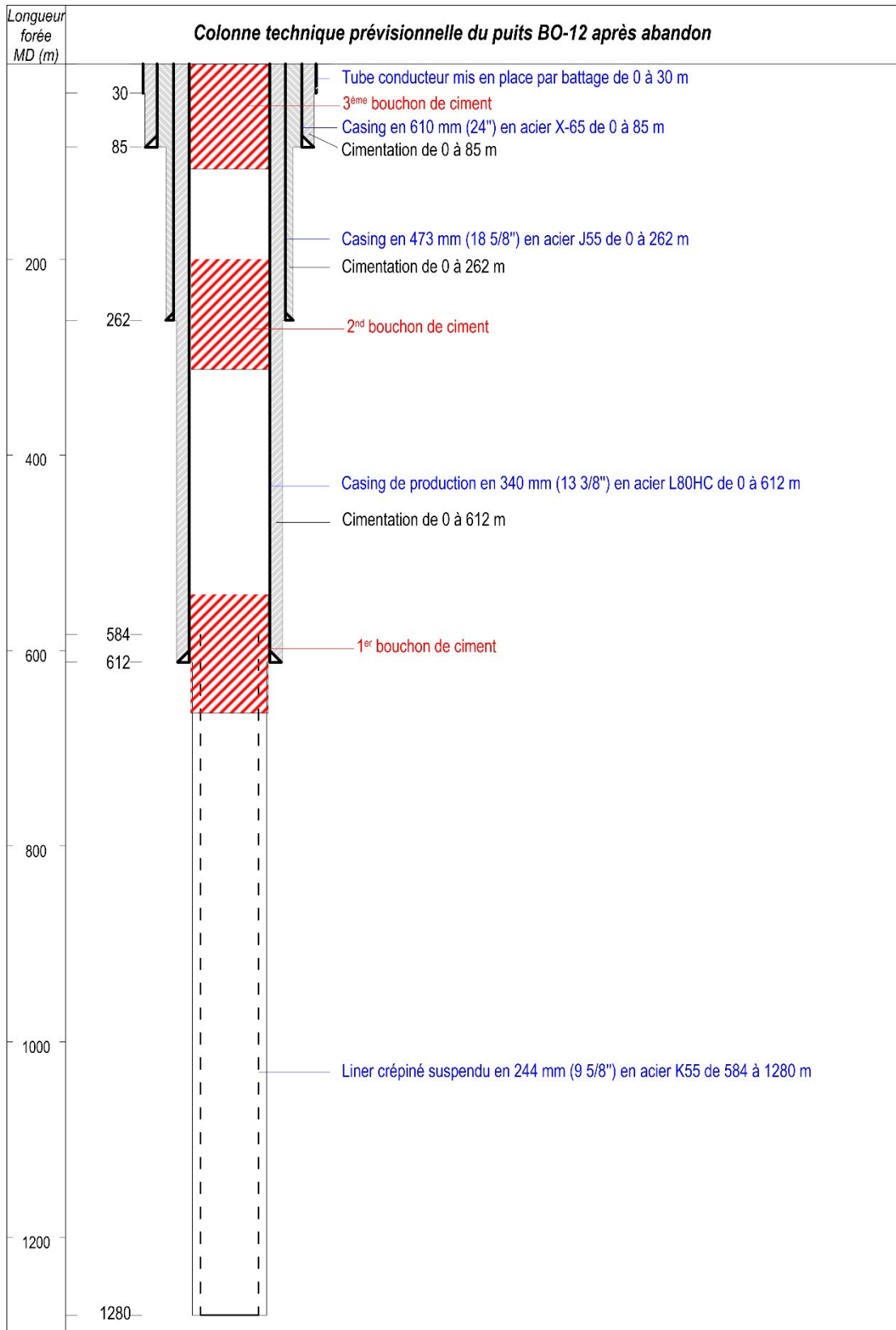


Figure 32 : Colonne technique prévisionnelle du puits BO-12 après abandon, avec la position des trois bouchons de ciment destinés à obturer le puits.



#### **XIV.4. PROTECTION DES AQUIFERES SUPERFICIELS**

Les conditions d'abandon telles que décrites ci-avant garantissent l'étanchéité de l'ouvrage abandonné, même si aucun aquifère superficiel exploitable pour l'alimentation en eau potable ou l'irrigation n'a été mis en évidence dans la zone des travaux :

- ⇒ Les tubages 24", 18-5/8" et 13"5/8 et leurs cimentations annulaires sur toute leur hauteur constitueront des barrières étanches qui isoleront parfaitement le puits des aquifères superficiels ;
- ⇒ La mise en place de plusieurs bouchons de ciment dans le puits isolera parfaitement les aquifères superficiels du réservoir géothermal profond.

#### **XIV.5. INFORMATION CONCERNANT LES TRAVAUX REALISES**

Dans les deux mois qui suivront la fin des travaux d'abandon, Géothermie Bouillante adressera au Préfet et à la DEAL un compte-rendu des travaux.



## XV. SECURITE DES PERSONNELS

### XV.1. INTRODUCTION

Les travaux de forage sont soumis au Règlement Général des Industries Extractives (Décret n°2016-1303 du 4 octobre 2016 abrogeant le décret n°80-331 du 7 mai 1980) et au Règlement de sécurité des travaux de recherche et d'exploitation par sondages des mines d'hydrocarbures liquides ou gazeux (décret n°62-725 du 27 juin 1962).

En outre, l'exploitant doit appliquer les dispositions en matière de sécurité et de protection de la santé prises en application de l'article 28 du décret 2006-649.

A titre d'exemple, le Tableau 29 répertorie les risques prévisibles d'un chantier de forage et les mesures de prévention et consignes applicables.

### XV.2. DOCUMENT DE SANTE ET DE SECURITE

Le Maître d'Ouvrage Géothermie Bouillante a élaboré un Plan Général de Coordination (PGC) pour la période des travaux, conforme au Code Minier, au code du Travail et au Code de l'Environnement. Ce document fixe les principes et l'organisation relative à la sécurité et à la santé. Il détaille également toutes les dispositions nécessaires pour organiser la mission de coordination de la sécurité et de la santé sur le site pendant les travaux.

Un exemplaire du Plan Général de Coordination sera disponible sur le chantier de forage dans le bureau du chef de chantier (superviseur forage ou rig supervisor).

Les Procédures de sécurité utilisées par la société ORMAT sur ses chantiers de forage et rédigées en anglais seront également disponibles dans le bureau du chef de chantier (superviseur forage ou rig supervisor). Des exemples de ces procédures sont fournies en Annexe 4 à Annexe 8.

### XV.3. INFORMATION DES PERSONNELS EN CAS D'URGENCE

Le chantier de forage du puits BO-12 sera réalisé par des personnels de la société ORMAT parlant anglais et/ou espagnol, complétés par des personnels français.

Il est prévu la présence permanente sur site d'au moins une personne bilingue pour assurer si besoin est la communication entre ces personnels et pour assurer la diffusion des alertes en cas d'urgence et pour prévenir les secours de façon fiable (pompiers, ambulance, etc...)

En ce qui concerne les procédures d'urgences et les numéros utiles, il est prévu qu'ils soient affichés et disponibles sur le chantier en français et en anglais.

### XV.4. INFORMATIONS PREALABLES DES ADMINISTRATIONS ET DES SERVICES PUBLICS

Les administrations et services suivants seront informés de l'existence du chantier et prévenus du démarrage des travaux, au moins une semaine à l'avance :

- DEAL Guadeloupe;
- Commune de Bouillante;

- Préfecture de Guadeloupe ;
- Police et gendarmerie locale ;
- Pompiers ;
- Services médicaux d'urgence (SAMU ou SMUR) ;
- Gestionnaires des réseaux d'assainissement ;
- Médecins et pharmaciens les plus proches.

<b>ACTIVITES</b>	<b>RISQUES PREVISIBLES</b>	<b>PREVENTION – CONSIGNES</b>
Tous travaux et chantiers	Tous les risques généraux et spécifiques décrits	Chantier interdit au public.
Tous travaux	Brûlures par incendie, brûlures par contact avec conduites chaudes, par jet de vapeur ou d'eau chaude	Port des équipements de protection individuelle.
Circulation et manœuvres d'engins mécaniques	Accidents de la circulation sur le site du chantier Personnel de chantier trop proche du champ d'action des engins : heurt, écrasement	Respect des règles de circulation, vitesse modérée à réduite sur les voies d'accès, usage des avertisseurs ; Maintien des personnes à une distance suffisante des engins ; Port du casque et de chaussures renforcées.
Manipulation de produits chimiques (acides, soude, eau de javel, huiles, ...)	Risques de brûlures chimiques, d'intoxication par inhalation,	Port des EPI (lunettes, gants, masques,...) Fiche de Sécurité disponibles et à jour Mode de stockage approprié
Opérations de manutention du matériel	Accidents liés à la manutention d'objets	Ne pas stationner sous les charges ; Port obligatoire du casque et des chaussures renforcées.
Travaux en hauteur	Risque de chute Risque lié à la chute d'objet	Port d'un harnais de sécurité ; Utilisation de sacoches à outil ; Limitation de la quantité de personnel au sol .
Tronçonnage, meulage	Risques de lésions	Port des équipements de protection individuelle : casque, chaussures de sécurité, gants de protection, casque antibruit, lunettes.
Présence de gaz toxique	Risques d'asphyxie et/ou d'intoxication	Port d'appareil respiratoire pour travail en atmosphère dangereuse ; Installation de dispositifs de détection de gaz toxiques fixes et dispositifs portables
Accompagnements des visiteurs	Risques liés aux manœuvres d'engins Risques liés aux conduites chaudes	Les visiteurs seront préalablement informés des risques encourus et des mesures de sécurité en vigueur ; Ils devront se conformer à ces mesures et seront obligatoirement accompagnés par un responsable de Géothermie Bouillante au cours de leur visite dans le périmètre du chantier.

Tableau 29 : Exemples de quelques risques prévisibles et de mesures de prévention et consignes applicables au chantier de forage du puits BO-12.



## **XV.5. RAPPEL DES MESURES ET ELEMENTS DE PREVENTION**

### **Registre de sécurité**

Pendant la durée des travaux de forage, un registre de sécurité, consultable à tout moment par l'Administration, sera tenu à jour.

Les notices d'utilisation des engins présents sur le chantier, ainsi que leurs certificats de conformité et leurs rapports de révision, seront inclus dans le registre de sécurité.

### **Premiers secours**

Au moins un titulaire d'un brevet de secourisme sera présent sur le chantier de forage.

Le chantier sera muni de trousse de secours.

### **Consignes de sécurité**

Une information sur les règles de sécurité habituelles devant être respectées sera dispensée par le chef de chantier forage ou le superviseur de forage. Cette information sera obligatoirement donnée aux personnels suivants :

- les salariés venant d'être embauchés ;
- les salariés changeant de poste ;
- les salariés changeant de technique ;
- les travailleurs temporaires auxquels l'entreprise aura éventuellement fait appel ;
- les salariés prenant leurs activités après un arrêt de plus de 21 jours.

Ces informations porteront à minima sur les consignes de sécurité ci-après :

- consignes en cas d'incendie ;
- consignes en cas d'accident grave ;
- consignes en cas de venue de fluide ou de perte du fluide de forage ;
- consignes en cas de présence de sulfure d'hydrogène ;
- consignes pour les essais des obturateurs du puits.

L'affichage des consignes de sécurité s'adressera en priorité au personnel présent sur le site.

Le port des Equipements de Protection Individuelle (EPI) sera obligatoire sur le site.

Le port du harnais sera obligatoire pour les travaux en hauteur (sur le mât des engins).

Il sera interdit, à toute personne non autorisée par le superviseur de forage ou le chef de chantier, de se servir d'un véhicule ou d'un appareil de levage dans l'enceinte du chantier.

Lors de la circulation sur la plate-forme et sa voie d'accès, la réglementation routière devra être respectée et la vitesse réduite afin de limiter les risques d'accident et les nuisances pour les riverains et les autres usagers (visibilité réduite, bruits, poussière...)

Un affichage spécifique sera mis en place pour interdire l'accès du site aux personnes non autorisées.

### **Affichage dans le bureau du chef de chantier**

Les documents suivants seront affichés dans le bureau du Chef de chantier :

- un plan de masse de l'appareil de forage ;
- le plan de la tête de puits ;



- la pression maximale admissible dans l'espace annulaire ;
- la pression maximale de refoulement des pompes de forage selon les diamètres des chemises ;
- un plan des moyens de lutte contre l'incendie ;
- la liste des noms, avec leurs numéros de téléphones, des personnes et des services à contacter en cas d'accident :
  - ✓ les pompiers ;
  - ✓ les services médicaux d'urgence (SAMU ou SMUR) ;
  - ✓ le Préfet ;
  - ✓ la DEAL ;
  - ✓ les services du maître d'œuvre ;
  - ✓ les services du maître d'ouvrage ;
  - ✓ les services de l'Entrepreneur.
- un plan des issues de sécurité en cas de venue de sulfure d'hydrogène H<sub>2</sub>S.

### **Exercices d'alerte**

Des exercices d'alerte « Incendie » et « venue de fluide et gaz » seront organisés au début du chantier et renouvelés périodiquement.

### **XV.6. PROTECTION CONTRE L'INCENDIE**

Le chantier sera doté du matériel destiné à pouvoir lutter rapidement et efficacement contre tout début d'incendie. L'entretien de ce matériel sera assuré par une entreprise agréée ou par un agent spécialisé du service de sécurité de l'entreprise de forage. On trouvera notamment :

- des extincteurs à poudre polyvalente ;
- des extincteurs à poudre de carbone ;
- une couverture anti-feu.

L'accès des emplacements de ce matériel sera aisé et bien signalé.

Une aire de stockage des produits inflammables, avec des bacs de rétention, sera délimitée en un lieu sûr, avec une signalisation appropriée et en particulier l'interdiction de fumer à proximité.

Les Pompiers interviendront selon leurs procédures.

### **XV.7. PROTECTION CONTRE LES EMISSIONS DE SULFURE D'HYDROGENE H<sub>2</sub>S**

#### **XV.7.1 Risques liés au gaz H<sub>2</sub>S**

Le sulfure d'hydrogène est présent en quantité très faible dans le fluide géothermal de Bouillante. Il représente seulement 3% (en poids) des gaz incondensables, qui eux-mêmes ne représentent que 0,4% (en poids) de la phase vapeur. Par conséquent, lors de la décharge du fluide géothermal de Bouillante à l'atmosphère, le gaz H<sub>2</sub>S représentera seulement 0,0024% (en poids).

A très faible concentration (dès 0,01 ppm), le gaz H<sub>2</sub>S est une source de nuisances olfactives (odeur « d'œufs pourris »). A des concentrations beaucoup plus élevées, il est potentiellement dangereux et il présente deux risques pour l'homme :

- incendie : c'est un gaz extrêmement inflammable, ses limites d'explosivité, en pourcentage de volume dans l'air, sont comprises entre 4 % et 6 % ; si nécessaire, les Pompiers interviendront selon leurs procédures ;
- pathologie : les effets observés sont principalement liés à ses propriétés irritantes et anoxiantes.

Les effets de l'hydrogène sulfuré sur l'homme sont résumés dans le Tableau 30. L'intoxication humaine a lieu essentiellement par voie respiratoire.

Concentrations		Durée d'exposition	Effets
(mg/m <sup>3</sup> )	ppm		
0,0007-0,014	0,0005 – 0,10	< 1 minute	Seuil olfactif
16 - 32	11,5 -23	Plusieurs heures	Irritation des yeux
70 - 140	50 - 101	>1 heure	Irritations des muqueuses oculaires et respiratoires
225 - 300	162 - 216	2 – 15 minutes	Perte de l'odorat
112 210 448	80 150 320	1 heure 10 minutes 1 minute	Seuils d'effets irréversibles
521 963 2 129	372 688 1 521	1 heure 10 minutes 1 minute	Seuils d'effets létaux

Tableau 30 : Relation dose/effets de l'hydrogène sulfuré sur l'homme.

Il existe actuellement en France une valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) sur 8 heures destinée à protéger les salariés des effets de l'H<sub>2</sub>S (Tableau 31). Il existe également une valeur limite de court terme (VLCT) sur une période de référence de 15 minutes.

Une VLEP 8 h peut être dépassée sur de courtes périodes, à condition de ne pas dépasser la VLCT correspondante.

En cas de dépassement d'une valeur limite d'exposition professionnelle :

- le dépassement d'une valeur contraignante doit entraîner l'arrêt du travail aux postes de travail concernés, jusqu'à la mise en œuvre des mesures propres à assurer la protection des salariés ;
- Le dépassement d'une valeur indicative doit amener à procéder à une nouvelle évaluation des risques, afin de déterminer des mesures de prévention et de protection adaptées.

VLEP (sur 8 heures)		VLCT (15 min)	
ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
5	7	10	14

Tableau 31 : Valeurs limites indicatives d'exposition professionnelle au gaz H<sub>2</sub>S selon l'INERIS (2011)



### **XV.7.2 Mesures de prévention**

Le gaz H<sub>2</sub>S étant soluble dans l'eau, l'utilisation d'un fluide de forage qui est initialement dépourvu d'H<sub>2</sub>S dissous limite ses émanations lorsqu'il est en faible concentration, ce qui est le cas à Bouillante.

D'autre part, le sulfure d'hydrogène reste dissous en milieu basique (pH>8), ce qui sera le cas du fluide de foration pendant les phases de forage à la boue, sauf en cas de venue d'eau géothermale importante.

- ⇒ Le personnel sera informé des risques afférents au gaz H<sub>2</sub>S et à la conduite à tenir.
- ⇒ Un appareil de détection en continu du sulfure d'hydrogène comprenant au moins 3 capteurs fixes reliés à des alarmes sonores et visuelles sera installé sur le chantier de forage, en tenant compte de la configuration des lieux et de la zone spécifique de danger définie par les articles RG29 et RG30 du règlement général des industries extractives. Le seuil d'alarme sera réglé sur 10 ppm (Valeur VLCT). Deux appareils portatifs seront également disponibles sur le chantier.
- ⇒ Une manche à air sera mise en place en un lieu visible de tous les points du chantier.
- ⇒ Des masques à gaz individuels, munis de cartouches filtres pour le sulfure d'hydrogène, seront disponibles en permanence. Deux appareils respiratoires autonomes avec bouteille de recharge seront à la disposition du personnel. Les personnels de forage seront formés à utiliser ces appareils respiratoires et à intervenir en cas de venue de gaz.
- ⇒ En cas de venue éruptive de fluide en surface, le puits sera immédiatement fermé (obturateur BOP), et l'équipe de forage procédera à son évacuation contrôlée à très faible débit.

### **XV.7.3 Retour d'expérience**

A titre de retour d'expérience, les travaux de forage et les essais de production des trois puits producteurs BO-5, BO-6 et BO-7 réalisés en 2000-01 n'ont donné lieu à aucune gêne particulière liée à la présence de gaz H<sub>2</sub>S au niveau du personnel du chantier et de la population riveraine de la plateforme de forage.

## **XV.8. PROTECTION CONTRE LES VENUES ERUPTIVES DE FLUIDES**

Des venues éruptives de fluides (eau, vapeur, gaz) peuvent se produire en cas de traversée de niveaux aquifères ayant une pression supérieure à celle régnant dans le puits en cours de foration. Elles se manifesteront par la décharge violente à l'atmosphère d'un mélange d'eau, de vapeur et de gaz.

### **XV.8.1 Moyens techniques de prévention des venues éruptives**

La prévention des éruptions de puits repose sur quatre moyens de contrôle complémentaires :

- La maîtrise de l'artésianisme du puits ;
- Le contrôle des volumes des bacs à boue ;
- Le contrôle des teneurs en gaz H<sub>2</sub>S au niveau des bacs à boue ;



- L'utilisation d'un dispositif d'obturation de puits (BOP).

À tout moment, et en particulier lors de la traversée d'horizons potentiellement productifs, l'artésianisme du puits sera maîtrisé par injection d'un fluide de forage de densité appropriée. Un stock de produits densifiant de type barytine ou carbonate de calcium sera maintenu sur site en quantité suffisante pour faire face à toute situation imprévue.

Les niveaux des bacs à boue seront contrôlés en permanence afin de détecter tout gain de fluide dans le puits qui pourrait être un indice de venue éruptive.

Conformément à la législation, des détecteurs de gaz seront installés par la société de forage ou de mud logging sur le circuit de boue à la sortie du puits pour identifier immédiatement toute émanation de gaz et en particulier de gaz H<sub>2</sub>S qui pourrait être un indice de venue éruptive.

Durant les opérations de forage, lors de la traversée d'horizons potentiellement éruptifs, la tête de puits sera équipée d'un Bloc d'Obturation de Puits (BOP) permettant une fermeture d'urgence du puits en toutes circonstances.

Ce BOP sera testé régulièrement à différentes pressions afin de s'assurer du bon fonctionnement des différents éléments de cet organe de sécurité.

#### **XV.8.2 Autres mesures de prévention**

Dans le cadre du Plan Général de Coordination, des consignes spécifiques seront élaborées et appliquées :

- consignes en cas de venue de fluide ou de perte du fluide de forage ;
- consignes pour les essais des Blocs Obturateurs de Puits (BOP).

Des procédures d'urgence spécifiques à la maîtrise des venues éruptives (Blowout) ont été élaborées par l'entreprise de forage (voir Annexe 5 et Annexe 6).

Un exercice spécifique « venue éruptive de fluide et gaz » sera effectué au début du chantier et renouvelé périodiquement.



## ANNEXES

Annexe 1 : Spécifications techniques des quatre types d'outils de forage (28", 21", 17-1/2", 12-1/4") qui seront mis en œuvre pour forer le puits BO-12.....	93
Annexe 2 : Spécifications techniques détaillées concernant les cuvelages qui seront mis en place dans le puits BO-12. ....	97
Annexe 3 : Spécifications techniques du liner hanger qui sera mis en place dans le puits BO-12 pour accrocher le liner perforé en 9-5/8".....	99
Annexe 4: ORMAT standard safety Program and emergency contingency plan. Programme standard de sécurité et plan d'urgence d'ORMAT .....	101
Annexe 5 : ORMAT Blowout Action Plan – Wait and Weight method. Plan d'action d'ORMAT en cas de venue éruptive -Méthode Wait and Weight .....	111
Annexe 6 : ORMAT Blowout Action Plan – Driller method. Plan d'action d'ORMAT en cas de venue éruptive - Méthode Driller .....	114
Annexe 7 : Procédure d'Ormat concernant la protection de l'environnement sur un chantier de forage. ....	119
Annexe 8 : Check-list d'inspection du rig (IADC Drilling Rig Safety Inspection) appliquée par ORMAT sur ses chantiers de forage. ....	123



Annexe 1 : Spécifications techniques des quatre types d'outils de forage (28", 21", 17-1/2", 12-1/4") qui seront mis en œuvre pour forer le puits BO-12.

## Drill Bit Spec Sheet



### 28 " T11

#### General Data

IADC Code	115
Bearing Type	Roller
Seal Type	RADIAL-TEXTURIZED-HNBR
Journal Angle	33.0°
Cone Skew	2.00°

#### Cutting Structure

Gauge Row Teeth Count	55
Shape	Straight A
Main Row Teeth Shape	Straight A
Total Count	119

Connection Size(Ins)	7.625" *
Connection Type	API REG PIN
Nozzle Code	E
Center Jet	Y

#### Recommended Operating Parameters

Maximum make-up Torque (ft-lbs)	40000
Weight on Bit Range	
Max (klbs)	90
Min (klbs)	25
Max (tonne)	41
Min (tonne)	11
Rotary Speed (RPM)	60 - 350

\* For applications requiring operation above recommended values contact the local NOV representative.

#### Design Features

- Titan™ Bits
- Precision Logarithmic Roller Bearing
- Texturized Radial Seal - HNBR
- Three Port Center Jet
- AzorClad™ II Hardmetal
- GageGuard™ Drill Bit Inserts
- TuffGage™
- P Premium Shirltail Protection

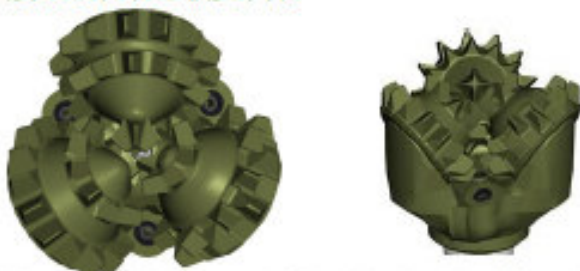
# Xplorer Expanded

21 in XR+

## SMITH BITS

A Schlumberger Company

ID: 0053764030 IADC: 115



Xplorer Expanded bits are specifically designed to drill soft formations with exceptional ROP and reliability. With the proven Gemini Twin Seal system and the ultra durable MIC2 hardmetal, these bits deliver maximum ROP and long run times in a wide range of applications.

### Specifications


Bearing Type	Precision Sealed Roller Bearing
Seal Type	Gemini™ Twin Seal System
Bit Connection Type	7 5/8 Reg
Journal Angle	33.9
Cone Offset	0.61
Rows	Total: 7 Inner: 4 Gauge: 3
Inserts/Teeth	Total: 76 Inner: 30 Gauge: 46
Total Rows	7

### Operating Parameters

Weight-on-Bit	15000 To 60000 (lbf)
	6700 To 27000 (daN)
	6.8 To 27 (Tonnes)
Bit Rotary Speed	50 to 350
Recommended Makeup Torque	34,000 to 40,000 (ft-lb)

\*Operating parameters are typical ranges. Please contact your Smith Bits representative for recommendations for your individual well.

### FEATURES

- 

The sealed precision roller bearing provides a robust, reliable platform capable of excellent performance in a wide range of applications. Tight tolerance surfaces and controlled contour rollers provide significantly improved bearing life and allow the bit to drill at a high ROP for extended periods of time.
- 

The Gemini twin seal system consists of a primary seal which protects the bearing, and a secondary seal that protects the primary seal. This dual seal system will perform reliably for extended periods of time in high RPM, heavier WOB, high mud weight and severe dogleg applications.
- 

Premium hardmetal material reduces wear, provides superior durability and ensures that a full gauge hole is drilled.
- 

The Center Jet maximizes fluid flow, and increases ROP by cleaning the bit more effectively and reducing bit balling.

# HIGH ROLLER™

## Technical Datasheet

### 17 1/2" HR34JMRSV

444.5mm  
 Assembly # 8696  
 IADC 535



#### Application

Varel Oil & Gas Drill Bits' roller cone products are designed to provide solutions to a wide variety of applications from workover bits to completion bits, steel tooth bits to tungsten carbide bits, and the world's largest roller cone product with the Everest™ product line. Proprietary software packages enhance the engineer's ability to design the correct bit for the application while a state-of-the-art manufacturing facility creates the finished product to the exacting standards produced by the designers. The end result is a targeted solution for your drilling challenges.

#### Product Specifications

Gage Inserts:	63
Total Inserts:	267
Heel Row:	SRT
Gage Row:	Chisel
Inner Row:	Chisel
Bearing Type:	Sealed Roller
Bearing Seal Type:	HSN O-Ring
Fluid Circulation Design:	V-jet™ Nozzles and Center Jet
Nozzle Part No.:	10735
Center Jet Part No.:	12400
Pin Connection:	7 5/8 in API Regular
Approx. Weight:	489 lbs (222.3 kg)

#### Operating Parameters\*

Rotary Speed:	For all rotary and motor applications
Flowrate Min-Max:	700 - 1490 gpm (2.65 - 5.64 m <sup>3</sup> /min)
Max WOB:	87500 lbs (38922 daN)
Make-up Torque:	34000 - 40000 Ft-Lbs (46098 - 54233 Nm)

\*Operating parameters shown are typical for the bit type specified. For recommendations on your specific application, contact your Varel Energy Solutions representative.

#### Features

- V** The V-Jet feature directs the fluid flow stream to produce better cone cleaning, which improves bit penetration rates. This jet design works with the inherent properties of Varel's roller cone bits to deliver more hydraulic horsepower to the hole bottom.
- J** The Center Jet Nozzle is a fourth interchangeable jet installed in the center of the bit to reduce bit balling or provide extra flow capacity.
- S** Tungsten Carbide inserts are placed along the leading edge of the shirrtail providing additional wear resistance in high RPM motor applications and where additional shirrtail protection is required.

## ReedHycalog

**NOV** Wellbore Technologies



### 12 1/4" E716

#### Design Features of this bit

**DuraForce™ Cutters**- Designed for maximized impact toughness. The cutter incorporates a new non-planar interface to minimize stresses in the cutter, polycrystalline diamond material chemistry specifically selected for impact toughness and a deep-leached Thermostable PDC surface layer for unrivaled abrasion resistance.

**DAG (Dual Action Gauge)**- Dual Action Gauge provides back-reaming capabilities and moderate side-cutting ability when required.

**SmoothTorque™ Torque Control Components**- SmoothTorque™ torque control components are inserts placed between primary cutters to provide a predictable torque response to applied weight-on-bit and reduction in torque variance.

**SmoothSteer™ Gauges**- SmoothSteer™ gauges deliver maximum gauge contact, lowering resistance to steer by reducing torque, and leading to improved ROP and extended bit and tool life.

**DiamondBack™ cutters**- DiamondBack™ cutters enhance durability, providing increased cutter density to some or all blades.

#### Cutting Structure

Type	Qty	Location	Diameter	Shape
Primary	1	FACE	13 mm	CYLINDER
Primary	51	FACE	16 mm	CYLINDER
Primary	14	GAGE	13 mm	CYLINDER
Secondary	21	FACE	16 mm	CYLINDER
TCC	13	FACE	11 mm	DOME TOPPED
TCC	9	FACE	16 mm	DOME TOPPED

#### Design Specifications

Make up Length (ft): 1.54  
 Shank Bore (Ins): 3.000  
 Shank Diam (Ins): 8.000  
 Connection std: Y  
 Connection Size(Ins): 6.625  
 Connection Type: REG PIN  
 Make up Torque (ft-lbs): 41000 - 45500

IADC Code: M422  
 Diameter:(Ins) 12 1/4"

Body Material: Matrix

JSA(In<sup>2</sup>): 34.600  
 Face Volume:(In<sup>3</sup>) 119.51  
 Normalised Face vol: 53.12%

Blade Qty: 7  
 Gauge Length:(Ins) 6.000  
 Gauge Geometry: Spiral-Trailing  
 Gauge Profile: SmoothSteer

Bit Profile: Medium Taper - Shallow Cone

#### Recommended Operating Parameters

Max Operating WOB (kibs): 55  
 TFA Range (In<sup>2</sup>): .3437 - 1.3741  
 Max Flow (gpm): 915  
 Pressure Drop(psi): 700-2500  
 HSI: 2-7


In some applications this bit is run successfully beyond these parameters. Contact your NOV ReedHycalog Representative for recommended operating parameters in your application. NOV ReedHycalog reserves the right to revise these specifications, based on advances and improvements in technology.

This report is valid for 30 days from 18-Oct-2019

#### Nozzles & Ports

Qty	Type	Size
7	AAK	VARIABLE

Annexe 2 : Spécifications techniques détaillées concernant les cuvelages qui seront mis en place dans le puits BO-12.

	<b>Data Sheet No.:</b>	DS-PUMA_039-100
	<b>Revision No.:</b>	4
	<b>Page No.:</b>	1 of 1
<b>Data Sheet Title:</b>	24" x 1" PUMA	

<b>General Arrangement Drawing Number:</b>	PUMA/039/03
--	-------------

DIMENSIONS			
<b>Pipe Nominal OD:</b>	24"	<b>Pipe Wall Thickness:</b>	1"
<b>Box OD:</b>	24.120"	<b>Pin OD:</b>	24.120"
<b>Box ID:</b>	21.992"	<b>Pin ID:</b>	21.992"
<b>Box Length:</b>	9.625"	<b>Pin Length:</b>	9.000"
<b>Made-up Length:</b>	11.054"	<b>Make-Up Loss:</b>	7.526"



CAPABILITIES							
Connector/Pipe	Material Yield	Tension Yield	Compression Yield	Bending Yield	Internal Pressure	External Pressure	Make-Up Torque
<b>Connector</b>	100 ksi	4.05 x 10 <sup>6</sup> lbf	4.05 x 10 <sup>6</sup> lbf	1.86 x 10 <sup>6</sup> lbf.ft	3,500 psi	2,704 psi	44-49 kips ft
<b>X52 Pipe</b>	52.2 ksi	3.77 x 10 <sup>6</sup> lbf	3.77 x 10 <sup>6</sup> lbf	1.74 x 10 <sup>6</sup> lbf.ft	3,806 psi	2,616 psi	-
<b>X56 Pipe</b>	56.6 ksi	4.09 x 10 <sup>6</sup> lbf	4.09 x 10 <sup>6</sup> lbf	1.88 x 10 <sup>6</sup> lbf.ft	4,127 psi	2,704 psi	-
<b>X60 Pipe</b>	60.2 ksi	4.35 x 10 <sup>6</sup> lbf	4.35 x 10 <sup>6</sup> lbf	2.00 x 10 <sup>6</sup> lbf.ft	4,390 psi	2,765 psi	-

SCF DATA		
Location	SCF (Stress Concentration Factor)	S/N Curve
<b>Connector</b>	3.6	DNV GL C203 'B1'
<b>Weld</b>	1.1	DNV GL C203 'D'

Notes:

- 1) Connector burst capacity limited by elastomeric seal performance.
- 2) Connector external pressure capacity limited by structural performance.
- 3) Pipe compressive capacity excludes global buckling.
- 4) Connector body SCF is based on an assumed mid-level stress range reverse bending scenario around zero mean stress. For data on other types of fatigue loading please enquire.
- 5) Connector body SCF based on finite element analysis and/or results for full scale testing in conjunction with an adjustment as per DNVGL-RP-C203 to use with a 'B1' S/N curve.
- 6) Connector weld SCF based on finite element analysis for an assumed mid-level stress range reverse bending scenario around zero mean stress. For data on other types of fatigue loading please enquire.
- 7) Connector weld SCF based on connector weld neck geometry only. No pipe connector misalignment is accounted for.
- 8) Specifications are reviewed periodically and are subject to change. Please contact Oil States Sales for latest information.



Annexe 2 (suite) : Spécifications techniques détaillées concernant les cuvelages qui seront mis en place dans le puits BO-12.

<b>Casing:</b>	<b>18.625 OD, 87.5 ppf</b>	<b>Connection:</b>	<b>API BC 19.625</b>
<b>Casing Grade:</b>	<b>K-55</b>	<b>Coupling Grade:</b>	<b>API K-55</b>

PIPE BODY GEOMETRY					
Nominal OD (in.)	18 5/8	Wall Thickness (in.)	0.435	Drift Diameter (in.)	17.567
Nominal Weight (ppf)	87.50	Nominal ID (in.)	17.755	API Alternate Drift Dia. (in.)	N/A
Plain End Weight (ppf)	84.59	Plain End Area (in. <sup>2</sup> )	24.858		

PIPE BODY PERFORMANCE					
Material Specification	K-55	Min. Yield Str. (psi)	55,000	Min. Ultimate Str. (psi)	95,000
<b>Collapse</b>		<b>Tension</b>		<b>Pressure</b>	
API (psi)	630	Pl. End Yield Str. (kips)	1,367	Min. Int. Yield Press. (psi)	2,250
High Collapse (psi)	-				

API BC 19.625 COUPLING GEOMETRY			
Coupling OD (in.)	19.625	Makeup Loss (in.)	4.8125
Coupling Length (in.)	10.625	Critical Cross-Sect. (in. <sup>2</sup> )	N/A

API BC 19.625 CONNECTION PERFORMANCE RATINGS/EF FICIENCIES					
Material Specification	API K-55	Min. Yield Str. (psi)	55,000	Min. Ultimate Str. (psi)	95,000
<b>Tension</b>		<b>Efficiency</b>			
Thread Str. (kips)	1,329	Min. Internal Pressure* (psi)	2,250		
Joint Str. (kips)	1,329				

		<b>GB Connection Performance Properties Sheet</b>			Rev. 0 (08/25/2014)
	<b>ENGINEERING THE RIGHT CONNECTIONS™</b>				

<b>Casing:</b>	<b>13.375 OD, 68 ppf</b>	<b>Connection:</b>	<b>GB CD Butt 14.375</b>
<b>Casing Grade:</b>	<b>L-80</b>	<b>Coupling Grade:</b>	<b>API L-80</b>

PIPE BODY GEOMETRY					
Nominal OD (in.)	13 3/8	Wall Thickness (in.)	0.480	Drift Diameter (in.)	12.259
Nominal Weight (ppf)	68.00	Nominal ID (in.)	12.415	API Alternate Drift Dia. (in.)	N/A
Plain End Weight (ppf)	66.17	Plain End Area (in. <sup>2</sup> )	19.445		

PIPE BODY PERFORMANCE					
Material Specification	L-80	Min. Yield Str. (psi)	80,000	Min. Ultimate Str. (psi)	95,000
<b>Collapse</b>		<b>Tension</b>		<b>Pressure</b>	
API (psi)	2,260	Pl. End Yield Str. (kips)	1,556	Min. Int. Yield Press. (psi)	5,020
High Collapse (psi)	2,910	<b>Torque</b>		<b>Bending</b>	
		Yield Torque (ft-lbs)	465,890	Build Rate to yield (°/100 ft)	27.4

GB CD Butt 14.375 COUPLING GEOMETRY			
Coupling OD (in.)	14.375	Makeup Loss (in.)	5.0000
Coupling Length (in.)	10.000	Critical Cross-Sect. (in. <sup>2</sup> )	25.412

GB CD Butt 14.375 CONNECTION PERFORMANCE RATINGS/EF FICIENCIES					
Material Specification	API L-80	Min. Yield Str. (psi)	80,000	Min. Ultimate Str. (psi)	95,000
<b>Tension</b>		<b>Efficiency</b>		<b>Bending</b>	
Thread Str. (kips)	1,545	Internal Pressure (%)	100%	Build Rate to yield (°/100 ft)	25.5
Min. Tension Yield (kips)	1,931	External Pressure (%)	100%	Yield Torque	
Min. Tension Ult. (kips)	2,293	Tension (%)	100%	Yield Torque (ft-lbs)	143,610
Joint Str. (kips)	1,545	Compression (%)	100%		
		Ratio of Areas (Cplg/Pipe)	1.31		

MAKEUP TORQUE			
Min. MU Tq. (ft-lbs)	10,000	Max. MU Tq. (ft-lbs)	20,000
		Running Tq. (ft-lbs)	See GBT RP
		Max. Operating Tq. (ft-lbs)*	136,430

Units: US Customary (lbm, in., °F, lbf)  
 1 kip = 1,000 lbs  
 \* See Running Procedure for description and limitations.  
 See attached: Notes for GB Connection Performance Properties.  
 GBT Running Procedure (GBT RP): [www.gbconnections.com/pdf/RP-GB-DWC-Connections.pdf](http://www.gbconnections.com/pdf/RP-GB-DWC-Connections.pdf)  
 Blanking Dimensions: [www.gbconnections.com/pdf/GB-DWC-Blanking-Dimensions.pdf](http://www.gbconnections.com/pdf/GB-DWC-Blanking-Dimensions.pdf)

Annexe 3 : Spécifications techniques du liner hanger qui sera mis en place dans le puits BO-12 pour accrocher le liner perforé en 9-5/8”.



Telephone: 661-763-1020 / Email: PE@pecorpusa.com  
 Web : www.pecorpusa.com  
 Bakersfield Facility: 12611 S. Enos Lane, Bakersfield, CA 93311  
 Ventura Facility: 2951 N. Ventura Ave, Ventura, CA 93002

## Mechanical Liner Hanger Tech Sheet

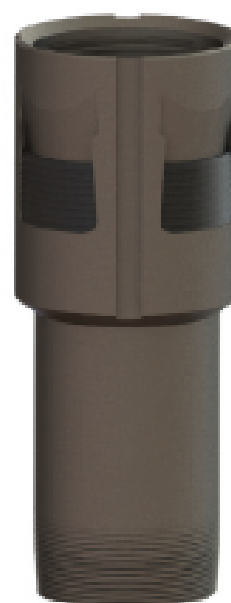
The Project Engineering Mechanical Liner Hanger system has a proven track record extending back over four decades. The hanger is by far the most reliable, rugged, safe hanger system to be used in geothermal and oil applications. The short overall length navigates through severe doglegs with ease. The recessed pocket slip design eliminates the risk of prematurely setting the hanger before reaching the desired setting depth. Independently functioning slips provide 100% contact which distributes the load evenly when set and maximizes the hanging capacity.

### Standard Features

- Recessed pocket slips
- Durable and dependable
- Tapered transition throughout inner body

### Optional Features

- Double slip
- Tie-back receptacle
- Bypass flow ports
- Liner top packing element
- Bi-directional slips
- Premium grade corrosion resistant alloys.
- Premium connections.



Size (in)	Weight Range (lb/ft)	Liner Weight Range (lb)	Host Casing Weight Range (lb)	J-55 / K-55	L-80 / N-80		P-110	
				Load Capacity (lb)	Burst (psi)	Collapse (psi)	Burst (psi)	Collapse (psi)
5" x 7"	15 - 24.1#	20 - 32#	20 - 32#	100,000 (26#)	150,000 (26#)		200,000 (26#)	
6-5/8" x 8-5/8"	24 - 32#	24 - 40#	24 - 40#	Avail. on request	Avail. on request		Avail. on request	
7" x 8-5/8"	20 - 32#	24 - 40#	24 - 40#	Avail. on request	Avail. on request		Avail. on request	
7" x 9-5/8"	20 - 32#	36 - 53.5#	36 - 53.5#	220,000 (26#)	300,000 (26#)		440,000 (26#)	
9-5/8" x 13-3/8"	36 - 53.5#	48 - 72#	48 - 72#	Avail. on request	Avail. on request		Avail. on request	
13-3/8" x 16"	48 - 72#	65 - 109#	65 - 109#	Avail. on request	Avail. on request		Avail. on request	

\* All sizes available in standard and corrosion resistant alloys



Annexe 3 (suite) : Spécifications techniques du liner hanger qui sera mis en place dans le puits BO-12 pour accrocher le liner perforé en 9-5/8”.



### Non-Cemented Liner Hanger Running Procedure

1. Make up Liner hanger with setting tools (Kelly Bar, Finger Ring, Off-Bottom Tool and Releasing/Setting Nut). 4-1/2” IF Kelly Bar connection. Liner Hanger setting tools should be installed into Liner hanger prior to liner job.
2. Rig up & run predetermined amount of casing.
3. Pick up liner hanger and setting tools off the walk and make up hanger to casing torque specs.  
**NOTICE: Extreme care should be taken when handling liner hanger up to the rig floor, lots of potential pinch points on various moving parts.**
4. Make up drill pipe to liner hanger 4-1/2” IF Kelly Bar (Torque to drill pipe connections specs).  
**NOTICE: Extreme care needs to be taken when making up drill pipe connections. This tool is right hand set, right hand release. Do not let drill pipe rotate to the right when making up drill pipe to the Liner Hanger Kelly Bar. Liner hanger will set or release from setting tools.**
5. Remove set screws from Liner Hanger engaging slips.  
**NOTICE: Set screws MUST be removed prior to running liner hanger down hole. If set screws are not removed the liner hanger slips will not engage.**
6. Record up-weight, down weight, drill pipe weight and casing weight prior to running down hole.
7. Run down hole at a slow to moderate speed to setting depth.
8. Tag bottom and lose casing weight. **(At this time the Liner Hanger Kelly Bar is now closed)**. Now you should only have drill pipe weight displaying on the weight indicator.
9. Slowly pull up to your original up weight and stop.
10. Make a horizontal chalk mark on the drill pipe level with the rig floor. **This mark indicates you are now off bottom and the Kelly bar is completely scoped open.** At this point you can move casing off bottom to the depth of interest per drilling program or consultant/engineers discretion.
11. Make a vertical chalk mark up from center of the horizontal mark, thus making an upside down “T” on the side of the drill pipe. **This mark is aid as a visual indicator of how many times you’ve turned to the right in the next step.**
12. **To set the liner hanger, rotate the drill pipe 8 turns to the right.** To verify liner is hung, move drill pipe down approximately 1 – 2 feet so the Kelly bar is in neutral position. At this point all casing weight should be completely lost and the weight indicator should only be displaying drill pipe weight.
  - a. **If you did not lose casing weight when you stroke the Kelly bar into neutral position, the liner hanger slips did not engage and you are not hung. Pull casing back up to depth of interest and rotate 6 MORE times to the right and verify liner is now hung.**
13. To release from Liner Hanger rotate 15 MORE turns to the right.
  - a. To verify you Liner Hanger is set, slowly pull drill pipe up 6 feet, **(At this time only the drill pipe weight from step 12 should STILL be displayed on the weight indicator.)** If you are completely off you can now begin to pull the drill pipe out of the hole. At this point the job is now complete.
  - b. **If you still did not release from the Hanger add 10 MORE rotations to the right and revisit step 13-a.**



Annexe 4: ORMAT standard safety Program and emergency contingency plan. Programme standard de sécurité et plan d'urgence d'ORMAT

1° Injury Contingency Plan

In the event injuries occur in connection with an Ormat Nevada (Ormat) operation, specific and immediate attention will be given to proper transportation to a medical facility.

Ambulance

**Number to be supplied**

LOCAL Hospital

**Number to be supplied**

2° Blowout Contingency Plan (See also Blowout Action Plan)

Blowout prevention equipment will be kept in operating condition and tested in compliance with State of California Division of Oil, Gas, and Geothermal Resources (DOGGR) regulations and industry standards, or other local standards.

In addition, cold water and barite will be stored at the wellsite for use in killing the well in case of an emergency.

In the event of an emergency, such as a blowout, immediate efforts will be taken to shut surface valves and blowout preventer system.

If the means to shut-in or control the flow from the well is lost, the Drilling Supervisor is to:

1. Initiate appropriate control procedures.
  1. Arrange for any injured persons to be taken by the fastest transportation available to the nearest medical facility, as shown in the Injury Contingency Plan.
  2. If there is a threat to any local residents, the sheriff will be notified as soon as possible.

LOCAL Sheriff's Department



### ***Number to be supplied***

2. Secure and maintain control of access roads to the area to eliminate entry of unauthorized personnel.
3. Contact the Project Manager and advise of the situation. The Drilling Supervisor will follow the same procedures stated in the Spill or Discharge Plan.
4. Initiate any further or supplemental steps that may be necessary or advisable, based on consultation with the Project Manager.
5. Be certain that all safety practices and procedures are being followed and that all members of the drilling crew are performing their assigned duties correctly.
6. Attempt to control the well at the rig site with rig personnel and supervisors.
7. If fluid flow is of an uncontained nature, attempt containment with required equipment by constructing sumps and/or dikes as rapidly as possible and as needed.
8. Attempt to construct and/or fabricate and install any wellhead facilities require to contain fluid flow at the well or casing head.
9. Maintain a continuing inspection of the pad area immediately around the well site subject to erosion that may cause failure to the drilling rig structure. Take necessary steps to avert areas of possible erosion by excavation and rebuilding of the area as necessary.
10. Following complete containment of the well, initiate steps to return the area to its normal state prior to the blowout or fluid flow, such as reseeding with similar and approved vegetation.

### **C. Fire Contingency Plan**

1. Any small fires which occur around the well pad during drilling and/or testing operations should be able to be controlled by rig personnel utilizing on-site fire fighting equipment.



2. Local Fire Department (**Number to be supplied**) will be notified of any fire, even if the available personnel can handle the situation or the fire poses no threat to the surrounding area.

3. A roster of emergency phone numbers will be available on-site so that the appropriate fire fighting agency can be contacted in case of a fire.

#### D. Spill or Discharge Contingency Plan

##### 1. Potential Sources of Accidental Spills or Discharges

###### a. Geothermal Fluid

Accidental geothermal fluid spills or discharges are very unlikely because the hole will be cased and blowout prevention equipment will be utilized. However, accidental discharges or spills could result from any of the following:

(1) Loss of well control (blowout)

###### 2. Drilling Muds

Muds are a mixture of water, non-toxic chemicals and solid particles used in the drilling operations to lubricate and cool the bit in the hole, to carry cuttings out of the hole, to maintain the hole condition and to control formation pressure. Drilling muds are prepared and stored in metal tanks at the drilling site. Waste drilling mud and cuttings are discharged into the reserve pit, which is open and is adequately sized to hold the volume necessary for the operation. Accidental discharges of drilling mud are unlikely, but could occur by:

(1) overflow of the reserve pit.

(2) reserve pit wall seepage or wall failure.

(3) discharge from equipment failure on location.

(4) shallow lost circulation channeling to the surface.



### 3. Lubricating or Fuel Oils and Petroleum Products

A discharge of this type would probably be very small and be from equipment used in the prospect. Potential locations for accidental spills are:

(1) drilling equipment and machinery at and around the drilling location.

(2) other miscellaneous equipment and machinery at well site and roads.

### 4. Construction/Maintenance Debris

Typically a minor consideration, one which is usually able to be cleaned up on the job. Potential locations are the same as for lubricating or oils listed in Item 3, above.

## 2. Plan for Cleanup and Abatement

In the event of discharge of formation fluids, drilling muds, petroleum products or construction debris, the person responsible for the operation will make an immediate investigation, then contact the Drilling Supervisor and advise him of the spill. The Drilling Supervisor will in turn call out equipment, regulate prospect operations, or do other work as applicable for control and clean up of the spill, as follows:

### 1. Action - Small, Containable Spill

If the spill is small (i.e., less than 250 gallons) and easily containable without endangering the watershed, the Drilling Supervisor will direct and supervise complete cleanup and return to normal operations.

### 2. Action - Large or Uncontainable Spill

3.

If the spill is larger than 250 gallons, or is not easily contained, or endangers, or has entered the watershed, the Drilling Supervisor will proceed to take necessary action to curtail, contain and cleanup the spill, as above, and notify personnel as listed below.



#### 4. Notification

(1) The Drilling Supervisor will, as quickly as practicable:

- Call out contractor(s), as required.
- Notify the Ormat Project Manager.
- Notify the local law enforcement agencies if the public safety is threatened.

(2) The Ormat Project Manager will notify the following as soon as practical and work closely with them in all phases of the curtailment, containment and cleanup operations:

#### LOCAL AUTHORITIES ***Number to be supplied***

The Drilling Supervisor will also advise local population and affected property owners if spill affects residents or property.

#### Specific Procedures

(1) For geothermal fluid spills:

- Contain spillage with dikes if possible and haul to disposal site by vacuum or water trucks or dispose of in a manner acceptable to the CRWQCB.

(2) For drilling mud:

- Repair sump or contain with dikes. Haul liquid to another sump, available tanks or approved disposal site.

(3) For petroleum products:

- Contain spill with available manpower. Use absorbents and dispose of same in approved disposal area.



For (1) through (3) above, Ormat will have the source of spill repaired at the earliest practical time, and continue working crews and equipment on cleanup until all concerned agencies are satisfied.

5. Confirm telephone notification to agencies and regulatory bodies. Telephone notification shall be confirmed by the Ormat Project Manager in writing within two weeks of telephone notification.

Written confirmation will contain:

Reason for the discharge or spillage.

Duration and volume of discharge or spillage.

Steps taken to correct problem.

Steps taken to prevent recurrence of problem.

#### E. Hazardous Gas Contingency Plan

1. There is a very limited possibility of encountering hazardous non-condensable gases while drilling and testing. Although noxious or dangerous amounts of gases have not been associated with other geothermal wells drilled in the area, it is prudent to be prepared. The three main gases expected in this area are steam, hydrogen sulfide ( $H_2S$ ), and carbon dioxide ( $CO_2$ ).

2. The effectiveness of this plan is dependent upon the cooperation and effort of each person who enters the site during drilling or testing operations. Each person must know their responsibilities under stressful emergency operating conditions. All personnel must see that their safety equipment is stored and functional in addition to the location and operation of safety equipment.

3. All personnel will be trained in warning signs, signals, first aid, and responsibilities in case of hazard gases. The site will have two briefing areas so that one is upwind from the well and containment basin at all times. Before drilling or testing commences, all personnel will be advised of escape routes. Weekly drills will be conducted.

4. All vehicles will be parked with the front towards the exit road. A normal size first aid kit, stokes litter, wind



direction apparatus, portable hand-held H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> detectors will be available on the location. There will also be H<sub>2</sub>S scavenger chemicals on the location for treating the mud. Warning signs will be posted on the access road to the location.

5. Steam is hot water in the gas form. It causes burns to the skin. It is possible that steam temperatures may exceed 300°F during flow tests. All personnel must stay away and down wind from venting steam. Note water as hot as 220°F may be present in the testing tanks. If a person is burnt, remove them from the site and cool the burnt area. Transport to the hospital.

6. H<sub>2</sub>S is a colorless gas with a rotten egg odor in concentrations under 100 ppm. Above a concentration of 100 ppm, H<sub>2</sub>S will cause health problems including death (Table 1). Above a H<sub>2</sub>S concentration of 1000 ppm, death is instantaneous. H<sub>2</sub>S is heavier than air and will accumulate in low spots. At high concentrations, H<sub>2</sub>S is combustible. Automatic H<sub>2</sub>S detectors are stationed around the rig. At a 5 ppm concentration, a red light will flash. At this concentration, workers can continue their jobs for 8 hours. At a concentration above 10 ppm, a red light will flash and a warning horn sound. All personnel will immediately assemble at the upwind briefing area except for the driller who will shut the well in. He will then travel to the briefing area. Remember at concentrations above 100 ppm, personnel can not smell H<sub>2</sub>S. Hand held detectors will be utilized to determine the H<sub>2</sub>S concentration. Depending on the measured concentration, the Company Drilling Supervisor will assign duties.

7. CO<sub>2</sub> is a colorless odorless gas. At concentrations above 50000 ppm personnel risk affliction. At concentrations above 5%, CO<sub>2</sub> is combustible. The same procedure should be utilized as the H<sub>2</sub>S procedure.

8. If a person becomes unconsciousness due to a hazardous gas, do not attempt to remove him without proper protective equipment. **You May Also Become A Victim.** Do not attempt a rescue without proper protective equipment. If the proper protective equipment, move the victim to a safe area. If the victim has been affected by H<sub>2</sub>S or CO<sub>2</sub>, apply artificial respiration until the paramedics arrive. Even if the symptoms pass, transport the victim to a hospital and place him under the care of a doctor.

9. After a hazardous gas has been detected, operations will



proceed as follows:

A. Condition - **POTENTIAL DANGER**

**H<sub>2</sub>S concentration <10 ppm**

**CO<sub>2</sub> concentration <5000 ppm**

**STEAM >150° F**

All personnel will be immediately notified of the potential danger. Routine checking of the drilling fluid and monitoring equipment will alert mud loggers of possible danger. The mud loggers will immediately notify the Company Drilling Supervisor, Tool Pusher, Driller, Test Supervisor, and Mud Engineer. These personnel will immediately notify their crew members. All safety equipment, monitors, and alarms will be checked for correct operating conditions. A review of the emergency program and drills will be conducted before drilling continues.

B. Condition - **MODERATE DANGER**

**H<sub>2</sub>S concentration 10 ppm TO 20 ppm**

**CO<sub>2</sub> concentration 5000 ppm TO 50000 ppm**

**STEAM >190° F**

All personnel will be immediately notified of the danger. The mud loggers will immediately notify the Company Drilling Supervisor, Tool Pusher, Driller, Test Supervisor, and Mud Engineer. These personnel will immediately notify their crew members. The Driller will shut in the well if H<sub>2</sub>S concentration exceeds 10 ppm. All personnel will meet at the briefing site. Selected personnel will take steps to locate the source of the hazardous gas. Drilling will not proceed until the gas is controlled. All nonessential personnel will be sent upwind and out of the potential danger zone. Gas concentrations around the well will be verified with hand held gas detectors. Access to the site will be limited to authorize personnel only. Warning signs will be posted.

C. Condition - **EXTREME DANGER**

**H<sub>2</sub>S concentration >20 ppm**

**CO<sub>2</sub> concentration >50000 ppm**

**STEAM >200° F**

All personnel will be immediately notified of the extreme danger by a honking horn. All personnel will immediately put on their protective gear. The mud loggers will immediately notify the Company Drilling



Supervisor, Tool Pusher, Driller, Test Supervisor, and Mud Engineer. These personnel will immediately notify their crew members. The Driller will shut in the well. All personnel will meet at the upwind briefing site for evacuation. The Drilling Supervisor will assess the situation, outline a control program, and assign duties to control the situation. The proper agencies will be notified. Drilling will not proceed until the gas is controlled. All nonessential personnel will be sent upwind and out of the potential danger zone. Access to the site will be limited to authorized personnel wearing protective equipment. Warning signs will be posted to limit access to the site. If the gas can not be controlled, the Emergency Plan will be initialized.

#### PHYSICAL EFFECTS OF HYDROGEN SULFIDE

CONCENTRATION (ppm)	0-2 MINUTES	15-30 MINUTES	30-60 MINUTES
10-20	Rotten egg smell	Detectable	Maximum 8-hour exposure with protective mask
100	Coughing Loss of smell	Eye pain sleepiness	throat and eye irritation
450	Eye irritation	Respiration difficult	Serious respiratory disturbance
1000	Unconsciousness	Death	Death

#### 5. Emergency Personnel and Telephone Numbers

Fire

**Number to be supplied**

Law Enforcement

**Number to be supplied**

Hospital

**Number to be supplied**

Agency Representatives

**Number to be supplied**



Company Representative  
***Number to be supplied***

Ormat Project Managers  
***Number to be supplied***



Annexe 5 : ORMAT Blowout Action Plan – Wait and Weight method. Plan d'action d'ORMAT en cas de venue éruptive -Méthode Wait and Weight

**Ormat Nevada  
EMERGENCY PLANS**

---

**BLOWOUT ACTION PLAN  
WAIT AND WEIGHT METHOD**

***To Be Posted In Doghouse***

1. The hole is to be kept full of drilling or completion fluids at all times unless this becomes impossible due to lost circulation.
2. Before starting out of hole with drillpipe or tubing, circulate off bottom until mud is properly conditioned.
3. Close and open pipe rams once per day and log on tour sheet. Pressure test BOPE prior to drilling out of casing shoes and coincident with casing test. Log results on blowout preventer check list.
4. Close blind rams when out of hole and log on tour sheet.
5. Fill hole at five (5) stand intervals or less while pulling drillpipe out of hole. Count pump strokes or use chart attached to the pit volume indicator to determine the volume required to fill the hole.
6. Watch pit flow or pit level indicator when running in the hole to insure that the volume of mud displaced by the drillpipe is not exceeded.
7. The drillpipe will be run in the hole to the shoe of the casing and a TIW valve installed to perform any of the following operations:
  - a. Slip or cut drilling line.
  - b. Repair equipment (if possible).
  - c. Any foreseen delay.
8. Record reduced circulating pressure at 30 strokes per



minute (SPM) or other suitable kick control SPM daily and after each bit change.

9. An approved inside blowout preventer and full opening safety valve with wrench must be immediately available on the rig floor.

10. A blowout prevention drill will be conducted by the rig tool pusher under the supervision of the Drilling Supervisor for each drilling crew to ensure that each person is properly trained to carry out emergency procedures. Assign kick control duties in advance: i.e. mud mixing assigned to floorman, operating pumps assigned to derrickman, etc.

11. At first indication of gain in pit level (or other sign of possible blowout), the driller will immediately do what is necessary to control the well. In most cases this action should be:

While Drilling:

- a. Pull kelly up out of rotary table and stop pumps.
- b. Open valve(s) on choke line.
- c. Close the blowout preventer and gradually reclose choke line.
- d. Record shut-in drillpipe (Pdp) and casing (Pcg) pressure. Maximum allowable casing pressure to be dependent on casing depth and burst rating. Allowable pressure for each string to be posted and noted in driller's instructions and on well control data sheet.

Inform the Drilling Supervisor and/or proceed with appropriate kick control measures as follows in Step 12.

While Tripping:

- a. Install full opening safety valve.
- b. Open valve on choke(s) line.
- c. Close safety valve.
- d. Close blowout preventer and gradually reclose choke valve(s).
- e. Record shut-in drillpipe and casing pressure. Maximum allowable casing pressure to be dependent on casing depth, mud weight and burst rating.
- f. Inform the Drilling Supervisor. Run drillstring in hole as far as practical



after first installing inside BOP  
and reopening safety valve, and/or  
proceed with appropriate kick control  
measures as follows in Step 12.

12. Calculate and mix mud of weight necessary to keep well under control using the well control worksheet and attached monograph.

Mud weight increase in lb/gallon =

$$\frac{P_{dp}}{\text{Drillstring depth in feet} \times 0.052} + 0.4 \text{ lb/gallon}$$

Where  $P_{dp}$  = shut-in drillpipe pressure in psig.

13. When sufficient volume of proper weight mud has been prepared, start pumping increased weight mud down drillpipe at constant kick control SPM which will reduce circulating pressure downward gradually from  $P_i$  (initial drillpipe circulating pressure) as calculated on the well control worksheet to  $P_f$  (final drillpipe circulating pressure) when drillpipe is filled with weighted mud. Therefore hold drillpipe pressure constant at  $P_f$  by adjusting choke until proper weight mud returns to surface.
14. When proper weight mud returns to surface, stop pumps, release any remaining pressure on casing, and check for additional kick before returning to normal operations.
15. Drill new directional hole as a last resort to kill well.



Annexe 6 : ORMAT Blowout Action Plan – Driller method. Plan d'action d'ORMAT en cas de venue éruptive - Méthode Driller

**Ormat Nevada**  
**EMERGENCY PLANS**

---

**BLOWOUT ACTION PLAN**  
**DRILLERS METHOD**

***To Be Posted In Doghouse***

- 1) The hole is to be kept full of drilling or completion fluids at all times unless this becomes impossible due to lost circulation.
- 2) Before starting out of hole with drill pipe or tubing, circulate off bottom until mud is properly conditioned.
- 3) Close and open pipe rams once per day and log on tour sheet. Pressure test BOPE prior to drilling out of casing shoes and coincident with casing test. Log results on tour sheet.
- 4) Close blind rams when out of hole and log on tour sheet.
- 5) Fill hole at five (5) stand intervals or less while pulling drill pipe out of hole. Count pump strokes or use chart attached to the pit volume indicator to determine the volume required to fill the hole.
- 6) Watch pit flow or pit level indicator when running in the hole to insure that the volume of mud displaced by the drill string is not exceeded.
- 7) The drill pipe will be run in the hole to the shoe of the casing and a full opening safety valve installed to perform any of the following operations:
  - a) Slip or cut drilling line.
  - b) Repair equipment (if possible).
  - c) Any foreseen delay.
- 8) Record on the tour sheet the reduced circulating pressure at 30 strokes per minute (SPM) or other suitable kick control pump rate daily and after each bit change.



- 9) An approved inside blowout preventer and full opening safety valve with wrench must be immediately available on the rig floor.
- 10) A blowout prevention drill will be conducted by the rig tool pusher and observed by the Drilling Supervisor for each drilling crew to ensure that each person is properly trained to carry out emergency procedures. Assign kick control duties in advance: i.e. mud mixing assigned to floorman, operating pumps assigned to derrickman, etc.
- 11) At first indication of gain in pit level (or other sign of possible blowout), the driller will immediately do what is necessary to control the well. In most cases this action should be:

#### Shut-In Procedure While Drilling:

- 12) Pull kelly above the rotary table and stop pumps.
- 13) Check the well for flow.
- 14) Close the blowout preventer and shut the well in completely.
- 15) Record pit level, shut-in drill pipe ( $P_{sidp}$ ) and shut-in casing pressure ( $P_{sicg}$ ).
- 16) Inform the Drilling Supervisor and/or proceed with appropriate kick control measures as follows.

#### Shut-in Procedure While Tripping:

- 17) Set slips with tool joint in rotary table.
- 18) Install full opening safety valve.
- 19) Close safety valve.
- 20) Close blowout preventer.
- 21) Install the kelly.
- 22) Record shut-in drill pipe and casing pressure.
- 23) Inform the Drilling Supervisor.



24) Run drill string in hole as far as practical after first installing inside BOP and reopening safety valve, and/or proceed with appropriate kick control measures as follows.

#### Kick Control Measures for Driller's Method

##### First Circulation

- 25) Select a pump speed for the kill operation. This will usually be the previously recorded slow pump rate. It is important to maintain a constant speed throughout the kill operation.
- 26) Start the pump and open the choke to maintain the casing pressure ( $P_{cg}$ ) constant as the pump is brought up to the desired kill speed. Once the kill speed is reached, observe the new drill pipe pressure ( $P_{dp}$ ). Record the drill pipe pressure.
- 27) Pump one full circulating volume at constant pump speed while operating the choke to maintain the drill pipe pressure constant.
- 28) Stop the pump and shut the choke. At this point the new shut-in casing pressure and the shut-in drill pipe pressure should be equal. Record these pressures. If a drill pipe float is making it difficult to obtain drill pipe pressure readings, the new shut in casing pressure may be used in the calculation below.

##### Second Circulation

29) Calculate the kill-weight mud density.

$$\text{New Mud Weight} = \text{Current Mud Weight} + \frac{\text{Drill Pipe Pressure}}{0.052 * \text{TVD}}$$

A trip margin may be added if desired, but management approval is required for a trip margin in excess of 0.2 ppg.

- 30) Start the pump, bringing it up to the kill speed, and operate the choke as necessary to maintain the casing pressure constant. Continue operating the choke to keep the casing pressure constant until one drill string volume of kill weight mud has been pumped.
- 31) After pumping one drill string volume of the kill weight



mud, maintain the pump speed constant and record the circulating drill pipe pressure.

- 32) Maintain the pump speed constant and operate the choke so as to maintain the drill pipe pressure constant until kill weight mud returns are measured at the surface.
- 33) Stop the pump and check for flow.





Annexe 7 : Procédure d'Ormat concernant la protection de l'environnement sur un chantier de forage.

## **PROTECTION OF THE ENVIRONMENT**

All Ormat and drilling contractor personnel will be informed of Ormat's policy regarding undue degradation of the environment. These measures are intended to prevent all unacceptable impacts from occurring as a result of these drilling operations.

### **A. Fire Prevention**

The hole site and access roads will be cleared of all vegetation. The cleared areas will be maintained during drilling operations. Fire extinguishers will be available on the site and around the drilling rig. Water that is used for drilling will also be available for fire fighting.

Personnel will be allowed to smoke only in designated areas. Any special permits required for fires, welding, and etc., will be obtained.

### **B. Prevention of Soil Erosion**

Minimal soil erosion problems are anticipated from this project because all construction has been completed. In addition, runoff will be channeled to energy dissipaters to minimize erosion.

### **C. Surface and Ground Water Quality Protection**

Estimated ground water zone is between \_\_\_\_ft below grade to \_\_\_\_ft below grade (to be determined). Limited surface water is present. The location of the operation has been selected to minimize the potential for surface water pollution from runoff during construction, drilling, and measuring.

Surface water and ground water pollution from drilling and testing will be prevented by steel casing cemented to below these zones.

Only non-toxic, non-hazardous drilling mud constituents will be utilized during drilling operations. Waste



drilling mud, drill cuttings, and any runoff from the well site will be discharged into the containment basin to prevent ground water quality degradation.

The well will be cased and cemented to prevent interzonal migrations of fluids and reduce the possibility of blowouts. Based on the water levels observed at the Tungsten, no over-pressured or gas-rich zones are expected to be encountered.

#### D. Air Quality Protection

Fugitive dust generation during use of access roads and well sites will be minimized by watering as necessary.

#### E. Prevention of Noise

To abate noise pollution, mufflers will be utilized on engine-driven equipment.

#### F. Protection of Public Health and Safety

In addition to the emergency contingency plans, public health and safety will be protected through instructions to work crews and contractors regarding compliance with regulations.

#### G. Protection of Fish, Wildlife, and Botanical Resources

Direct impacts to wildlife habitat and botanical resources will be minimized by limiting the speed of all vehicles. Fish habitats are not known to exist in the region.

#### H. Protection of Cultural Resources

Cultural resources prospect inventories were performed, resources identified and project activity located to avoid impact.

#### I. Waste Disposal

A containment basin is located on the drilling pad and all drilling fluids not contained in the steel mud tanks will be contained in this pit. After drilling operations are complete, the liquid from the reserve pit will be allowed to evaporate.



The solids remaining in the reserve pit (non-toxic drilling solids and drill cuttings, will be buried in the basin and, after it has been compacted and stabilized, the pit area will be reclaimed.

Solid waste materials (trash) will be deposited at an authorized dump by a disposal contractor.

Portable chemical sanitary facilities will be used by all personnel. These facilities will be maintained by a local contractor.

#### J. Environmental Monitoring

Regular, routine visual inspections of the drill site and access roads will be conducted by the on-site operational personnel to quickly detect and correct any operational problems that could lead to environmental problems. The drilling fluid and cuttings will be monitored by visual inspection and chemical analyses by the drilling personnel, the well-site geologist, and the contract mud engineer to detect any problems which may be occurring downhole. Environmental specialists will monitor and inspect the operations, if necessary, during the course of the project.

#### K. Well Testing

After the reservoir has been encountered in each well, a short flow test will be conducted and Temperature/Pressure Spinner logs will be run. All fluids produced during this test will be contained in the reserve pit.



Annexe 8 : Check-list d'inspection du rig (IADC Drilling Rig Safety Inspection) appliquée par ORMAT sur ses chantiers de forage.

Company: \_\_\_\_\_ Rig Number: \_\_\_\_\_ Inspection Date: \_\_\_\_\_  
 Toolpusher: \_\_\_\_\_ Driller: \_\_\_\_\_ Inspection Made by: \_\_\_\_\_

( ) If OK

(-) If not applicable

(X) If correction is needed.

Refer to the back for details.

I. DRILL SITE

- a. AUTHORIZED PERSONNEL signs posted
- b. HARD HAT/SAFETY GLASSES signs posted
- c. NO SMOKING / SMOKING areas designated
- d. NO PARKING near rig
- e. H2S controls if applicable
- f. Over head lines flagged 8' above ground
- g. Toilet Facilities provided
- h. Hard hats/safety glasses available for visitors
- i. Toolpusher's trailer (bunk house) grounded
- j. Toolpusher's trailer tied down
- k. Regulatory Safety, etc. Posters posted as required
- l. Employee training records available as needed
- m. Containers properly marked to contents
- n. Company policies posted
- o. Forklift / misc. hoisting & lifting equipment
- p. Bench grinders properly guarded, tool rest adjusted, PPE available, Safety signs posted.

II. DOG HOUSE(S)

- a. Adequate exits, doors installed properly, operate freely
- b. Approved heaters used
- c. Hazard communication/M.S.D.S. on site
- d. First aid kit and facilities
- e. Crew trained in first aid
- f. Emergency phone numbers posted
- g. Outside communications provided
- h. Safety equipment available
- i. Crew wearing hard hats and safety glasses
- j. Crew wearing hard-toed shoes (boots)
- k. Proper clothing worn by crew
- l. No hazardous jewelry worn
- m. NO SMOKING rules observed
- n. Accidents-posted on OSHA or other incident log
- o. Ton miles logged \_\_\_\_\_
- p. Gas detector fully charged and sensors working
- q. B.O.P. drills, test logged \_\_\_\_\_
- r. Safety meetings logged \_\_\_\_\_
- s. Driller or competent person at or near controls
- t. Toolpusher/Rig Manager at rig location
- u. Approved and adequate lighting
- v. General Housekeeping

III. DRILLING FLOOR AREA

- a. Rotary table area
- b. Kelly bushing guard used
- c. Kelly Safety Controls adequate if no guard used
- d. Rotary chain drive guarded
- e. All unused floor holes covered
- f. Lighting
- g. Pipe / collar slips, dies, handles, pins, keepers
- h. Racking floor area
- i. Vee door gate provided - in place
- j. Makeup and breakout tongs
- k. Tong snubbing lines, clamps
- l. Tong counter weights (sheave assemblies)
- m. Tong body and jaws condition
- n. Tong safety handle pin secured
- o. Tong dies sharp, keeper used
- p. Air hoist line, guide, guarded
- q. Catheads surface smooth, anti-rope fouling device
- r. Caltine(s)
- s. Kelly cock, wrench accessible
- t. Jerk and Spinning chain, headache post
- u. Breakout tong pull back cable, guide rollers
- v. Crown-O-Matic device, operating
- w. Drilling line
- x. Drawworks and overrunning clutch
- y. Driller's controls
- z. Hand tools
- aa. Drawworks Drum Drill Line Anchor secure
- bb. Drawworks Brake Linkage
- cc. Drawworks Guards
- dd. Proper electrical wiring provided as required
- ee. Fire extinguishers properly marked, inspected
- ff. Safety signs posted as needed.
- gg. General housekeeping

IV. STAIRS, WALKWAYS, HANDRAILS, GUARDRAILS

- a. Adequate stairs provided off rig
- b. Stairs level, secure, no obstructions
- c. Adequate handrails provided (stairs)
- d. Stair treads uniform, of non-skid type
- e. Guardrails, mid-rails, toe boards
- f. Handrails used

V. SUBSTRUCTURE

- a. Safety Signs Posted as needed
- b. Approved and adequate lighting
- c. Substructure's beams and braces
- d. All assembly pins in place, secure
- e. Dead line properly anchored

VI. BLOWOUT PREVENTERS

- a. B.O.P. properly installed, tested
- b. Wheels and stems in place
- c. BOP Stack properly stabilized
- d. All hydraulic lines connected, no leaks/damage, & protected
- e. All unused lines capped
- f. Accumulator & Remote Control unit(s) properly located – Unobstructed
- g. Gauges properly located – in good condition
- h. Choke manifold and line, secured
- i. Blooey line used, pilot light used
- j. Approved wiring and lighting in use and adequate lighting
- k. Signage
- l. Scaffolding boards secured and in good condition
- m. Fall protection properly attached under rig floor protected clean
- n. BOP Remote control properly labeled and operating
- o. Fire extinguisher located near BOP Controls area
- p. Housekeeping, drainage

VII. PIPE RACK AREA

- a. Ends of pipe racks choked
- b. Layers of pipe choked, spacers used
- c. Pipe racks level, stable
- d. Pipe rack catwalk
- e. Stairs with hand rails provided
- f. Vee door slide, pipe stops used
- g. Pipe tubs and bridges
- h. Derrick stand and ladder
- i. Employees not on top of pipe
- j. Drilling line from anchor to spool elevated off the ground
- k. General housekeeping, lighting

VIII. DERRICK, DERRICK BOARD AREA & CROWN AREA

- a. Derrick ladder – good condition
- b. Derrick climber installed properly – good condition and used
- c. Climbing/Derrick board Safety Harness, safety catch
- d. Safety lines or lanyards used
- e. Derrick emergency escape line
- f. Derrick escape cart on line or escape assembly installed
- g. Pipe fingers and tools secured (finger safety line(s) attached)
- h. Standpipe(s) (mud, air, hydraulic, gas vent) secured
- i. Mud hose snubbed on both ends
- j. Derrick board & Stabbing board fall protection installed
- k. Derrick Board / Stabbing Board – good condition
- l. Derrick properly guyed if applicable
- m. Boom(s) and boom lines
- n. Sheaves & Shackles properly attached to the derrick (safety line(s) / clips attached)
- o. Approved and adequate lighting
- p. Derrick Crown Light operating and in good condition, secure
- q. Crown Saver blocks are in good condition & wrapped with expanded metal
- r. Handrails at crown in good condition.
- s. Derrick, A-frame – pins in place, secured with keepers
- t. Elevators, balls
- u. Traveling Blocks, Top Drive, Swivel
- v. No loose ropes or other items in the derrick.
- w. General housekeeping

IX. MUD PUMP AREA

- a. Rotating Equipment, Drive Belts, Pony Rods guarded
- b. Head and valve covers fully bolted
- c. Shear pin pop-off valve covered/tested
- d. Ends of relief lines secured
- e. Ends of high pressure vibrator hose(s) snubbed
- f. Approved and adequate lighting
- g. Drip pans installed and cleaned as needed.
- h. Tools & supplies stored in proper place.
- i. General housekeeping

X. MUD MIXING AREA

- a. Bagged material properly stacked
- b. Caustic or acids properly stored separate from other materials
- c. Chemical mixing barrel
- d. Adequate personal protective equipment
- e. Signs posted & MSDS in mixing area(s)
- f. Adequate eyewash (shower) available
- g. Adequate ventilation in area
- h. Elevated loading door opening protected
- i. Approved and adequate lighting
- j. General Housekeeping

XI. MUD TANKS AND PITS

- a. Adequate stairs with handrails
- b. Walkways & guardrails in good condition
- c. Walkways free from obstruction/tripping hazards
- d. Gates seal, no leaks in tanks
- e. Adequate ventilation in area
- f. Guardrails provided on crossovers
- g. Approved adequate lighting
- h. Eye protection required warning signs
- i. Shale shaker belt & pulley drive guarded
- j. Desander, desilter, degasser units
- k. Explosive-proof equipment at shale shaker area
- l. Agitator shafts and couplings guarded
- m. Mud guns and jetting hoses secured
- n. General housekeeping

XII. GENERATOR AREA & ENGINE AREA

- a. Generators properly located
- b. All generator moving parts guarded
- c. Generators properly grounded
- d. Cover panels on electrical control boxes
- e. Electrical controls marked - lockout/tagout
- f. HIGH VOLTAGE warning signs used
- g. Insulating mats at electrical panels
- h. All electrical tools grounded
- i. Condition of electrical wiring
- j. Electrical wires properly strung
- k. Unused electrical outlets covered
- l. Air compressors properly guarded
- m. Air storage tanks equipped with pop-off
- n. Hearing Protection Signs Posted
- o. Hearing protection available & utilized
- p. S.C.R. house if available
- q. Lighting
- r. Engine drip pans installed in good condition
- s. General housekeeping

XIII. FUEL STORAGE TANKS

- a. Fuel storage tanks properly located
- b. All storage valves marked as to contents
- c. Discharge nozzles, hoses, valves
- d. Liquefied petroleum gas storage tanks
- e. Piping and fuel lines
- f. Stationary ladders on storage tanks
- g. NO SMOKING signs posted
- h. Tanks labeled as per hazard & contents
- i. Off road use only sign posted as needed
- j. Drip pans installed in good condition
- k. General housekeeping, lighting

XIV. FIRE PROTECTION

- a. Adequate fire extinguishers distributed around the rig and location, not obstructed
- b. Fire extinguishers fully charged, in good condition, current inspection
- c. NO SMOKING Signs posted as needed
- d. No open pit burning
- e. Flammables in U.L. safety cans
- f. Flare area clear of combustibles
- g. Boiler (air heater) and its safety controls
- h. Welding performed safely
- i. Fire Watch Posted
- j. Spark and heat arrester on engines

XV. SLEEPING QUARTERS/BUNK HOUSE

- a. Quarters / Bunk house clean & Orderly
- b. Restroom clean & sanitary, needed supplies available
- c. Smoke/Fire alarms available and working
- d. Food preparation area clean, food and dishes put away
- e. Fire Extinguishers available
- f. Two exits – unobstructed

Unsatisfactory mark requires clarifying comment.



## **CONCESSION DE BOUILLANTE**

### **Dossier de Demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers pour la réalisation de deux forages (BO-11 et BO-12)**

#### **Partie 4 : Etude d'impact**

Novembre 2018

**Géothermie Bouillante  
Le bourg  
97125 Bouillante**



## **PRESENTATION**

Ce document est un extrait de la **Partie 4 « Etude d'impact »** du Dossier de Demande d'Autorisation d'Ouverture de Travaux Miniers (DAOTM) pour la réalisation de deux forages (BO-11 et BO-12), déposé par la société **Géothermie Bouillante** en novembre 2018.

Cet extrait a pour objet de présenter les incidences sur l'environnement des travaux de forage du puits BO-12 ; la réalisation du puits BO-11 ayant été abandonné.



## SOMMAIRE DE L'ETUDE D'IMPACT

<b>I.</b>	<b>INTRODUCTION DE L'ETUDE D'IMPACT.....</b>	<b>9</b>
<b>II.</b>	<b>CONTEXTE, PRINCIPE ET JUSTIFICATION DU PROJET.....</b>	<b>9</b>
<b>III.</b>	<b>ANALYSE DE L'ETAT INITIAL DES MILIEUX SUSCEPTIBLES D'ETRE AFFECTES PAR LE PROJET ...</b>	<b>9</b>
<b>IV.</b>	<b>ANALYSE DES EFFETS DES TRAVAUX DE FORAGE ENVISAGES SUR L'ENVIRONNEMENT .....</b>	<b>9</b>
<b>IV.1.</b>	<b>Les effets potentiels des travaux sur la faune et la flore.....</b>	<b>10</b>
IV.1.1	Le site de forage BO-12 .....	10
<b>IV.2.</b>	<b>Les effets potentiels des travaux sur le sol .....</b>	<b>20</b>
IV.2.1	Le site du puits BO-12 .....	20
IV.2.2	Mesures envisagées .....	20
<b>IV.3.</b>	<b>Les effets potentiels des travaux de forage sur les eaux de surface .....</b>	<b>21</b>
IV.3.1	Effets identifiés.....	21
IV.3.2	Mesures envisagées .....	21
<b>IV.4.</b>	<b>Les effets potentiels des travaux de forage sur les eaux souterraines et les ressources en eau</b>	<b>25</b>
IV.4.1	Aquifères concernés.....	25
IV.4.2	Mesures envisagées .....	25
IV.4.3	Conformité des travaux de forage avec le SDAGE de la Guadeloupe.....	25
<b>IV.5.</b>	<b>Les effets potentiels des travaux de forage sur le milieu marin de la baie de Bouillante..</b>	<b>29</b>
IV.5.1	Le site du puits BO-12 .....	29
<b>IV.6.</b>	<b>les effets potentiels sur la qualité de l'air .....</b>	<b>30</b>
IV.6.1	Effets identifiés.....	30
IV.6.2	Les émissions de poussières.....	30
IV.6.3	Les émissions de gaz d'échappement.....	30
IV.6.4	Les émissions de gaz présents dans le fluide géothermal de Bouillante .....	30
<b>IV.7.</b>	<b>Les impacts potentiels des travaux en termes de nuisances sonores .....</b>	<b>39</b>
IV.7.1	Nature des impacts .....	39
IV.7.2	Populations concernées .....	39
IV.7.3	Règlementation.....	39
IV.7.4	Règlementation relative au bruit de voisinage .....	40
IV.7.5	Evaluation du niveau de bruit généré par l'appareil de forage .....	41
IV.7.6	Mesures envisagées concernant le bruit .....	42
<b>IV.8.</b>	<b>Les effets sur la circulation et les infrastructures .....</b>	<b>44</b>
IV.8.1	Les effets sur la circulation routière.....	44
IV.8.2	Accès au chantier de forage du puits BO-12 .....	44
IV.8.3	Mesures envisagées concernant la circulation .....	44
<b>IV.9.</b>	<b>Les effets sur la sécurité des personnes.....</b>	<b>46</b>
IV.9.1	Information des riverains.....	46
IV.9.2	Protection et accès au site .....	47
IV.9.3	Moyens de secours .....	47



IV.9.4	Sécurité des visiteurs .....	47
IV.9.5	Sécurité civile .....	47
IV.9.6	Protection contre les émanations de vapeur et de gaz .....	47
IV.9.7	Protection contre les risques de pollution .....	47
IV.9.8	Protection contre l'incendie.....	48
<b>IV.10.</b>	<b>Les effets sur les risques naturels.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.11.</b>	<b>Les effets des déchets et la propreté des chantiers de forage.....</b>	<b>50</b>
IV.11.1	Impacts potentiels des déchets et effluents .....	50
IV.11.2	Mesures concernant les fluides de forage et déblais.....	50
IV.11.3	Mesures concernant les autres déchets industriels banals.....	51
IV.11.4	Mesures concernant les eaux de ruissellement et eaux usées .....	51
IV.11.5	Mesures concernant le fluide géothermal .....	51
IV.11.6	Mesures concernant les déchets ménagers .....	52
IV.11.7	Mesures concernant les combustibles et lubrifiants .....	52
IV.11.8	Mesures concernant la propreté générale du chantier .....	53
<b>IV.12.</b>	<b>Les Impacts visuels des travaux.....</b>	<b>54</b>
IV.12.1	Principaux impacts attendus .....	54
IV.12.2	Le site de forage du puits BO-12 .....	54
IV.12.3	Mesures concernant l'impact visuel des travaux .....	54
<b>IV.13.</b>	<b>Les effets sur le patrimoine.....</b>	<b>55</b>
<b>IV.14.</b>	<b>Les effets sur les activités socio-économiques locales et régionales .....</b>	<b>55</b>
IV.14.1	Impacts des travaux sur les réseaux existants.....	55
IV.14.2	Impacts des travaux sur les activités socio-économiques de la commune.....	55
<b>IV.15.</b>	<b>Récapitulatif des Mesures ERC.....</b>	<b>56</b>
IV.15.1	Introduction .....	56
IV.15.2	Estimation du coût global des mesures appliquées lors de la réalisation des travaux de forage	63
<b>V.</b>	<b>LES METHODES D'EVALUATION DES IMPACTS ET LES DIFFICULTES RENCONTREES .....</b>	<b>65</b>



## LISTE DES FIGURES

Figure 61 : Vue de la parcelle AO 413 depuis le chemin Descoudes. Le chemin bétonné longe l'extérieur du mur d'enceinte de la plateforme actuelle. Le site de forage du puits BO-12 est positionné au bas de ce chemin.....	10
Figure 62 : Vue de la plateforme des puits actuelle situé à Plateau. Le site de forage du puits BO-12 se situe au fond dans le prolongement de la plateforme. ....	11
Figure 63 : Illustration de la végétation de type Habitat 1 au niveau de la parcelle AO 413 qui sera concernée par les travaux de forage du puits BO-12.....	11
Figure 64 : Cartographie des habitats au sein de la parcelle AO 413 (d'après Caraïbes Environnement, 2018) superposée au périmètre de la zone qui sera concernée par les travaux de forage du puits BO-12. ....	13
Figure 65 : Coupe technique prévisionnelle des puits, avec un détail de la partie supérieure des ouvrages (0-150 m) montrant les trois tubages emboîtés avec cimentation des annulaires.....	22
Figure 66 : Bassin de rétention bétonné sur la plateforme des puits actuelle destiné à recueillir le fluide géothermal déchargé durant les phases transitoires d'ouverture et de chauffe des puits, et de maintien en température. ....	23
Figure 66 : Extrait de la carte topographique de l'IGN au 1/25 000 au niveau du bourg de Bouillante montrant la localisation des deux puits BO-11 et BO-12 faisant l'objet de cette demande et la localisation des trois puits (BO-8, BO-9 et BO-10) ayant fait l'objet d'une demande précédente en janvier 2018, par rapport au point de captage le plus proche (Coordonnées UTM WGS84). ....	27
Figure 67 : Schéma de la ligne d'essai utilisée pour les essais de production des puits BO-11 et BO-12 montrant le dispositif d'injection de soude pour neutraliser le gaz H <sub>2</sub> S si nécessaire (d'après un document de Ormat). ....	36
Figure 68 : Echelle du bruit en dB(A) (source ADEME).....	41
Figure 69 : Carte des niveaux de bruit générés par l'appareil de forage autour du site de forage du puits BO-12 (source : ORMAT). ....	42
Figure 71 : Exemple de mur anti-bruit mis en place au niveau de la clôture du site de la centrale dans la rue Vanier et qui pourrait être installé en périphérie du chantier de forage pour réduire ses nuisances sonores.....	43
Figure 73 : Vue du Chemin Descoudes qui est la voie d'accès au chantier de forage du puits BO-12. ....	45
Figure 74 : Exemple d'un panneau d'information relatif à un chantier de forage géothermique.....	46
Figure 75 : Illustration du tri des déchets industriels banals tel qu'il est appliqué sur le site de la centrale et qu'il sera appliqué sur les chantiers de forage. ....	51
Figure 76 : Bacs de rétention et stockage d'huile sur un chantier.....	52

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 22 : Liste des espèces animales rencontrées sur la parcelle AO413 (Caraïbes Environnement, 2018). ....	15
Tableau 23 : Concentration des gaz incondensables présents dans la phase vapeur délivrée par les puits BO-5 et BO-6 à la sortie du séparateur HP à une pression de 6,5 bars-a le 06/02/2018 (Prélèvement et analyse par ISOR). ....	31
Tableau 24 : Relation dose/effets sur l'homme pour l'hydrogène sulfuré (INERIS, 2011). ....	32
Tableau 25 : Seuils de toxicité aiguë pour les émissions accidentelles d'hydrogène sulfuré en fonction de la dose et du temps d'exposition d'après l'INERIS.....	32



Tableau 26 : Valeurs limites d'exposition professionnelle à l'hydrogène sulfuré dans différents pays. ....	33
Tableau 27 : Valeurs toxicologiques de références considérées par l'INERIS (2011). ....	34
Tableau 28 : Valeurs toxicologiques pour l'exposition humaine à l'hydrogène sulfuré retenues par l'INERIS dans sa mise à jour de 2011. ....	35
Tableau 29 : Valeurs d'émergences maximales admissibles.....	40



## I. INTRODUCTION DE L'ÉTUDE D'IMPACT

## II. CONTEXTE, PRINCIPE ET JUSTIFICATION DU PROJET

## III. ANALYSE DE L'ÉTAT INITIAL DES MILIEUX SUSCEPTIBLES D'ÊTRE AFFECTÉS PAR LE PROJET

## IV. ANALYSE DES EFFETS DES TRAVAUX DE FORAGE ENVISAGÉS SUR L'ENVIRONNEMENT

La loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages a inscrit des principes forts dans le Code de l'Environnement et a enrichi la séquence ERC (Eviter, Réduire, Compenser les effets négatifs d'un projet). Il est de la responsabilité du maître d'ouvrage de préciser au niveau de l'étude d'impact les mesures qu'il envisage de mettre en œuvre pour préserver la biodiversité.

Ce chapitre analyse les effets potentiels des travaux de forage du puits BO-12 sur son environnement et présente les mesures qui seront prises pour **Eviter, Réduire ou Compenser** les effets négatifs de ces travaux, en abordant successivement :

- 1) Les effets des travaux sur la faune et la flore ;
- 2) Les effets sur le sol ;
- 3) Les effets sur les eaux de surface ;
- 4) Les effets sur les eaux souterraines et les ressources en eau ;
- 5) Les effets sur le milieu marin de la baie de Bouillante ;
- 6) Les effets sur la qualité de l'air ;
- 7) Les effets sur le bruit ;
- 8) Les effets sur la circulation et les infrastructures ;
- 9) Les effets sur la sécurité des personnes ;
- 10) Les effets sur les risques naturels ;
- 11) Les effets des déchets et la propreté des sites ;
- 12) Les effets visuels sur les paysages ;
- 13) Les effets sur le patrimoine ;
- 14) Les effets sur les activités socio-économiques locales et régionales.

## IV.1. LES EFFETS POTENTIELS DES TRAVAUX SUR LA FAUNE ET LA FLORE

### IV.1.1 Le site de forage BO-12

#### IV.1.1.1 Présentation

Le site retenu pour réaliser les travaux de forage du puits BO-12 fait partie d'un ensemble boisé avec une couverture végétale variée comprenant des arbres de grande taille, des taillis et des prairies plus ou moins arbustives (Figure 61). Ce milieu est grignoté par différentes formes d'activité (zones de pâturage, élagage, constructions, ...). A proximité immédiate, la plateforme actuelle des puits représente l'élément paysager dominant (Figure 62).

Des inventaires de la faune et de la flore ont été réalisés par le Bureau d'études environnementales Caraïbe Environnement Développement, basé à Baie Mahault, pour identifier les contenus faunistique et floristique du milieu naturel et évaluer sa sensibilité environnementale.



Figure 1 : Vue de la parcelle AO 413 depuis le chemin Descoudes. Le chemin bétonné longe l'extérieur du mur d'enceinte de la plateforme actuelle. Le site de forage du puits BO-12 est positionné au bas de ce chemin



Figure 2 : Vue de la plateforme des puits actuelle situé à Plateau. Le site de forage du puits BO-12 se situe au fond dans le prolongement de la plateforme.



Figure 3 : Illustration de la végétation de type Habitat 1 au niveau de la parcelle AO 413 qui sera concernée par les travaux de forage du puits BO-12.

#### **IV.1.1.2 Inventaire de la flore présente au niveau du site BO-12**

L'inventaire floristique a permis de recenser 124 espèces au niveau de la parcelle AO 413 et de ses environs proches dont un quart sont naturalisées ou cultivées. Près d'une dizaine d'espèces indigènes assez rares ont été identifiées. Deux espèces rares et une espèce protégée par arrêté ministériel (Akoma Gran Té) ont été observées près de la Ravine Blanche, en dehors de la zone concernée par les travaux (Figure 64). Trois types d'habitats ont été identifiés par Caraïbes Environnement :

- ✓ **Habitat 1** : Fourré haut arbustif (d'espèces pionnières), à Bois de mèche, Bois Mabouge, Monval Zagadi, Campêche. Cette zone boisée est riche en arbres fruitiers et en espèces utiles à proximité des habitations. Toutefois, on observe des degrés de dégradation dus principalement aux prélèvements de bois (gaulettes, charbon de bois) ainsi que des structures anthropiques en désuétude (cages à poules, porcheries, ancienne maison, fours à charbon... ; Figure 63 ;
- ✓ **Habitat 2** : Formation boisée xérophile secondaire à Gommier rouge, Poirier pays, Bois de rose, Savonnette, Lépiné. Cet habitat joue le rôle de zone tampon entre la zone défrichée en partie dégradée (habitat 1) et la partie boisée (habitat 3).
- ✓ **Habitat 3** : Forêt semi-décidue (més-xérophile en bas de versant) à Courbaril, Acomat franc, Raisin coudre, Mapou rivière avec la présence de la ravine blanche en contre-bas.

D'un point de vue sensibilité écologique, le classement suivant a été établi :

- ⇒ Habitat 1 : sensibilité nulle à faible ;
- ⇒ Habitat 2 : sensibilité moyenne ;
- ⇒ Habitat 3 : sensibilité forte.

La Figure 64 montre que la zone concernée par les travaux de forage du puits BO-12 est caractérisée quasi-exclusivement par le type **Habitat 1** avec une sensibilité écologique nulle à faible. Aucun individu de l'espèce protégée (Akoma Gran Té) n'y a été rencontré.

#### IV.1.1.3 Inventaire de la faune présente au niveau du site BO-12

La faune est caractérisée par des espèces forestières dont une partie est endémique et sub-endémique. La plupart des taxons sont protégés. Les **enjeux faunistiques patrimoniaux sont forts**, ce qui s'explique aisément en raison de l'importance du massif forestier de ce secteur qui, bien que dégradé au niveau du sous-bois, garde des **caractéristiques écologiques favorables à la présence des espèces à valeurs patrimoniales**. L'inventaire a permis d'observer :

- ✓ 1 amphibien ;
- ✓ 4 reptiles ;
- ✓ 25 espèces d'oiseaux ;
- ✓ 6 chiroptères ;
- ✓ 3 mammifères terrestres.

Le Tableau 22 fournit la liste des espèces répertoriées. Parmi elles, on recense plusieurs espèces protégées : 17 oiseaux, 6 chiroptères, 2 reptiles et 1 amphibien. En prenant en compte différents critères patrimoniaux, Caraïbes Environnement a déterminé l'enjeu local de conservation (ELC) pour l'ensemble de ces espèces.

Trois espèces patrimoniales à enjeux forts ont été recensées :

- ✓ Le **Pic de la Guadeloupe**, espèce endémique de la Guadeloupe, inféodée aux massifs forestiers et par conséquent sensible au déboisement. Il est présent au niveau de la parcelle AO413 mais dans la partie boisée en dehors de la zone des travaux ;
- ✓ Le **Moucherolle gobemouche**, petit oiseau de la famille des Tyrannidés, endémique de la Guadeloupe et de la Dominique. Il est très sensible à la fragmentation et la dégradation des boisements ;
- ✓ Le **Murin de la Dominique**, petite chauve-souris insectivore et forestière.



Figure 4 : Cartographie des habitats au sein de la parcelle AO 413 (d'après Caraïbes Environnement, 2018) superposée au périmètre de la zone qui sera concernée par les travaux de forage du puits BO-12.



Nom vernaculaire	SR	SP	LR	IRG	ELC
Pic de la Guadeloupe	N	P	NT	1	Fort
Moucherolle gobemouche	N	P	NT	2	Fort
Murin de la Dominique	N	P	VU	2	Fort
Crécerelle d'Amérique	N	P		5	Modéré
Colombe rouviolette	N	NP		5	Modéré
Colombe à croissants	N	NP		4	Modéré
Grive à pieds jaunes	N	NP	VU	2	Modéré
Trembleur brun	N	P		2	Modéré
Paruline caféïette	N	P		2	Modéré
Sphérodactyle bizarre	N	P		2	Modéré
Héron vert	N	P		5	Faible
Colombe à queue noire	N	NP		5	Faible
Tourterelle à queue carré	N	NP		5	Faible
Coulicou manioc	N	P		5	Faible
Moqueur corossol	N	NP		4	Faible
Moqueur grivotte	N	NP		3	Faible
Viréo à moustaches	N	P		5	Faible
Paruline jaune	N	P		5	Faible
Saltator gros bec	N	P		2	Faible
Quiscale merle	N	P		5	Faible
Anolis de la Guadeloupe	N	P		1	Faible
Tadaride du Brésil	N	P		5	Faible
Fer de lance commun	N	P		5	Faible
Brachyphylle des Antilles	N	P		4	Faible
Ptéronote de Davy	N	P		5	Faible
Colibri huppé	N	P		3	Très faible
Elénie siffleuse	N	P		3+	Très faible
Tyran gris	N	P		5	Très faible
Sporophile rouge-gorge	N	P		3	Très faible
Sucrier à ventre jaune	N	P		5	Très faible
Sporophile ceci	N	P		5	Très faible
Molosse commun	N	P		5	Très faible
Tourterelle turque	N	NP		I	Nul
Hylode de Johnstone	N	P		I	Nul
Hémidactyle mabouia	N	NP		I	Nul
Gymnophthalme d'Underwood	N	NP		I	Nul
Petite mangouste indienne	N	NP		I	Nul
Rat noir	N	NP		I	Nul
Souris grise	N	NP		I	Nul

Tableau 1 : Liste des espèces animales rencontrées sur la parcelle AO413 (Caraïbes Environnement, 2018).

Légende : Statut de reproduction SR (3.1): E= Erratique ; MH= Migrateur hivernant ; N=Nicheur ; S=Sédentaire. Statut de protection SP : NP = Non Protégé ; P= Protégé ; IRG= Indice de Répartition Géographique (3.1). Statut IUCN (3.1) : NT= Quasi-menacé ; VU= Vulnérable. ELC = Enjeu local de conservation.

Parmi les espèces à enjeux modérés, quelques espèces sub-endémiques forestières sont à citer : la Grive à pieds jaunes, le Trembleur brun, la Paruline caféïette et un petit reptile, le Sphérodactyle bizarre. Sur le site, il est plutôt abondant, mais l’espèce est sensible au déboisement et à la qualité de la litière. Pour l’ensemble de ces espèces, les boisements ainsi que la Ravine Blanche sont importants.

L’aménagement de la plateforme de forage nécessitera de défricher et terrasser une aire de l’ordre de 3 000 m<sup>2</sup> dont 2925 m<sup>2</sup> classés en Habitat 1 et seulement 75 m<sup>2</sup> classés en Habitat 2. Ce défrichement aura pour résultat de détruire des espèces végétales et les biotopes des espèces animales présentes. Toutefois, l’enjeu environnemental est très faible car il s’agit quasi-exclusivement d’une zone classée en Habitat 1 où l’inventaire floristique n’a pas mis en évidence d’espèce végétale protégée ou en voie de disparition. Elle a une sensibilité écologique considérée comme nulle à faible. Cette destruction locale de biotope ne devrait donc pas avoir un impact significatif sur la biodiversité. Le fait de défricher 75 m<sup>2</sup> au sein de la zone classée en Habitat 2 n’aura pas d’incidence notable sur la biodiversité.

Il convient de noter que ce défrichement ne concernera pas la Ravine Blanche et ses abords qui ont une valeur patrimoniale élevée (Habitat 3).

#### IV.1.1.4 Effets potentiels des travaux sur la flore au niveau du site BO-12

Le site de forage concernera un secteur de la parcelle AO 413 classé quasi-exclusivement en **Habitat 1** et dont la sensibilité environnementale est considérée comme nulle à faible (Figure 64). Toutefois, des impacts possibles sur la flore sont à prendre en compte, liés aux :

- Défrichement ;
- Travaux de terrassement ;
- Emissions de gaz H<sub>2</sub>S .

Enfin, l’aménagement de cette nouvelle plateforme ne créera pas de rupture écologique dans la mesure où elle se situe dans la continuité de la plateforme existante.

Pendant le forage, il n’y aura pas d’émissions de gaz H<sub>2</sub>S sauf accidentelle. Les émissions temporaires de gaz H<sub>2</sub>S seront cantonnées à l’essai de production de courte durée (quelques jours) à la fin du forage. Elles pourraient entraîner des nécroses foliaires au niveau des arbres autour de la plateforme. Toutefois, le retour d’expérience des forages précédents a montré que ce phénomène était temporaire et que les feuillages retrouvaient rapidement leur aspect habituel.

#### IV.1.1.5 Effets potentiels des travaux sur la faune au niveau du site BO-12

Lors de l’aménagement de la plateforme :

- ✓ Le défrichage et le terrassement de la plateforme entraîneront la destruction de biotopes ;
- ✓ La circulation des engins entraînera des nuisances sonores qui éloigneront temporairement certaines espèces et perturberont la nidification.

Pendant les travaux de forage :

- ✓ les nuisances sonores (environ 80 dB(A) en limite de plateforme) du chantier qui fonctionnera 24hx24h éloigneront temporairement certaines espèces et perturberont la nidification ;

- ✓ Les nuisances lumineuses du chantier pourront également perturber et chasser la faune vers un habitat naturel moins perturbé. A contrario, elles pourront également attirer certaines espèces comme des insectes et leurs prédateurs (chauve-souris) ;
- ✓ La présence de déchets pourra attirer une faune de nuisibles (rats,...) ;
- ✓ Une pollution des eaux superficielles en lien avec des rejets du chantier pourrait entraîner la mortalité de certaines espèces vivant dans le sol ;
- ✓ La présence de bassin de stockage des boues de forage et du fluide géothermal pourra être une source d’intoxication potentielle pour la faune.

Pendant l’essai de production à la suite des travaux de forage :

- ✓ Les émissions temporaires de gaz H<sub>2</sub>S lors de l’essai de production de courte durée à la fin du forage pourraient être toxiques pour la faune présente au niveau et autour du site, et/ou altérer la qualité de l’air et éloigner de façon temporaire des espèces animales.

Toutefois, les effets du chantier de forage sur la faune seront limités pour les raisons suivantes :

- ✓ Il s’agit de travaux temporaires dont la durée est estimée à 3 mois seulement;
- ✓ La zone qui sera concernée par le défrichage et les travaux du chantier de forage est considérée comme ayant une sensibilité écologique nulle à faible Figure 64. Il s’agit d’un biotope déjà partiellement dégradé par des prélèvements récurrents de végétation, des constructions et une anthropisation ancienne ;
- ✓ Comme pour la flore, l’aménagement de la plateforme ne créera pas de rupture écologique dans la mesure où elle se situe dans la continuité de la plateforme existante ;
- ✓ La faune (en particulier les oiseaux) aura la possibilité de trouver refuge dans la forêt à proximité ;
- ✓ La surface concernée sera limitée (3000 m<sup>2</sup> environ) et la destruction locale de biotopes ne devrait donc pas avoir un impact significatif sur la biodiversité ;
- ✓ Les émissions de gaz H<sub>2</sub>S seront de courte durée (quelques jours) ;
- ✓ La faune peuplant les espaces naturels protégés sur la commune sera éloignée du site et ne risque donc pas d’être perturbée par le chantier de forage.

Par ailleurs, comme pour la flore, les travaux ne concernent pas la Ravine Blanche et sa proximité qui ont une valeur patrimoniale élevée (Habitat 3).

#### **IV.1.1.6 Mesures ERC envisagées au niveau du site BO-12**

Les mesures envisagées par Géothermie Bouillante pour **Eviter, Réduire, Compenser** (ERC) les effets des travaux de forages sur le milieu naturel au niveau de la parcelle AO 413 sont répertoriées ci-après.

##### **IV.1.1.6.1 Mesures d’Evitement envisagées**

###### **E1 : Défrichage limité**

Le défrichage sera restreint à la zone d’Habitat 1 à sensibilité écologique nulle à faible (Figure 64), et à une toute petite surface de la zone d’Habitat 2 à sensibilité écologique moyenne. Aucun défrichage ne sera effectué dans la zone d’Habitat 3 à sensibilité écologique forte.

###### **E2 : Propreté du site**

Le site des travaux sera maintenu propre et les déchets seront enlevés régulièrement pour ne pas attirer d’espèces nuisibles. Également, la plateforme sera clôturée afin de constituer un frein à l’intrusion d’espèces nuisibles.

**E3 : Eviter les pollutions ponctuelles et diffuses**

Les mesures nécessaires seront prises pour éviter la pollution des sols et eaux de surface et préserver la faune et la flore qu’ils renferment (réseau d’eaux pluviales équipé de dispositif déshuileur/desableur, bassins de stockage des fluides et effluents étanches, stockage des produits chimiques sur des bacs de rétention,...).

**IV.1.1.6.2 Mesures de Réduction****R1 : Défrichage progressif**

Le défrichage sera manuel et progressif pour limiter le stress de la faune.

**R2 : Période de travaux de préparation de la plateforme**

De préférence et dans la mesure du possible, les travaux de défrichage, décapage, terrassement, nécessaires à la préparation de la plateforme de forage, seront effectués pendant la période de moindre activité reproductrice (août à février pour la plupart des espèces).

**R3 : Pollution lumineuse**

L’éclairage de la plateforme sera adapté pour limiter la pollution lumineuse qui impacte certains oiseaux et chiroptères (éclairage bas tourné vers l’intérieur du site et privilégiant les lampes au sodium à basse pression).

**R4 : Pollution sonore**

Le bruit des engins et machines sera maîtrisé pour ne pas trop perturber la faune et limiter son éloignement. Seuls les matériels homologués seront utilisés. Les appareils électriques ou hydrauliques seront préférés aux matériels pneumatiques. Les activités les plus bruyantes seront dans la mesure du possible effectuées en période diurne.

**R5 : Revégétalisation**

Les aménagements paysagers sur le pourtour de la plateforme privilégieront les espèces végétales locales et sauvages. Ils auront pour ambition de restaurer la strate arbustive de sous-bois et les espèces qui le fréquentent, impactées par le défrichage. Ils constitueront également des écrans paysagers.

**IV.1.1.6.3 Mesures de Compensation****C1 : Restauration de la biodiversité au niveau de la zone des travaux**

A l’issue des travaux et dans la mesure du possible, la plateforme de forage sera partiellement revégétalisée afin de restaurer la biodiversité.

**C2 : Lutte contre les espèces exotiques envahissantes**

En lien avec le défrichage, l’invasion du milieu naturel par les espèces exotiques envahissantes (EEE) identifiées lors de l’étude faunistique sera contrôlé ; l’objectif étant de participer au maintien ou au développement de la biodiversité.

**C3 : Lutte contre les espèces invasives**

Le site des travaux sera clôturé afin de le protéger d’éventuelles intrusions de la faune (chiens, rat, ...).

**C4 : Suivi des impacts pendant les travaux de forage**



Un suivi de la flore sur le pourtour de la plateforme sera mis en place pendant les travaux de forage afin d’évaluer l’impact des travaux (gaz d’échappement, émissions de vapeur et de gaz H<sub>2</sub>S, ...) et d’adapter éventuellement le projet.

**C5 : Suivi de l’évolution du milieu naturel à l’issue des travaux de forage**

Lorsque les travaux de forage seront terminés, et après un certain temps nécessaire à un « retour à l’équilibre » du milieu naturel, un nouvel état des lieux de la faune et de la flore au niveau de la parcelle AO413 sera réalisé afin d’évaluer l’impact des travaux sur la biodiversité.

**C6 : Restauration des espaces dégradés de la forêt**

A titre de compensation pour la perte de biodiversité causée par la création de la plateforme de forage, il est envisagé de restaurer la forêt au niveau de la parcelle AO 413 là où elle a été dégradée et subi des impacts anthropiques antérieurs (construction d’abris pour animaux, prélèvements de bois,...). Cette action a pour ambition de restaurer la biodiversité de cette parcelle au niveau des zones classés en Habitat 2 et Habitat 3, ayant une sensibilité écologique moyenne à élevée. Elle pourrait toutefois avoir une ampleur faible dans la mesure où l’essentiel des surfaces dégradées seront concernées par l’aménagement de la plateforme.



## **IV.2. LES EFFETS POTENTIELS DES TRAVAUX SUR LE SOL**

### **IV.2.1 Le site du puits BO-12**

L’aménagement de la plateforme de forage (terrassements, déblaiements au niveau du bassin (bourbier) et de la cave du puits, mise en place d’une semelle en béton imperméable, passages d’engins lourds sur le chemin d’accès,...) correspond à un changement de fonction et d’usage du sol et à ce titre est à l’origine d’impacts dont les plus importants seront l’artificialisation et l’imperméabilisation du sol.

Il existe également un risque de pollution du sol par déversement d’hydrocarbures ou autres produits chimiques. Ce point sera traité plus loin au chapitre IV.3.

### **IV.2.2 Mesures envisagées**

Les mesures suivantes sont envisagées pour **Eviter, Réduire, Compenser**, les impacts des travaux sur le sol. Ce point concerne plus principalement les mesures qui seront prises en cas d’abandon des puits et de remise en état des plateformes, et plus particulièrement le site du puits BO-12.

#### **IV.2.2.1 Mesures de réduction**

Tous les produits et déchets stockés sur la plateforme seront triés et dirigés vers des centres de traitement ou de recyclage selon leur nature.

Tous les équipements présents seront démontés. Les éléments métalliques présents (conduite, vannes, séparateur,...) seront triés et dirigés vers un centre de recyclage. Les gravats seront évacués vers un centre agréé.

Le bassin bétonné (bourbier) sera démoli et comblé ; les gravats seront dirigés vers un centre agréé.

Les parties bétonnées de la plateforme seront démolies et les gravats évacués vers un centre agréé.

#### **IV.2.2.2 Mesures de compensation**

L’ensemble de la plateforme sera revégétalisé avec des espèces locales et sauvages afin de restaurer la biodiversité. Une attention particulière sera portée à la revégétalisation des éventuels talus pour prévenir les ravinements.



### IV.3. LES EFFETS POTENTIELS DES TRAVAUX DE FORAGE SUR LES EAUX DE SURFACE

#### IV.3.1 Effets identifiés

Lors des différentes étapes des travaux de forage du puits BO-12 (installation, forage, démantèlement), les activités de chantier sont susceptibles de donner lieu à :

- ✓ Des déversements accidentels d’hydrocarbures (huiles de vidange, graisses, fuel,...) et autres produits chimiques courants sur un chantier industriel;
- ✓ Des déversements accidentels de la boue de forage lors de la foration ;
- ✓ Des déversements accidentels du fluide géothermal lors de l’essai de production de courte durée de ces nouveaux puits.

Ces déversements accidentels sont susceptibles d’entraîner la pollution des eaux de surfaces et des sols au niveau des plateformes de forage.

De par son implantation dans une zone naturelle, le chantier de forage du puits BO-12 est susceptible d’impacter le milieu naturel à proximité.

Toutefois, le site de BO-12 est à l’écart de cours d’eau pérennes et de zones humides. Le risque de pollution d’un cours d’eau est donc nul.

#### IV.3.2 Mesures envisagées

Les mesures suivantes sont envisagées pour **Eviter, Réduire, Compenser**, les impacts des travaux sur les eaux de surface et le sol, et en particulier la pollution de ces eaux de surface.

##### IV.3.2.1 Mesures d’évitement

Le stockage des hydrocarbures et des produits chimiques sur les plateformes se fera au-dessus de bacs de rétention en conformité avec la réglementation pour éviter toute pollution par suintement ou déversement.

Une semelle en béton imperméable sera mise en place là où il y aura des risques de pollution du sol par des effluents.

La boue de forage sera utilisée en circuit fermé.

Les aquifères superficiels seront protégés de la contamination éventuelle du fluide géothermal par la pose de 3 tubages emboîtés et leur cimentation (voir Figure 65).

Des bassins étanches (bourbiers) seront construits ou des bacs étanches seront utilisés pour stocker les fluides et matériaux de forage (fluide de forage, déblais de forage, effluents divers). La Figure 66 montre l’un des bourbiers qui avait été aménagé sur la plateforme de forage des puits BO-5, BO-6 et BO-7 en 2000 et qui a été ensuite reconverti en bassin de rétention dans le cadre de l’exploitation de ces puits.

Les déchets liquides et solides qui seront produits pendant et à la fin des forages seront évacués vers des centres de traitement ou des décharges agréées.

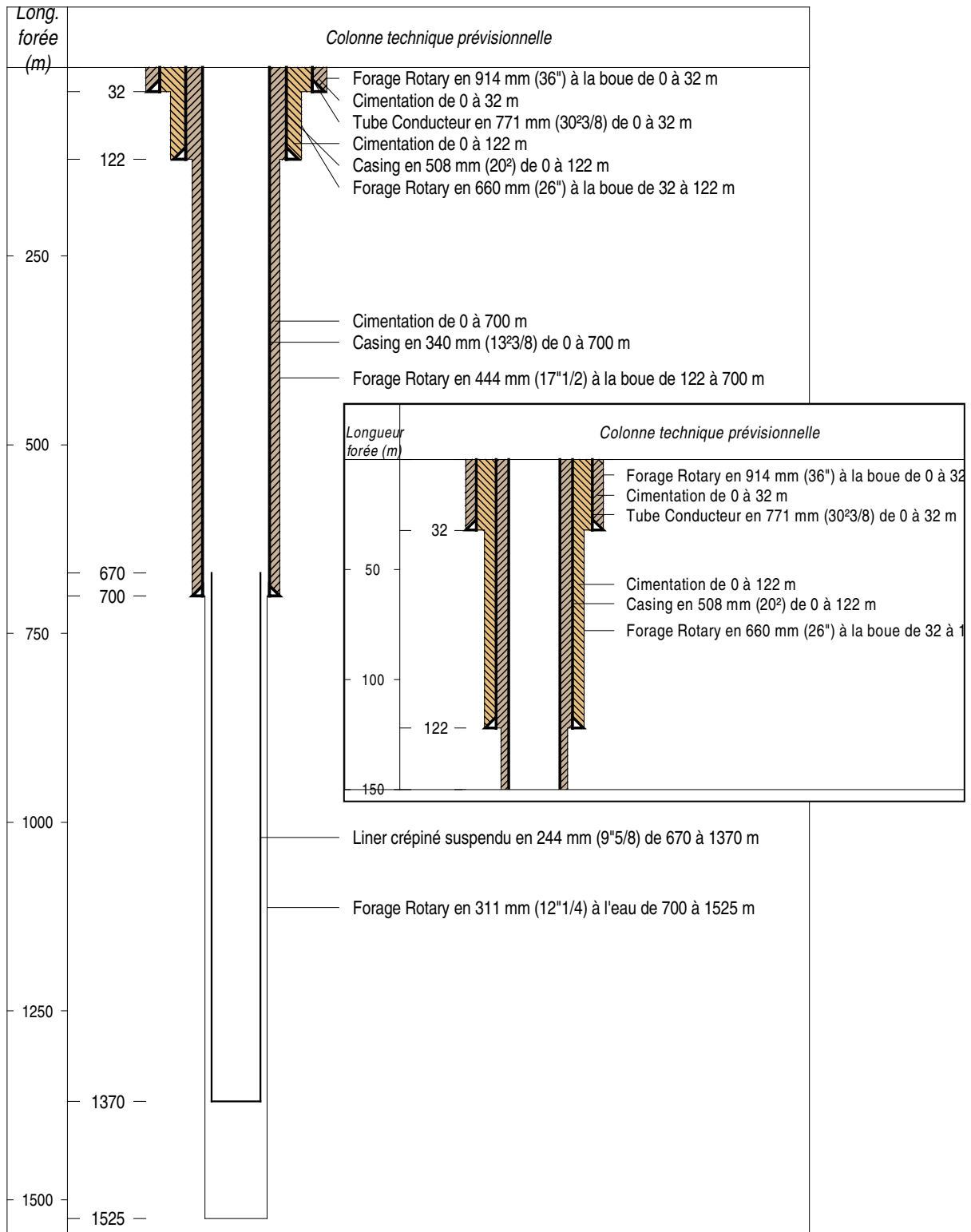


Figure 5 : Coupe technique prévisionnelle des puits, avec un détail de la partie supérieure des ouvrages (0-150 m) montrant les trois tubages emboîtés avec cimentation des annulaires.



Figure 6 : Bassin de rétention bétonné sur la plateforme des puits actuelle destiné à recueillir le fluide géothermal déchargé durant les phases transitoires d’ouverture et de chauffe des puits, et de maintien en température.  
(Il sera également utilisé lors du test de production du puits BO-12).

#### IV.3.2.2 Mesures de réduction

Un réseau de collecte des eaux de ruissellement comprenant des dispositifs débourbeur-déshuileur sera mis en place sur chaque plateforme pour traiter ces eaux avant leur rejet au milieu naturel et transfert des polluants vers un centre de traitement.

Le fluide géothermal qui sera déchargé lors de l’essai de production de courte durée du puits BO-12 sera évacuée vers le bassin de rétention existant sur la plateforme actuelle (Figure 66). De ce bassin, le trop-plein sera évacué via un caniveau dans la Ravine Blanche (voir Figure 64). Des rejets ponctuels de fluide géothermal ont déjà lieu dans la Ravine Blanche lors des phases transitoires d’arrêt et de remise en marche des installations. Lors des phases d’arrêt, les puits producteurs BO-5 et BO-6 sont maintenus en température grâce à un petit débit de fuite. Le fluide géothermal est déchargé dans un bassin de rétention situé sur la plateforme des puits. En cas de trop-plein, ce dernier est évacué vers la Ravine Blanche en contrebas de la plateforme des puits par un caniveau bétonné de 50 mètres de long environ. Le long du trajet, le fluide se refroidit à température ambiante. Ces opérations sont réalisées avec une fréquence d’environ 30 fois par an.

La Ravine Blanche n’est pas un cours d’eau permanent. Elle présente un écoulement seulement en cas de périodes de pluies intenses durant la saison cyclonique. Le rejet de fluide géothermal se fait donc habituellement sur le substrat sablo-caillouteux constituant le lit de la ravine. Le fluide s’infiltré dans le lit de la ravine jusqu’au niveau de la nappe phréatique. Au niveau du bourg de Bouillante, la nappe phréatique apparait largement contaminée et réchauffée par des remontées de fluide géothermal profond et par des invasions marines si l’on se réfère à la composition des fluides délivrés par les sources thermales. L’impact des rejets ponctuels du fluide géothermal délivré par les puits producteurs BO-5 et BO-6 sur les eaux souterraines est donc insignifiant. De



même, en raison de leur infiltration, ils n’ont pas d’impact significatif sur la faune et la flore dans la Ravine Blanche. Il en sera de même pour les rejets temporaires de fluide géothermal lors de l’essai de production de courte durée du puits BO-12.



#### IV.4. LES EFFETS POTENTIELS DES TRAVAUX DE FORAGE SUR LES EAUX SOUTERRAINES ET LES RESSOURCES EN EAU

##### IV.4.1 Aquifères concernés

Le site retenu pour implanter le puits BO-12 est dépourvu de ressource en eau de surface ou souterraine exploitable pour l’alimentation en eau potable ou tout autre usage. La nappe phréatique et les aquifères profonds y sont largement contaminés et réchauffés par des remontées de fluide géothermal et par des invasions marines.

##### IV.4.2 Mesures envisagées

Il n'est *a priori* pas nécessaire d’envisager de mesures spécifiques vis-à-vis des eaux souterraines et des ressources en eau dans le cadre de ces travaux de forage dans la mesure où il n’y a aucun aquifère exploitable pour l’alimentation en eau potable ou l’irrigation dans la zone du projet. Toutefois, les mesures de prévention qui sont habituellement mises en œuvre pour protéger les eaux souterraines resteront appliquées :

- Les puits seront équipés de tubages 30"3/8, 20" et 13"5/8 cimentés sur toute leur hauteur qui constitueront des barrières étanches et qui les isoleront parfaitement des aquifères superficiels (Figure 65);
- Un contrôle en continu des volumes de boue de forage perdus dans la formation, des venues d’eau dans les puits et des paramètres de la boue de forage seront effectués pour détecter l’intrusion de la boue de forage dans les aquifères traversés et ajuster en conséquence sa rhéologie;
- En cas d’abandon des puits, la mise en place de bouchons de ciment conformément à la réglementation isolera parfaitement le réservoir géothermal profond des aquifères superficiels.

##### IV.4.3 Conformité des travaux de forage avec le SDAGE de la Guadeloupe

###### IV.4.3.1 Les grandes orientations du SDAGE 2016-2021

Le SDAGE 2016-2021 de la Guadeloupe s’inscrit dans la continuité du SDAGE 2010-2015 et prend en compte l’état des lieux des masses d’eau en 2013, ainsi que les nouveaux enjeux européens, nationaux et locaux, en particulier la prévention des risques d’inondation, l’adaptation au changement climatique, la gestion de l’eau dans l’aménagement du territoire, la gestion de l’eau et la santé publique.

Afin d’atteindre les objectifs fixés et de répondre aux grandes problématiques de l’eau en Guadeloupe, le SDAGE 2016-2021 propose 5 orientations fondamentales et 20 axes de travail :

###### **Orientation 1 – Améliorer la gouvernance et replacer la gestion de l’eau dans l’aménagement du territoire :**

Il s’agit d’une part d’améliorer l’organisation entre les acteurs et les moyens dévolus à la gestion de l’eau et d’autre part, de mieux prendre en compte les enjeux et le grand cycle de l’eau dans les projets de développement des collectivités. Pour cela le projet de SDAGE propose de :

- Renforcer le rôle d’appui majeur de l’office de l’eau dans la mise en œuvre de la politique de l’eau ;



- Assurer une meilleure gestion et un financement optimisé des actions dans le domaine de l’eau ;
- Améliorer la prise en compte de la politique de l’eau dans les différents documents de planification et les projets d’aménagement ;
- Adapter la communication, améliorer l’accès à l’information et poursuivre les efforts de formation.

**Orientation 2 – Assurer la satisfaction quantitative des usages en préservant la ressource en eau :**

- Mettre en œuvre et poursuivre le suivi du milieu aquatique et des prélèvements ;
- Mener une politique d’économie d’eau ;
- Développer les ressources pour satisfaire les usages et sécuriser les ouvrages.

**Orientation 3 – Garantir une meilleure qualité de la ressource en eau vis-à-vis des pesticides et autres polluants dans un souci de santé publique :**

- Protéger les captages d’eau potable et améliorer la qualité des eaux brutes et distribuées ;
- Améliorer les connaissances sur la qualité de la ressource en eau ;
- Réduire la pression des pollutions à la source.

**Orientation 4 – Réduire les rejets et améliorer l’assainissement :**

- Poursuivre la lutte contre les pollutions organiques, azotées et phosphorées ;
- Poursuivre la lutte contre les pollutions par les micropolluants ;
- Lutter contre l’érosion et les phénomènes d’hypersédimentation ;
- Maintenir ou améliorer la qualité des eaux de baignade.

**Orientation 5 – Préserver et restaurer le fonctionnement biologique des milieux aquatiques :**

- Cours d’eau : améliorer la connaissance, assurer la continuité écologique et préserver la morphologie des cours d’eau ;
- Autres milieux aquatiques continentaux : acquérir de la connaissance, préserver et gérer ;
- Milieux marins : Améliorer la connaissance, limiter les dégradations physiques, limiter les pressions sur la ressource et les biocénoses marines ;
- Pour tous les milieux : Recenser, diagnostiquer, pérenniser ou supprimer les ouvrages hydrauliques, existants, étudier puis réaliser les travaux indispensables à la réduction du risque inondation.

**IV.4.3.2 Conformité des travaux de forage avec les orientations du SDAGE**

**IV.4.3.2.1 Orientation 1**

Les travaux de forage du puits BO-12 ne contre-interviendront en aucune façon avec cette orientation du SDAGE.

**IV.4.3.2.2 Orientation 2**

Les travaux de forage participeront à la politique d’économie de la ressource en eau dans la mesure où les besoins importants en eau lors de certaines phases de forage seront assurés par l’eau de mer ou le fluide géothermal. Lorsque les forages rencontreront des zones perméables, les

pertes dans le terrain pourront s’élever à plusieurs dizaines de m<sup>3</sup>/h. Dans ce cas, l’eau de mer sera mobilisée pour reconstituer le fluide de foration.

Le réseau d’eau potable de la commune de Bouillante sera sollicité uniquement lorsque les besoins des opérations de forage seront faibles (5 à 10 m<sup>3</sup>/jour) et pour les besoins en eau potable et eau sanitaire des chantiers, évalués à quelques mètres cubes par jour.

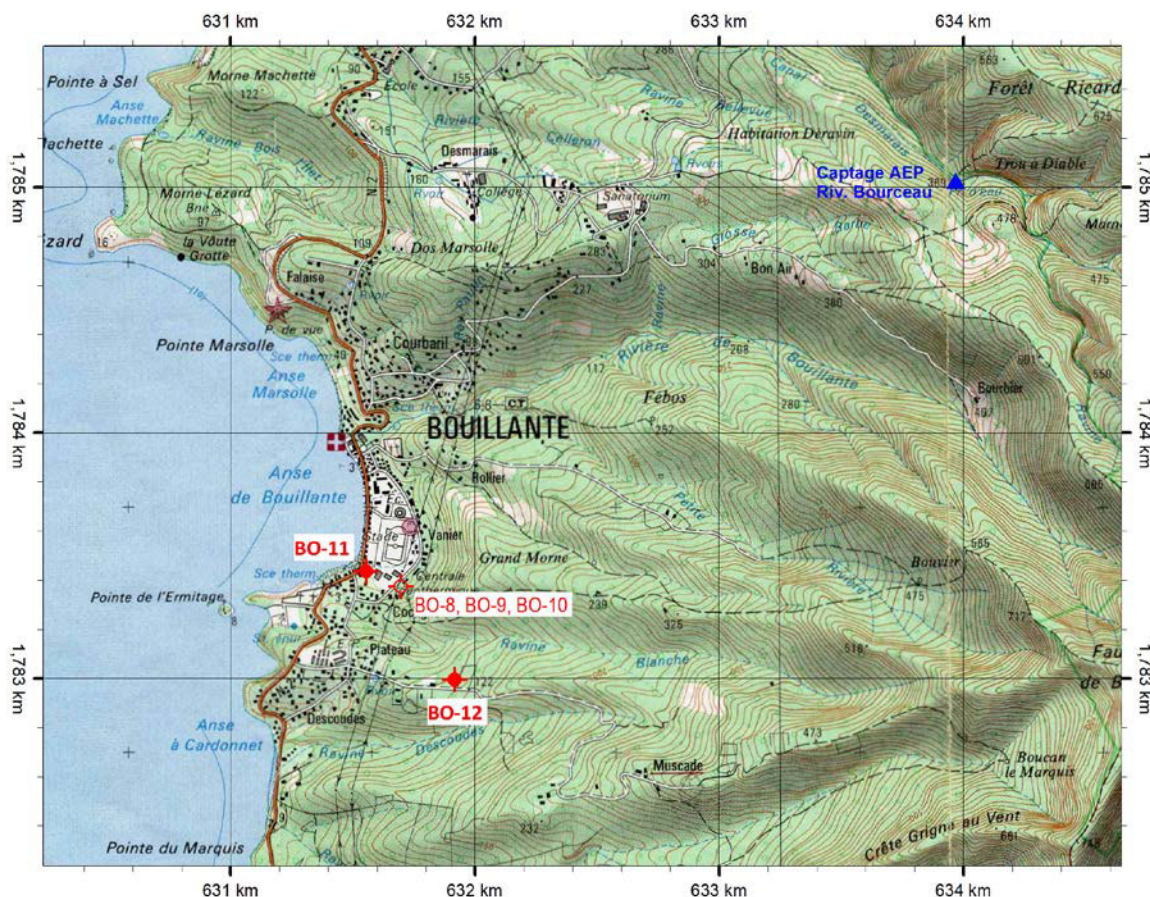


Figure 7 : Extrait de la carte topographique de l’IGN au 1/25 000 au niveau du bourg de Bouillante montrant la localisation des deux puits BO-11 et BO-12 faisant l’objet de cette demande et la localisation des trois puits (BO-8, BO-9 et BO-10) ayant fait l’objet d’une demande précédente en janvier 2018, par rapport au point de captage le plus proche (Coordonnées UTM WGS84).

#### IV.4.3.2.3 Orientation 3

Le site du puits BO-12 est implanté à l’écart de tout ouvrage (captage en rivière, forage) de production d’eau potable. Le point de captage AEP le plus proche est celui de Trou à Diable dans la Rivière Bourceau, situé à 370 m d’altitude et à environ 3 km au nord-est et en amont hydraulique de la zone des travaux (Figure 66). Il n’y a donc aucun risque de contamination de ce captage et de la rivière qui l’alimente par les travaux de forage.

Au niveau du bourg de Bouillante, se trouvent deux réservoirs d’eau : celui de l’Ecole (500 m<sup>3</sup>) situé à environ 1 km au nord du site du puits BO-12 et celui de Plateau (100 m<sup>3</sup>) situé à environ



300 m à l'ouest du site de BO-12. Ces deux réservoirs ne seront affectés en aucune façon par les travaux de forage.

Enfin, il faut noter qu'aucun aquifère exploitable pour l'alimentation en eau n'est présent dans la zone des travaux.

#### **IV.4.3.2.4 Orientation 4**

Les différentes mesures envisagées pour limiter l'impact des travaux de forage sur l'environnement et en particulier sur les milieux aquatiques terrestre et marin répondent à cette orientation du SDAGE. La préoccupation de lutter contre les pollutions ponctuelles et diffuses des milieux aquatiques est prise en compte à différents niveaux lors des travaux :

- Les puits seront équipés de tubages 30<sup>3/8</sup>, 20" et 13<sup>5/8</sup> cimentés sur toute leur hauteur qui constitueront des barrières étanches et qui les isoleront parfaitement des aquifères superficiels (Figure 65);
- Les eaux pluviales des plateformes de forage seront drainées et évacuées vers des dispositifs déboureur-déshuileur avant leur rejet dans le réseau d'assainissement du bourg de Bouillante ;
- Les huiles, lubrifiants, produits chimiques, seront stockés de façon appropriée dans des bacs de rétention pour éviter toute pollution par suintement ou déversement ;
- Le fluide géothermal qui sera déchargé lors de l'essai de production de courte durée du puits BO-12 sera rejeté dans la ravine Blanche (qui est une ravine sèche) sans causer d'impact significatif sur les aquifères superficiels qui sont déjà contaminés naturellement par des remontées de fluide géothermal profond. Là encore, ces essais seront ponctuels (quelques jours).
- En cas d'abandon du puits, la mise en place de bouchons de ciment conformément à la réglementation isolera parfaitement le réservoir géothermal profond des aquifères superficiels.

#### **IV.4.3.2.5 Orientation 5**

En raison de leur caractère ponctuel, les travaux de forages ne sont pas vraiment concernés par cette orientation du SDAGE :

- Ils n'impacteront aucun cours d'eau permanent ni milieu aquatique continental;
- Ils n'impacteront pas le milieu marin ;
- Ils ne participeront pas à augmenter le risque d'inondation.

#### **IV.4.3.3 Conclusions concernant la compatibilité du projet avec le SDAGE 2016-2021**

Les éléments présentés ci-avant montrent que les travaux de forage du puits BO-12 sont compatibles avec les orientations du SDAGE 2016-2021 de la Guadeloupe.



## **IV.5. LES EFFETS POTENTIELS DES TRAVAUX DE FORAGE SUR LE MILIEU MARIN DE LA BAIE DE BOUILLANTE**

### **IV.5.1 Le site du puits BO-12**

Le site du puits BO-12 est situé à environ 625 m du bord de mer et à une altitude de 95 m (voir par exemple la Figure 66). Les travaux de forage sur ce site n’auront pas d’effet direct ou indirect sur le milieu marin.



## IV.6. LES EFFETS POTENTIELS SUR LA QUALITE DE L’AIR

### IV.6.1 Effets identifiés

Les principaux rejets atmosphériques susceptibles d’altérer la qualité de l’air au niveau du chantier de forage sont les suivants :

- les émissions de poussières ;
- les émissions de gaz d’échappement;
- les émissions de gaz présents dans le fluide géothermal.

### IV.6.2 Les émissions de poussières

Les poussières sont générées par la circulation des engins de chantiers sur les voies d’accès et la plate-forme à tous les stades des travaux : génie civil, forage, remise en état. Ces envols de poussières seront tributaires des conditions météorologiques : un temps calme et pluvieux sera plus favorable qu’un temps sec et venteux.

Mesure d’évitement : Pour limiter l’émission et la dispersion des poussières au niveau des habitations environnantes, un arrosage de la plateforme de forage sera réalisé lors des périodes sèches et ventées.

### IV.6.3 Les émissions de gaz d’échappement

Les émissions de gaz d’échappement concerneront les moteurs thermiques (engins de chantier, groupes électrogènes alimentant l’appareil de forage). Les gaz émis seront essentiellement du gaz carbonique CO<sub>2</sub>, du monoxyde de carbone CO, du dioxyde d’azote NO<sub>2</sub>, de l’ozone O<sub>3</sub> et des poussières (suie de diesel). Les émissions et les rejets gazeux resteront toutefois temporaires et négligeables par rapport aux émissions générées par la circulation automobile (cf. § III.2.6). Par ailleurs, il convient de signaler qu’aucun obstacle ne viendra entraver la libre circulation de l’air au niveau des échappements et ne créera de phénomène de confinement.

Mesure de réduction : Les engins de chantier répondront à la réglementation concernant les émissions de gaz d’échappement.

### IV.6.4 Les émissions de gaz présents dans le fluide géothermal de Bouillante

#### IV.6.4.1 Nature des gaz émis

Le fluide géothermal de Bouillante contient des gaz incondensables qui sont dissous au niveau du réservoir. Lorsque ce fluide est déchargé à l’atmosphère et se vaporise partiellement, ces gaz sont libérés et se concentrent dans la phase vapeur.

Gaz	Concentration des gaz (mg/kg vapeur)	Pourcentage pondéral (%)
CO <sub>2</sub>	4700	95,2
H <sub>2</sub> S	103	2,1
H <sub>2</sub>	0,19	<0,001

N2	127	2,6
Ar	2,18	<0,001
O2	<0,001	<0,001
CH4	6,41	0,001

Tableau 2 : Concentration des gaz incondensables présents dans la phase vapeur délivrée par les puits BO-5 et BO-6 à la sortie du séparateur HP à une pression de 6,5 bars-a le 06/02/2018 (Prélèvement et analyse par ISOR).

La teneur de ces gaz incondensables dans le fluide géothermal de Bouillante est très faible. Dans le panache de vapeur déchargé à l’atmosphère, elle est de l’ordre de 0,25% à 0,35% en poids. Au niveau du réservoir, elle est de l’ordre de 0,08 à 0,1% en poids seulement.

La composition de ces gaz incondensables est indiquée dans le Tableau 23. Le gaz carbonique CO<sub>2</sub> est prédominant et représente plus de 90%. Les autres gaz sont très minoritaires. Parmi ces derniers, seul l’hydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S est susceptible d’avoir un effet sur l’environnement. Il est une source de nuisances olfactives à très faible concentration (odeur « d’œuf pourri »). A forte concentration, il est potentiellement dangereux et présente deux risques pour l’homme :

- un risque d’incendie : c’est un gaz extrêmement inflammable, ses limites d’explosivité, en pourcentage de volume dans l’air, sont comprises entre 4 % et 6 % ;
- un risque pathologique : les effets observés sont principalement liés à ses propriétés irritantes et anoxiantes.

Le sulfure d’hydrogène est présent en quantité très faible dans le fluide géothermal de Bouillante. Il représente seulement 2% à 3% (en poids) des gaz incondensables (Tableau 23) qui eux-mêmes ne représentent que 0,25% à 0,35% (en poids) de la phase vapeur lorsque le fluide est déchargé à l’atmosphère, qui elle-même ne représente qu’environ 30% (en poids) du fluide géothermal.

Sur la base de ces données, le calcul montre que le gaz H<sub>2</sub>S ne représente qu’environ 0,002% (en poids) du fluide géothermal déchargé à l’atmosphère.

#### **IV.6.4.2 Seuil olfactif et nuisances olfactives**

Selon les études, le seuil olfactif de l’hydrogène sulfuré est très bas et compris entre 0,5 ppb et 10 ppb (0,7 à 14 µg/m<sup>3</sup>). Des concentrations très faibles, inférieures à la Valeur Toxicologiques de Référence pour une exposition chronique à l’hydrogène sulfuré par voie d’inhalation (2 µg/m<sup>3</sup>), peuvent donc être ressenties et constituer une nuisance environnementale.

Cette nuisance environnementale est déjà présente à Bouillante en particulier à proximité du canal de rejet qui évacue les effluents de la centrale dans la baie de Bouillante. Les condensats de vapeur et la phase liquide du fluide géothermal (eau séparée) qui sont présents dans les effluents contiennent encore une fraction très faible d’hydrogène sulfuré qui va dégazer au cours du trajet dans le canal de rejet. L’intensité de l’odeur est variable selon les conditions météorologiques.

#### **IV.6.4.3 Données toxicologiques concernant l’hydrogène sulfuré H<sub>2</sub>S**

L’INERIS a mis à jour la fiche de données toxicologiques et environnementales de l’Hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) en date du 29/09/2011. Ce gaz H<sub>2</sub>S est à l’origine de nuisances olfactives et est potentiellement dangereux pour la santé.

Les effets de l’hydrogène sulfuré sur l’homme sont résumés dans le Tableau 24. L’intoxication humaine a lieu essentiellement par voie respiratoire.

L’INERIS a établi différents seuils de toxicité aiguë pour les émissions accidentelles d’hydrogène sulfuré dans l’atmosphère (Tableau 25). La nocivité du sulfure d’hydrogène pour l’homme est fonction du temps d’exposition de l’individu et de la concentration en H<sub>2</sub>S dans l’air.

Concentrations		Durée d’exposition	Effets
(mg/m <sup>3</sup> )	ppm		
0,0007-0,014	0,0005 – 0,10	< 1 minute	Seuil olfactif
16 - 32	11,5 -23	Plusieurs heures	Irritation des yeux
70 - 140	50 - 101	>1 heure	Irritations des muqueuses oculaires et respiratoires
225 - 300	162 - 216	2 – 15 minutes	Perte de l’odorat
112 210 448	80 150 320	1 heure 10 minutes 1 minute	Seuils d’effets irréversibles
521 963 2 129	372 688 1 521	1 heure 10 minutes 1 minute	Seuils d’effets létaux

Tableau 3 : Relation dose/effets sur l’homme pour l’hydrogène sulfuré (INERIS, 2011).

Concentration	Temps (min.)				
	1	10	20	30	60
Seuil des effets létaux significatifs – SELS					
· mg/m <sup>3</sup>	2 408	1 077	847	736	580
· ppm	1 720	769	605	526	414
Seuil des premiers effets létaux – SPEL					
· mg/m <sup>3</sup>	2 129	963	759	661	521
· ppm	1 521	688	542	472	372
Seuil des effets irréversibles – SEI					
· mg/m <sup>3</sup>	448	210	161	140	112
· ppm	320	150	115	100	80
Seuil des effets réversibles – SER					
· mg/m <sup>3</sup>	ND	ND	ND	ND	ND
· ppm	ND	ND	ND	ND	ND

ND: Non déterminé

Tableau 4 : Seuils de toxicité aiguë pour les émissions accidentelles d’hydrogène sulfuré en fonction de la dose et du temps d’exposition d’après l’INERIS.

#### IV.6.4.4 Valeurs limites d’exposition professionnelle

Des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) contraignantes dans l'air des lieux de travail ont été établies en France pour le sulfure d'hydrogène (art. R. 4412-149 du Code du travail). Deux types de valeurs limites d'exposition professionnelle ont été définies (Tableau 26) :

- Les Valeurs Limites de Courte Durée (VLCT) mesurées sur des périodes de 15 mn. Elles sont destinées à éviter les effets toxiques dus à des pics d’exposition (exposition sur une courte durée) ;

- Les valeurs limites d’exposition (VLEP) mesurées sur des périodes de 8 heures sont destinées à protéger les salariés des effets différés des polluants.

Une VLEP peut être dépassée sur de courtes périodes, à condition de ne pas dépasser la VLCT correspondante. En cas de dépassement d’une valeur limite d’exposition professionnelle :

- le dépassement d’une valeur contraignante doit entraîner l’arrêt du travail aux postes de travail concernés, jusqu’à la mise en œuvre des mesures propres à assurer la protection des salariés ;
- Le dépassement d’une valeur indicative doit amener à procéder à une nouvelle évaluation des risques, afin de déterminer des mesures de prévention et de protection adaptées.

Ces valeurs limites d’exposition professionnelles s’appliqueront aux personnels présents sur la plateforme de forage pendant le forage puis le test de production de courte durée du puit BO-12.

	VLEP 8h		VLCT 15mn	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	ppm	mg/m <sup>3</sup>
France	5	7	10	14
USA	1	1,4	5	7
Allemagne	5	7,1	-	-

Tableau 5 : Valeurs limites d’exposition professionnelle à l’hydrogène sulfuré dans différents pays.

#### IV.6.4.5 Valeurs toxicologiques de référence

Une valeur toxicologique de référence (VTR) est établie à partir de la relation entre une dose externe d’exposition à une substance dangereuse et la survenue d’un effet néfaste. Les valeurs toxicologiques de référence proviennent de différents organismes dont la notoriété internationale est variable (Tableau 27).

##### Exposition aiguë

Deux organismes proposent des valeurs pour une durée d’exposition comprise entre un et plusieurs jours, l’OMS et l’ATSDR. La valeur de l’ATSDR est plus transparente. Les deux valeurs sont très proches pour des effets très sensibles. Elles sont toutes les deux basées sur des études chez l’homme. Celle de l’ATSDR est réalisée sur une population sensible. Pour ces raisons, l’INERIS retient la valeur de l’ATSDR.

L’INERIS propose de retenir la valeur de 0,1 mg/m<sup>3</sup> (0,07 ppm) pour une exposition aiguë au sulfure d’hydrogène par inhalation (Tableau 28).

##### Exposition sub-chronique

Cette valeur est élaborée à partir d’une étude expérimentale de bonne qualité (Brenneman et al., 2000). La construction de la VTR est transparente et l’application des facteurs d’incertitude adaptée. Cette valeur est élaborée de manière tout à fait identique à la VTR chronique de l’US EPA, la seule différence réside dans le choix du facteur d’incertitude du fait de l’exposition sub-chronique. L’ATSDR propose une valeur pour une exposition sub-chronique alors que l’US EPA retient une valeur pour une exposition chronique et prend donc un facteur d’incertitude supplémentaire de 10. Cette valeur apparaît sécuritaire de l’effet hypothétique chez l’homme et l’utilisation de facteur d’incertitude élevé. Cette valeur de l’ATSDR est donc retenue.

L'INERIS propose de retenir la valeur de 0,03 mg/m<sup>3</sup> (0,02 ppm) pour une exposition sub-chronique au sulfure d’hydrogène par inhalation (Tableau 28).

**Exposition chronique**

Deux organismes proposent des valeurs pour des expositions chroniques : l’US EPA et l’OEHHA. Ces valeurs sont basées sur deux études différentes mais qui rapportent des effets pour des niveaux d’exposition proches et pour des durées similaires. Comme signalé ci-dessus, la démarche retenue par l’ATSDR pour l’élaboration d’une valeur pour une exposition sub-chronique est identique à celle de l’US EPA. La démarche de l’OEHHA est identique mais basée sur une étude plus ancienne menée chez la souris. Enfin, pour l’extrapolation de l’exposition sub-chronique à chronique, l’US EPA retient un facteur de 10 alors que l’OEHHA considère qu’un facteur de 3 est suffisant. Pour ces raisons, la valeur de l’US EPA est retenue.

L'INERIS propose de retenir la valeur de 0,002 mg/m<sup>3</sup> ou 2 µg/m<sup>3</sup> (0,0014 ppm ou 1,4 ppb) pour une exposition chronique au sulfure d’hydrogène par inhalation (Tableau 28).

Substances chimiques	Source	Voie d’exposition	Facteur d’incertitude	Valeur de référence	Année de révision
Sulfure d’hydrogène (7783-06-4)	ATSDR	Inhalation (aiguë)	27	MRL= 0,07 ppm (0,1 mg.m <sup>-3</sup> )	2006
	OEHHA	Inhalation (aiguë - 1 h)	1	42.10 <sup>-3</sup> mg.m <sup>-3</sup>	2008
	OMS	Inhalation (aiguë - 24 h)	100	VG = 0,15 mg.m <sup>-3</sup>	2000
	ATSDR	Inhalation (sub-chronique)	30	MRL= 0,02 ppm (0,03 mg.m <sup>-3</sup> )	2006
	US EPA IRIS	Inhalation (chronique)	300	RfC = 2.10 <sup>-3</sup> mg.m <sup>-3</sup>	2003
	OEHHA	Inhalation (Chronique)	100	10.10 <sup>-3</sup> mg.m <sup>-3</sup>	2000

Tableau 6 : Valeurs toxicologiques de références considérées par l’INERIS (2011).

ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, basée à Atlanta, Georgie, est une agence publique du Département de la Santé des USA.

OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment, Californie.

US EPA IRIS : US Environmental Protection Agency, Integrated Risk Information System.

Substances chimiques	Effets	Voie d’exposition	Facteur d’incertitude	Valeur de référence	Source	Année de révision
Sulfure d’hydrogène (7783-06-4)	A seuil	Inhalation (chronique)	300	RfC = 0,002 mg.m <sup>-3</sup>	US EPA IRIS, 2003	2011
		Inhalation (sub-chronique)	30	MRL= 0,03 mg.m <sup>-3</sup>	ATSDR, 2006	2011
		Inhalation (aiguë)	27	MRL= 0,1 mg.m <sup>-3</sup>	ATSDR, 2006	2011

Tableau 7 : Valeurs toxicologiques pour l’exposition humaine à l’hydrogène sulfuré retenues par l’INERIS dans sa mise à jour de 2011.

#### **IV.6.4.6 Concentrations en gaz H<sub>2</sub>S attendues pendant les travaux**

Les émissions de gaz H<sub>2</sub>S à l’atmosphère sont susceptibles de se produire :

- ⇒ Pendant les opérations de forage lors de la traversée d’horizons potentiellement productifs et pouvant donner lieu à des venues éruptives de fluide ;
- ⇒ Lors du test de production de courte durée des puits qui sera réalisé à la fin du forage et qui donnera lieu à la décharge du fluide géothermal dans un séparateur et à la dispersion d’un panache de vapeur et de gaz dans l’atmosphère (voir Figure 67).

##### **IV.6.4.6.1 Pendant les opérations de forage**

Pendant les opérations normales de forage, il n’y a pas d’émission de gaz H<sub>2</sub>S au niveau du plancher de la machine de forage et des bacs de circulation du fluide de foration. En effet, le fluide de foration circulant dans le puits et qui est initialement dépourvu d’H<sub>2</sub>S, a une capacité à absorber le gaz H<sub>2</sub>S présent en faible teneur, sans que ce dernier soit libéré lors du retour du fluide de foration en surface. De plus, le caractère basique (pH>8) du fluide de foration favorise la solubilité de H<sub>2</sub>S.

L’émission de gaz H<sub>2</sub>S à l’atmosphère est susceptible de se produire seulement en cas de venue éruptive de fluide lors de la traversée d’horizons potentiellement producteurs.

Sur la base de la teneur en H<sub>2</sub>S du fluide géothermal de Bouillante (cf. § IV.6.4.1), le calcul montre que la concentration maximale en H<sub>2</sub>S dans le panache d’eau et de vapeur qui serait expulsé du puits serait de l’ordre de 65 ppm. L’exposition à cette teneur est susceptible de provoquer une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires pour oculaires, pour une durée d’exposition supérieure à 1 heure (cf. Tableau 24 et Tableau 25).

##### **IV.6.4.6.2 Lors du test de production de courte durée**

Lors du test de production de courte durée, le fluide géothermal est déchargé dans un séparateur atmosphérique (Figure 67). La concentration maximale en H<sub>2</sub>S dans le panache de vapeur à la sortie du séparateur sera également de l’ordre de 65 ppm. Il est entraîné dans le panache de vapeur ascendant et il est dilué progressivement dans l’air. Il en résulte que sa concentration au niveau de la plateforme du forage est généralement insignifiante.

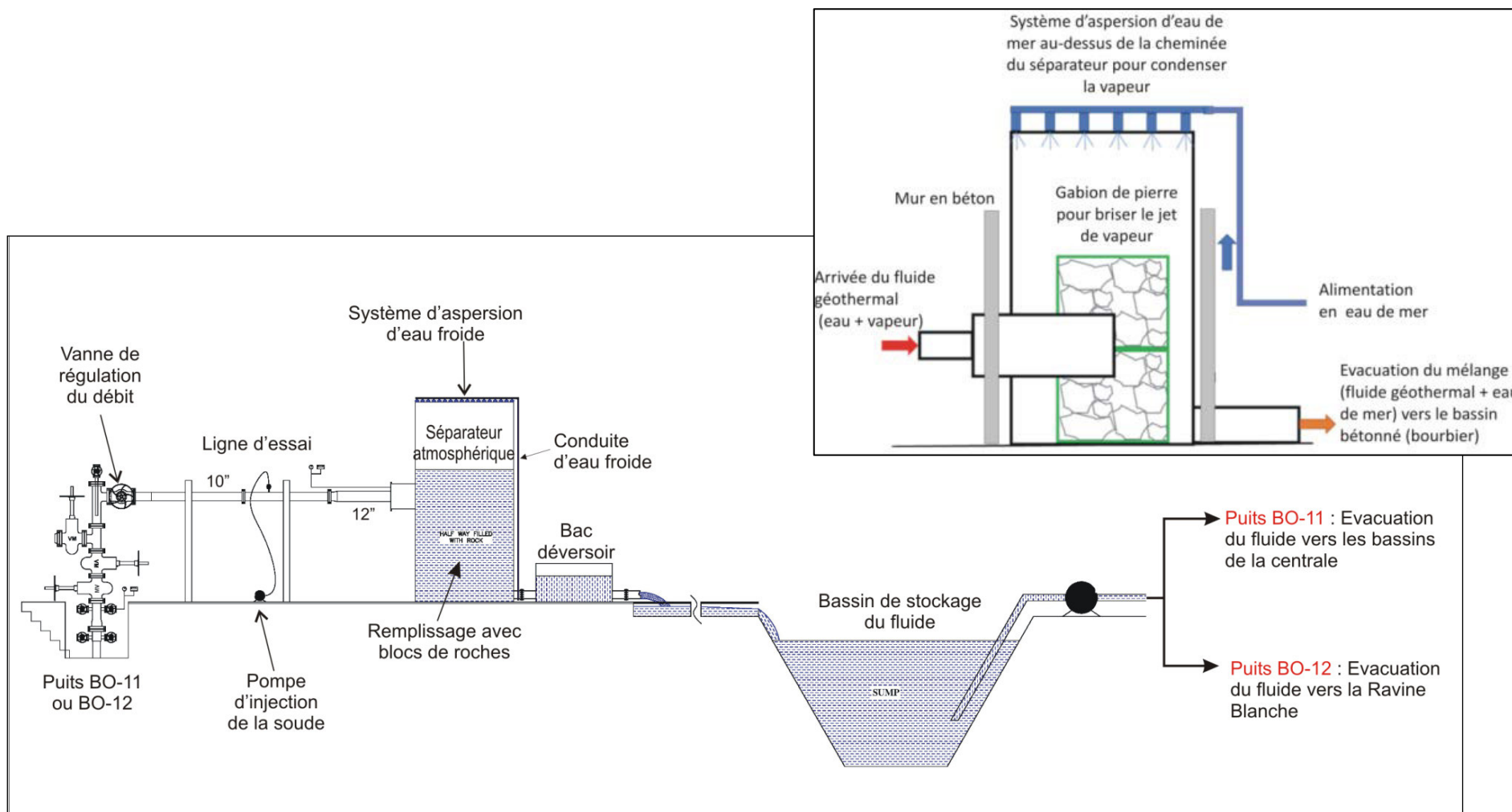


Figure 8 : Schéma de la ligne d’essai utilisée pour les essais de production du puits BO-12 montrant le dispositif d’injection de soude pour neutraliser le gaz H<sub>2</sub>S si nécessaire (d’après un document de Ormat).

Encart : Détails des aménagements apportés au séparateur atmosphérique afin de réduire les nuisances sonores et visuelles liées à la décharge du fluide géothermal.

#### IV.6.4.6.3 Retour d'expérience

**A titre de retour d'expérience**, les travaux de forage et les tests de production des 7 puits (BO-1 à BO-7) qui ont été forés à Bouillante entre 1970 et 2001 ont montré que la teneur en H<sub>2</sub>S au niveau de la plateforme pendant les opérations de forage et lors des tests de production était faible et n'avait représenté aucune gêne et aucun danger pour les personnels du chantier et les riverains des plateformes.

#### IV.6.4.7 Les mesures envisagées concernant l'hydrogène sulfuré

Les mesures suivantes sont envisagées pour **Eviter, Réduire ou Compenser** les effets de l'hydrogène sulfuré sur l'environnement et plus particulièrement sur le milieu humain.

##### IV.6.4.7.1 Mesures d'évitement

Pendant les opérations de forage :

- ✓ A tout moment, et en particulier lors de la traversée d'horizons potentiellement productifs, l'artésianisme du puits sera contrôlé par injection d'un fluide de forage de densité approprié, afin de prévenir toute venue éruptive de fluide pouvant conduire à une émission de vapeur et de gaz à l'atmosphère et à un dépassement des seuils autorisés ;
- ✓ Un dispositif de fermeture du puits (Bloc d'Obturation de Puits ; BOP) sera mis en place en tête de puits afin de pouvoir fermer le puits en toutes circonstances.

Pendant les opérations de forage et les tests de production, des mesures de prévention seront appliquées pour surveiller les émissions de gaz H<sub>2</sub>S dans l'atmosphère :

- ✓ Des détecteurs d'H<sub>2</sub>S seront mis en place en plusieurs endroits de la plateforme des puits afin de surveiller la concentration en H<sub>2</sub>S dans l'atmosphère et alerter en cas de dépassement des valeurs réglementaires. Les seuils d'alarme sont réglés sur 10 ppm (Valeur VLCT : Valeur Limite de Courte durée) ;
- ✓ Des masques à gaz individuels, munis de cartouches filtres pour le sulfure d'hydrogène, seront disponibles en permanence ;
- ✓ Deux appareils respiratoires autonomes avec bouteille de recharge seront disponibles sur le chantier. Le personnel sera formé à utiliser ces appareils et à intervenir en cas de venue de gaz ;
- ✓ Les responsables du chantier disposeront également de détecteurs individuels qui pourront être utilisés pour réaliser des mesures ponctuelles en tout autre endroit du chantier ou des habitations les plus proches ;
- ✓ Une manche à air sera installée en un point visible du chantier pour indiquer la direction du vent en cas de nécessité d'évacuation du chantier qui se fera toujours dans la direction « au vent » ;
- ✓ Le personnel sera informé au début des essais des risques afférents au gaz H<sub>2</sub>S et à la conduite à tenir.

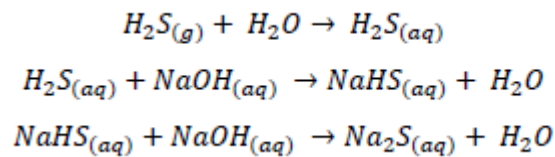
##### IV.6.4.7.2 Mesures de réduction



Pendant les tests de production :

- ✓ Lors du dégorgeage et de l'essai de production de courte durée des puits, un système de traitement du gaz  $H_2S$  sera mis en place à titre préventif sur la ligne d'essai (voir Figure 67), permettant si nécessaire l'injection de soude caustique ou d'eau de javel (ou de tout autre oxydant puissant) dans la conduite de décharge pour neutraliser ce gaz avant la décharge du fluide géothermal à l'atmosphère.

Le système de traitement qui sera mis en place pour neutraliser le gaz  $H_2S$  utilisera de l'eau de javel ou de la soude caustique liquide ( $NaOH$ ). 2 moles de  $NaOH$  pour 1 mole de  $H_2S$  seront injectées. L'élimination du gaz  $H_2S$  se fera selon les réactions suivantes :



Avec ce traitement, la concentration de gaz  $H_2S$  dans le panache de vapeur sera fortement réduite et proche de zéro.

L'injection de la soude se fera grâce à un piquage sur la ligne d'essai entre la tête de puits et le séparateur atmosphérique (Figure 67). Une pompe ayant un débit de l'ordre de 25 L/h sera installée. Elle injectera à un débit de 10 L/h une solution contenant 50% en poids de  $NaOH$ .



## **IV.7. LES IMPACTS POTENTIELS DES TRAVAUX EN TERMES DE NUISANCES SONORES**

### **IV.7.1 Nature des impacts**

Les nuisances sonores générées par le chantier sont liées principalement à l'utilisation de moteurs et de compresseurs qui fonctionneront en continu 24hx24h.

La mise en œuvre de tiges et de tubes dans une structure elle-même métallique (mât) engendre également des bruits de chocs lors du « gerbage » et « dégerbage » des tiges dans le mât.

La rotation de l'outil et des tiges dans l'ouvrage peut également générer occasionnellement des grincements et des bruits de frottement.

La circulation des véhicules lourds qui alimenteront le chantier en fuel et autres consommables constitue également une nuisance sonore ponctuelle au niveau des voies d'accès au chantier.

Les dégorgements et tests de production de courte durée des puits avec la décharge du fluide géothermal dans un séparateur atmosphérique engendrent également des nuisances sonores.

### **IV.7.2 Populations concernées**

Les populations qui pourront être concernées par les nuisances sonores comprennent :

- Le personnel travaillant sur le chantier de forage ;
- Les riverains proches des sites de forage ;
- Les visiteurs occasionnels du chantier de forage ;
- Les piétons empruntant les voies de circulation à proximité des chantiers de forages.

### **IV.7.3 Règlementation**

#### **IV.7.3.1 Règlementation relative au personnel de chantier**

L'article 3 du Titre : Bruit BR-1-R du Règlement Général des Industries Extractives (RGIE) indique que l'exposition au bruit doit demeurer à un niveau compatible avec la santé des personnes, notamment avec la protection de l'ouïe.

Les niveaux sonores à partir desquels des dispositions particulières doivent être prises sont respectivement de :

- 85 dB(A) pour le niveau d'exposition sonore quotidienne ;
- 135 dB(A) pour le niveau de pression acoustique de crête.

L'article 8 de ce même titre indique que lorsque l'exposition sonore quotidienne dépasse le niveau de 85 dB(A) ou lorsque la pression acoustique de crête dépasse le niveau de 135 dB(A), le personnel doit être informé, avec le concours du médecin du travail. Cette information est donnée soit au moyen d'une notice distribuée périodiquement, soit à l'occasion de séances d'information organisées à cette fin portant sur :

- les risques résultant, pour l'ouïe, de l'exposition au bruit ;
- les moyens pouvant être mis en œuvre pour lutter contre le bruit et contre ses effets ;
- le rôle de la surveillance médicale de la fonction auditive.

L'article 12 indique que lorsque l'exposition sonore quotidienne subie par une personne dépasse le niveau de 85 dB(A) ou lorsque la pression acoustique de crête dépasse le niveau de 135 dB(A), des protecteurs individuels doivent être mis à sa disposition.

Cet article précise également que lorsque l'exposition sonore quotidienne subie par la personne dépasse le niveau de 90 dB(A) ou lorsque la pression acoustique de crête dépasse le niveau de 140 dB(A), l'exploitant prend toutes les dispositions pour que les protecteurs individuels soient utilisés.

#### IV.7.4 Règlementation relative au bruit de voisinage

La réglementation applicable aux travaux de forage s'appuie sur le décret n°2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage et modifiant le code de la santé publique (Dispositions réglementaires).

Il est à souligner que l'indicateur principal de gêne retenu par ce décret est l'émergence sonore, c'est-à-dire la différence entre le niveau de bruit ambiant (obtenu lorsque l'installation est en fonctionnement) et le niveau de bruit de fond résiduel (état initial avant présence de l'installation). L'indicateur de niveau de bruit retenu est le  $L_{Aeq}$  évalué sur une durée d'au moins trente minutes. Les mesures doivent se conformer à la norme NFS31-010 remise à jour en décembre 1996. L'émergence est déterminée dans les zones à émergence réglementée, c'est-à-dire au niveau des zones constructibles définies par le PLU ou encore au niveau des habitations existantes (à l'intérieur des locaux).

Ce décret donne des valeurs maximales admises pour l'émergence (bruit de voisinage) dès que le niveau de bruit ambiant est supérieur à 30 dB(A) (Cf. Tableau 29). Pour les valeurs inférieures à 30 dB(A), l'émergence sonore ne sera pas recherchée.

L'article R. 1334-33 précise que l'émergence sonore pourra être majorée selon la durée d'apparition du bruit de chantier. La majoration ne pourra cependant excéder 5 dB(A).

Niveau de bruit ambiant	Emergence admissible de 7h à 22h	Emergence admissible de 22h à 7h
Supérieur ou égal à 30 dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)

Tableau 8 : Valeurs d'émergences maximales admissibles.

L'article R.1334-36 et l'article 2 du paragraphe 3 précise que si le bruit (...) a pour origine un chantier de travaux public ou privé (...), l'atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme est caractérisée par l'une des circonstances suivantes :

- ✓ le non-respect des conditions fixées par les autorités compétentes (...);
- ✓ l'insuffisance des précautions appropriées pour limiter ce bruit ;
- ✓ un comportement anormalement bruyant.

Est puni de la peine d'amende prévue pour les contraventions de 5<sup>ème</sup> classe : (...)

- ✓ le fait (...) de ne pas respecter les conditions de leur réalisation (...) fixées par les autorités compétentes, de ne pas prendre les précautions appropriées pour limiter le bruit (...).

Le matériel mis en œuvre pour le forage devra être conforme aux normes et en particulier :

- ✓ à la réglementation du bruit de matériels et engins de chantier (Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie – Service de l'Environnement Industriel- février 1980) ;
- ✓ aux consignes de sécurité d'un forage de la Chambre Syndicale de la Recherche et de la Production en Pétrole et Gaz Naturel.

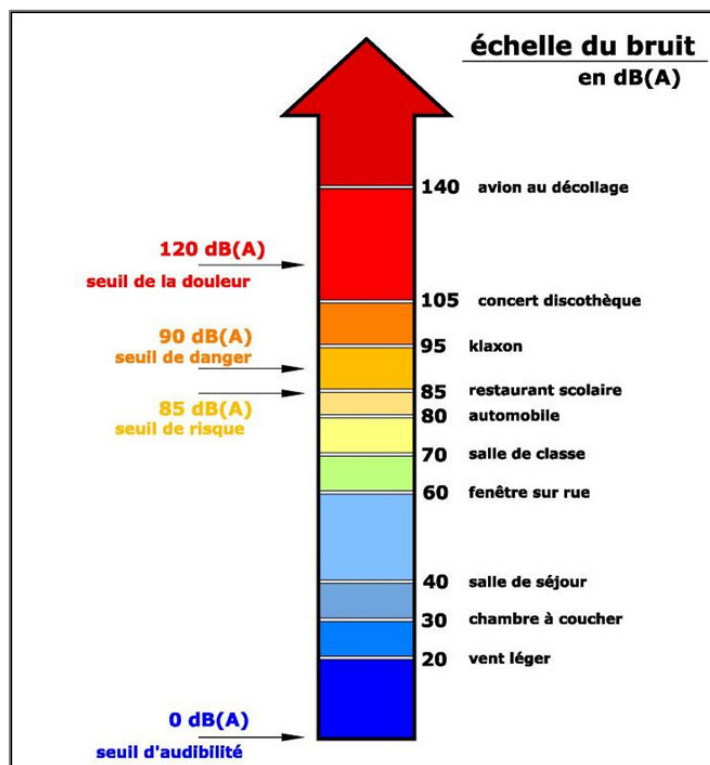


Figure 9 : Echelle du bruit en dB(A) (source ADEME)

#### IV.7.5 Evaluation du niveau de bruit généré par l'appareil de forage

D'après les données du constructeur, les niveaux de bruit généré par l'appareil de forage qui sera mis en œuvre pour forer le puits BO-12 sont les suivants en fonction de la distance à la machine :

- 84 dB(A) au niveau de la machine de forage ;
- 72 dB(A) à une distance de 15 mètres ;
- 67 dB(A) à une distance de 30 mètres ;
- 65 dB(A) à une distance de 45 mètres et 60 mètres.

A titre de comparaison, un niveau sonore de 65 dB correspond selon l'Ademe au bruit d'une salle de classe (Figure 68).

##### IV.7.5.1 Le site de forage du puits BO-12

Une carte des niveaux de bruit générés par l'appareil de forage a été reportée sur une photographie aérienne du site de forage du puits BO-12 afin de visualiser l'impact des travaux au niveau des riverains (Figure 69). On constate ainsi que les riverains les plus proches seront exposés à un niveau de bruit égal ou inférieur à 65 dB(A). Si l'on rapproche cette cartographie des niveaux de bruits mesurés autour du site, on constate que le niveau d'émergence en période diurne pour ces riverains les plus proches sera de l'ordre de 5 dB(A).



Figure 10 : Carte des niveaux de bruit générés par l'appareil de forage autour du site de forage des puits BO-12 (source : ORMAT).

#### IV.7.6 Mesures envisagées concernant le bruit

Les mesures suivantes sont envisagées pour **Eviter, Réduire ou Compenser** les effets des nuisances sonores sur l'environnement et plus particulièrement sur le milieu humain.

##### IV.7.6.1 Mesures de réduction

Pour réduire les nuisances sonores liées aux travaux de forage, les mesures suivantes seront appliquées ou sont envisagées :

- ✓ Les engins de chantier répondront aux normes antibruit en vigueur (Circulaire relative aux bruits émis par des engins de chantier du 16 mars 1978) ;
- ✓ Les moteurs de la machine de forage devront être implantés de manière optimale afin de les éloigner le plus loin possible des habitations ;
- ✓ Le capotage des moteurs sera systématique ;

- ✓ Dans la mesure du possible, les activités les plus bruyantes (pose des casings, ...) et non urgentes (évacuation des déchets par exemple), seront réalisées uniquement le jour afin de limiter l'impact sonore du chantier la nuit ;
- ✓ Des écrans sonores ou murs anti-bruit pourront être installés aux abords du chantier afin de réduire les nuisances sonores pour les riverains les plus proches. A titre d'exemple, le mur anti-bruit qui a été installé en bordure du site le long de la rue Vanier permet de réduire le niveau sonore de la centrale de 10 dB(A).

En ce qui concerne les tests de production de courte durée, pour réduire les nuisances sonores liées à la décharge du fluide géothermal diphasique (eau + vapeur) dans le séparateur atmosphérique, plusieurs aménagements seront faits (voir la Figure 67 page 36) :

- ✓ La conduite et le tube de décharge qui relieront la tête de puits au séparateur seront en gros diamètre (DN300) afin de réduire la vitesse de l'écoulement et donc le bruit ;
- ✓ Le séparateur sera entouré sur les 2/3 de sa hauteur par un mur en béton ;
- ✓ A l'intérieur du séparateur, un ou plusieurs gabions de pierre seront disposés afin de disperser le jet de vapeur et réduire encore le bruit.

En ce qui concerne les personnels du chantier, ils disposeront de moyens de protections spécifiques (casques antibruit, bouchons d'oreilles notamment).

#### IV.7.6.2 Mesures de compensation

Géothermie Bouillante a déjà entamé une concertation avec les riverains qui seraient concernés par les effets sonores des travaux au niveau des deux sites de forage (cf. Figure 46 et Figure 47), afin d'étudier avec eux les mesures compensatoires appropriées qui pourraient être mises en place pour limiter les nuisances sonores.

D'autre part, au début et pendant les chantiers, des mesures du niveau de bruit et des émergences sonores en différents points et à différents moments (jour, nuit, week-end) seront réalisées par un organisme de contrôle agréé afin d'évaluer précisément l'impact des travaux.



Figure 11 : Exemple de mur anti-bruit mis en place au niveau de la clôture du site de la centrale dans la rue Vanier et qui pourrait être installé en périphérie du chantier de forage pour réduire ses nuisances sonores.

## IV.8. LES EFFETS SUR LA CIRCULATION ET LES INFRASTRUCTURES

### IV.8.1 Les effets sur la circulation routière

Les travaux envisagés généreront un accroissement temporaire de la circulation autour des chantiers de forage qui pourra avoir un impact sur la vie quotidienne des riverains et usagers des routes.

Les riverains seront exposés à des risques liés à une augmentation du trafic routier plus particulièrement due aux véhicules lourds accédant au chantier.

Sur chaque site, l'amenée et le repli de l'appareil de forage s'effectuera en convoi exceptionnel. Le transport des autres équipements et produits nécessitera un trafic évalué à 20 camions, représentant un tonnage global de l'ordre de 370 tonnes.

En dehors de ces phases, il est à noter que le trafic engendré par l'activité sur le chantier sera différent selon les phases de travaux (forage, tubage, cimentation, etc.). Il est possible de considérer une circulation moyenne de 5-10 camions par jour (livraison des tubages, de carburant, de ciment, évacuation des déblais, de tubage des puits, diagraphie des puits, ...).

Un espace, à l'entrée ou dans l'enceinte du chantier, sera nécessaire pour la manœuvre des véhicules. Elle leur permettra de faire demi-tour avant de sortir du chantier.

Des parkings seront également nécessaires pour le stationnement des véhicules du personnel de chantier et des autres intervenants (entreprises, livreurs,...).

### IV.8.2 Accès au chantier de forage du puits BO-12

Le plan d'accès au chantier de forage du puits BO-12 est indiqué sur la Figure 49. Les véhicules provenant de la Route nationale 2 emprunteront la rue du Lycée puis le chemin Descoudes qui est une voie relativement étroite et bordée d'habitations (Figure 73). Les croisements de véhicules, y compris les véhicules légers, y sont délicats, d'autant plus que ce chemin présente une déclivité importante. Ces contraintes doivent être prises en compte pour le trafic des camions et engins de chantier qui peut obliger à stopper temporairement la circulation du trafic local.

L'accès au chantier se fera par l'entrée de la plateforme actuelle (Figure 13 page **Erreur ! Signet non défini.**). L'espace libre permettra aux véhicules de stationner et d'effectuer leur manœuvre de retournement sans entrave pour la circulation sur le chemin Descoudes. Des parkings pour les personnels et les visiteurs seront aménagés également au niveau de la plateforme actuelle.

### IV.8.3 Mesures envisagées concernant la circulation

Dans le cadre des mesures destinées à atténuer l'impact du projet, Géothermie Bouillante veillera à organiser les travaux de façon à perturber le moins possible la circulation.

Une communication destinée aux usagers des voies d'accès aux chantiers, en particulier le chantier du puits BO-12, sera mise en place afin de les informer sur la durée, l'avancée des travaux, etc...

Des panneaux routiers temporaires de chantier informeront les usagers des voies de circulation concernées par le passage d'engins de chantier. Etant donné la proximité immédiate des sites avec des habitations, des limitations de vitesse (30 km/h) pourront également être installées aux alentours du chantier.



Figure 12 : Vue du Chemin Descoudes qui est la voie d'accès au chantier de forage du puits BO-12.

Des mesures visant à réglementer la circulation aux abords des chantiers seront prises afin d'assurer la sécurité des usagers et d'éviter la gêne des véhicules liés au chantier. Le stationnement des véhicules sera organisé en concertation avec la Municipalité de Bouillante, de façon à ne pas créer de gênes ou de risques pour les riverains et l'ensemble des usagers des voies de circulation concernées. Le stationnement des véhicules des personnels sur les voies d'accès aux abords du chantier sera contrôlé pour ne pas entraver la circulation.

Les raccordements des sites de travaux aux voies de circulation seront aménagés pour que les conducteurs d'engins puissent manœuvrer sans gêne pour la circulation ou constituer un risque.

Pour limiter l'impact du trafic, des prestations de propreté (nettoyage des véhicules et de la voirie) ainsi que la réhabilitation des accès pourront être envisagées.





#### **IV.9.2 Protection et accès au site**

Dans le cadre des mesures destinées à renforcer la sécurité des riverains, les chantiers seront entièrement entourés d'une clôture disposant d'une signalétique appropriée pour que les piétons et les automobilistes soient correctement avertis de la présence de travaux.

L'accès aux chantiers de forage sera interdit au public.

L'entrée des chantiers sera équipée de portail disposant d'un système de fermeture agréé. Le chantier sera fermé à clef avant l'arrivée du matériel, après son départ et lors des interruptions de travaux. Cependant, compte tenu du fonctionnement continu des chantiers et de la présence permanente de personnels et de superviseurs, le risque d'intrusion sera minime.

#### **IV.9.3 Moyens de secours**

L'accès des véhicules de sécurité (pompiers, ambulances, police, ...) jour et nuit sera organisé avec des plans d'accès, mis à jour régulièrement et envoyés aux organismes concernés. Une signalétique visible de jour et de nuit sera présente en périphérie de la zone de chantier.

#### **IV.9.4 Sécurité des visiteurs**

Un parking visiteur sera aménagé à l'extérieur de la plateforme de travail. Les visiteurs autorisés seront obligatoirement accompagnés par un responsable du chantier (Géothermie Bouillante ou entreprise) et informés des consignes de sécurité. Ils ne pourront se déplacer que dans les secteurs autorisés.

#### **IV.9.5 Sécurité civile**

Le mât de forage peut constituer un obstacle aérien. Il sera peint et balisé (éclairage de nuit) conformément aux prescriptions de l'aviation civile.

#### **IV.9.6 Protection contre les émanations de vapeur et de gaz**

A tout moment, et en particulier lors de la traversée d'horizons potentiellement productifs, l'artésianisme du puits sera contrôlé par injection d'un fluide de forage de densité appropriée.

Les volumes des bacs à boue seront contrôlés en permanence. Conformément à la législation, des détecteurs de gaz seront installés par la société de forage ou de contrôle de la boue sur le circuit de boue à la sortie du puits pour identifier immédiatement toute émanation de gaz et en particulier de gaz H<sub>2</sub>S.

Pour éviter toute décharge accidentelle de fluide (eau, vapeur, gaz) durant les opérations de forage, la tête de puits sera équipée lors de la traversée d'horizons potentiellement éruptifs, d'un Bloc d'Obturation de Puits (BOP) permettant la fermeture urgente du puits en toutes circonstances.

#### **IV.9.7 Protection contre les risques de pollution**

Le fluide de forage (boue) sera élaboré à partir d'eau douce additionnée de bentonite (argile naturelle) et de polymères biodégradables, produits qui ne présentent pas de danger pour l'environnement.



Sur le chantier, seront stockés également des carburants et des huiles conformément à la législation en vigueur. Le fuel sera stocké dans un réservoir aérien, soit équipé d'une double paroi, soit doté d'un bac de rétention en béton de capacité au moins équivalente. L'approvisionnement s'effectuera par camion-citerne selon les besoins du chantier, dans le respect des normes de sécurité (sonde de trop-plein, raccords antistatiques et antidéflagrants, bac de rétention...).

#### IV.9.8 Protection contre l'incendie

Le chantier sera doté en matériel destiné à la lutte contre l'incendie (matériel entretenu par une entreprise agréée ou par un agent spécialisé du Service Sécurité de l'Entrepreneur de forage), comprenant : extincteurs à poudre polyvalente, extincteurs à poudre de carbone, une couverture anti-feu.



#### IV.10. LES EFFETS SUR LES RISQUES NATURELS

Les travaux de forage sont temporaires et leurs impacts sur les risques naturels sont limités. Cependant, les mesures suivantes seront prises :

- ✓ Les sites de travaux seront aménagés de façon à ne pas entraver la circulation naturelle des eaux pluviales et générer des risques d'inondation pour les riverains du site, y compris en période cyclonique. Il en sera de même en ce qui concerne les eaux pluviales s'écoulant sur les plateformes de forage ;
- ✓ Pour ce qui concerne la prise au vent du mât de forage, les données de Météo France, en particulier la vitesse maximale des vents attendue lors des cyclones, seront prises en compte pour calculer la résistance au vent du mât de la tour de forage et des sous structures.

## IV.11. LES EFFETS DES DÉCHETS ET LA PROPRETE DES CHANTIERS DE FORAGE

### IV.11.1 Impacts potentiels des déchets et effluents

Les principaux déchets et effluents produits par un chantier de forage sont les suivants :

- ✓ Résidus de fluides de forage et déblais de forage (cuttings) ;
- ✓ Déchets industriels banals (D.I.B) et déchets métalliques ;
- ✓ Fluide géothermal ;
- ✓ Eaux de ruissellement polluées ou souillées par des rejets accidentels ;
- ✓ Eaux usés ;
- ✓ déchets ménagers et assimilés ;
- ✓ déchets spéciaux (hydrocarbures...).

Le risque d'atteinte à la santé des travailleurs provient de l'ingestion, du contact ou de l'inhalation de produits pétroliers (carburants et lubrifiants) ou de produits chimiques stockés sur le site ou présents dans les boues de forage et les déblais. Il est à noter que les boues, fabriquées essentiellement à partir d'argile naturelle et de bio-polymères ne présentent pas de danger pour la santé humaine.

Dans le contexte tel qu'il est prévu, le risque d'atteinte à la santé des travailleurs par les déchets des chantiers apparaît très peu probable. De même, le risque d'atteinte à la santé des riverains par les déchets de chantier apparaît très peu probable. Géothermie Bouillante veillera néanmoins à la salubrité du site durant la période des travaux et au cours de son exploitation.

Une politique transparente d'élimination des déchets en centres spécialisés sera mise en place, en portant une attention particulière à l'élimination des boues de forages et des déchets potentiellement dangereux pour l'environnement et la santé humaine. Une stratégie de réduction des déchets à la source et de prise en compte des problèmes connexes de l'épuration sera menée (bruit, abord, odeurs).

Les mesures qui seront appliquées pour éviter, réduire ou compenser les impacts des travaux de forage du puits BO-12 sur l'environnement sont présentées ci-après.

### IV.11.2 Mesures concernant les fluides de forage et déblais

Bien que potentiellement peu polluants, les fluides de forage (boues) qui serviront d'une part à la remontée des déblais solides et, d'autre part, au refroidissement et à la lubrification des équipements en rotation, feront l'objet de mesures de précautions particulières.

Les fluides de forage seront composés d'eau du réseau, d'argile naturelle inerte (bentonite) et d'additifs complémentaires (bio-polymères). En phase de forage, les boues et déblais seront stockés dans des bacs étanches et circuleront en circuit fermé, partiellement à l'air libre au niveau des vibrateurs et des bacs à boue. Ils pourront également être stockés dans un bassin (bourbier) étanche.

Lorsqu'elles ne seront plus utilisées, les boues subiront sur site un traitement physico-chimique par centrifugation et coagulation. Les phases liquide et solide seront séparées :

- La phase solide (déblais) sera évacuée par camion et traitée dans un centre de traitement agréé ;
- La phase liquide sera mise en citerne puis envoyée vers un centre de traitement.

Le borbier étanche pourra être utilisé pendant des phases particulières de travaux pendant lesquelles les effluents ne pourraient être traités.

#### **IV.11.3 Mesures concernant les autres déchets industriels banals**

Les déchets qui auront été contaminés accidentellement par des hydrocarbures seront évacués vers des décharges qui acceptent ce type de déchets.

Le chantier produira peu de déchets métalliques et de ferrailles. Ceux-ci seront constitués pour l'essentiel des tricônes usés, des élingues et câbles métalliques réformés, des protecteurs métalliques de tubage et des chutes (découpes) de tubage. Ces déchets seront transférés vers une entreprise récupérant les métaux.



Figure 14 : Illustration du tri des déchets industriels banals tel qu'il est appliqué sur le site de la centrale et qu'il sera appliqué sur les chantiers de forage.

#### **IV.11.4 Mesures concernant les eaux de ruissellement et eaux usées**

La plateforme sera équipée d'un réseau de collecte et d'évacuation des eaux de pluies muni de dispositifs déboureur/déshuileur, de sorte que les eaux pluviales ne puissent entraîner dans le milieu naturel les éventuelles pollutions présentes sur la plate-forme.

Une demande d'autorisation de déversement provisoire dans le réseau public d'assainissement des eaux pluviales et des eaux usées, autres que domestiques, sera faite auprès du service gestionnaire de ce réseau. Les eaux devront respecter le règlement des services d'assainissement de la Commune de Bouillante en particulier sur les valeurs limites de rejet.

#### **IV.11.5 Mesures concernant le fluide géothermal**

Comme cela a été précédemment mentionné, la quantité de fluide géothermal qui sera déchargée en surface lors des tests de production de courte durée des puits (2 jours) sera limitée. En fonction du volume, ce fluide sera soit stocké dans le bassin (borbier) étanche, soit évacué

vers les installations de la centrale et intégré au rejet des effluents de cette dernière dans la baie de Bouillante ou dans la Ravine Blanche (cf. paragraphe IV.5).

#### **IV.11.6 Mesures concernant les déchets ménagers**

Les abords du chantier et les installations de chantier seront tenus parfaitement propres (absence de papiers, de débris, de ferrailles, de bidons...). Les déchets seront collectés et transportés régulièrement vers la déchetterie la plus proche. Le volume concerné sera faible et un tri sélectif (papiers et cartons, verre et bouteilles plastiques) sera réalisé (Figure 75).

Aucun rejet d'eaux usées issues des sanitaires ne sera effectué directement dans le milieu naturel. Les sanitaires seront reliés au réseau d'assainissement ou à des dispositifs autonomes étanches dont la vidange sera réalisée autant de fois que nécessaire en cours de chantier.

#### **IV.11.7 Mesures concernant les combustibles et lubrifiants**

Le stockage d'huiles, d'hydrocarbures et de tout autre produit toxique ou polluant pour les eaux sera interdit en dehors des emplacements aménagés à cet effet (citerne double enveloppe, aire étanche et couverte).

Des bacs de rétention seront placés sous tous les moteurs thermiques et équipements hydrauliques ainsi que sous les fûts d'huile en service ou non (Figure 76). Ces bacs seront vidangés fréquemment.

Les produits de vidange ou issus de fuites (hydrocarbures, huiles de graissage, solvants, etc.) ne devront pas entrer en contact avec les milieux naturels. Ces produits, ainsi que les terrains qu'ils auraient accidentellement souillés, seront récupérés et acheminés vers des sites de traitement agréés.

Sur les installations de chantier, des dispositifs de protection seront mis en place pour les aires de stationnement et d'entretien des engins (bassin de vidange étanche, déshuileur, tissu absorbant les hydrocarbures, etc.).

Pour tous les déchets toxiques ou dangereux, des certificats de destruction seront demandés aux prestataires en charge de leur élimination et tenu à la disposition de l'administration.



Figure 15 : Bacs de rétention et stockage d'huile sur un chantier.



#### IV.11.8 Mesures concernant la propreté générale du chantier

Les installations de chantier et les abords du chantier et sa voirie seront tenus parfaitement propres.

Les roues des camions seront si besoin nettoyées de toute boue et de terre en sortie du chantier.



## IV.12. LES IMPACTS VISUELS DES TRAVAUX

### IV.12.1 Principaux impacts attendus

Pendant la durée des travaux, l'impact visuel sera surtout le fait du mât de forage qui aura une hauteur de l'ordre de 36 mètres. Le mât attirera l'œil d'un observateur sans pour autant choquer outre mesure. Une balise lumineuse de faible puissance signalera la position du mât la nuit pour des raisons de sécurité aérienne.

Pour des raisons de sécurité, le chantier sera éclairé la nuit. Cet éclairage pourra être visible en vision proximale ou distale selon le site.

Enfin, les étapes de dégorgeement et de test de production de courte durée des puits avec la décharge du fluide géothermal dans un séparateur atmosphérique donneront lieu à un panache de vapeur au-dessus du séparateur.

### IV.12.2 Le site de forage du puits BO-12

De par son implantation, le site de forage du puits BO-12 et en particulier le mât de forage sera impactant visuellement pour les quelques riverains proches seulement (voir par exemple Figure 62). L'éclairage nocturne pourra impacter les mêmes riverains dans la mesure où il s'agit d'une zone en dehors de l'agglomération et dépourvu d'éclairage urbain.

### IV.12.3 Mesures concernant l'impact visuel des travaux

Les mesures suivantes seront prises afin de **réduire** l'impact visuel de chacun des deux chantiers de forage sur leur environnement :

- ✓ L'aire du chantier sera clôturée avec une clôture de couleur neutre afin d'atténuer l'impact visuel lié à la présence d'engins et des équipements de forage (hors mât de forage). Cette clôture aura également pour effet d'interdire l'accès au chantier ;
- ✓ Une autre mesure concerne le panache de vapeur qui sera généré pendant les tests de production de courte durée. Pour réduire voire supprimer ce panache de vapeur à la sortie de la cheminée du séparateur, un système d'aspersion à l'eau de mer sera mis en place afin de condenser la phase vapeur (voir Figure 67); ce qui aura également pour effet de réduire le bruit ;
- ✓ L'éclairage de la plateforme sera adapté pour limiter la pollution lumineuse qui impacte certains oiseaux et chiroptères (éclairage bas tourné vers l'intérieur du site et privilégiant les lampes au sodium à basse pression). Cette mesure sera également destinée à réduire l'impact nocturne du chantier auprès des riverains.



#### **IV.13. LES EFFETS SUR LE PATRIMOINE**

Le site des travaux de forage du puits BO-12 est à l'écart de monuments historiques et n'est soumis à aucune servitude liée à la protection du patrimoine.

#### **IV.14. LES EFFETS SUR LES ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES LOCALES ET REGIONALES**

##### **IV.14.1 Impacts des travaux sur les réseaux existants**

Lors des travaux, les réseaux d'alimentation en eau potable et d'assainissement seront sollicités avec l'accord des concessionnaires respectifs.

L'usage de ces réseaux sera proportionné à leur capacité et afin de ne pas créer de gêne ou de perturbations pour les autres utilisateurs.

##### **IV.14.2 Impacts des travaux sur les activités socio-économiques de la commune**

Les retombées socio-économiques des travaux de forage seront temporaires dans la mesure où ce chantier auront une durée limitée que l'on peut estimer à environ 3 mois. Toutefois, elles sont destinées à être pérennisées puisque la finalité de ces travaux de forage est d'accroître la capacité de production de la centrale de Bouillante. Cet objectif devrait légitimement conduire Géothermie Bouillante à renforcer son équipe d'exploitation et donc créer de nouveaux emplois. En termes de sous-traitances, Géothermie Bouillante devrait également solliciter encore plus les entreprises guadeloupéennes dans le cadre des travaux de maintenance périodiques.

Parallèlement, ce projet de nouveaux forages aura pour bénéfice de développer une énergie locale et renouvelable, qui émet peu de gaz à effet de serre. Il renforcera encore l'image écologique de la commune de Bouillante.



## IV.15. RECAPITULATIF DES MESURES ERC

### IV.15.1 Introduction

En application du 2° du II de l'article L. 122-3 du Code de l'environnement relatif aux études d'impact, la description des mesures prévues par le maître d'ouvrage pour éviter, réduire ou compenser les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine doit être accompagnée de l'estimation des dépenses correspondantes.

Dans l'étude d'impact, les Mesures ERC envisagées par Géothermie Bouillante lors des travaux de forages des puits BO-11 et BO-12 avaient été regroupées selon les thématiques suivantes:

- A : Mesures concernant les impacts sur le milieu naturel ;
- B : Mesures concernant les impacts sur les sols et les eaux de surfaces ;
- C : Mesures concernant les impacts sur les eaux souterraines ;
- D : Mesures concernant les impacts sur le milieu marin
- E : Mesures concernant la qualité de l'air ;
- F : Mesures concernant les nuisances sonores ;
- G : Mesures concernant la circulation ;
- H : Mesures concernant la sécurité des personnes ;
- I : Mesures concernant les risques naturels ;
- J : Mesures concernant les déchets ;
- K : Mesures concernant l'impact visuel du chantier.

Les mesures recensées au cours de l'Etude d'Impact, sont reprises dans les tableaux ci-après avec une estimation de leurs coûts.

A. Mesures concernant les impacts sur la faune et la flore terrestres		Coût estimé (€ HT)		
		Evitement	Réduction	Compensation
E1	Défrichage de la forêt limité au strict nécessaire ;	-		
E2	Maintien de la Propreté du site et enlèvement régulier des déchets pour ne pas attirer d'espèces nuisibles ;	5 000 €		
E3	Evitement des pollutions ponctuelles et diffuses des sols et des eaux afin de protéger la faune et la flore qu'ils renferment ;	Chiffré en B		
R1	Défrichage progressif et manuel pour limiter le stress de la faune ;		15 000 €	
R2	Travaux de défrichage, décapage, terrassement effectué de préférence et dans la mesure du possible pendant la période de moindre activité reproductrice (août à février) ;		-	
R3	Eclairage adapté pour limiter la pollution lumineuse qui impacte certains oiseaux et chiroptères;		2 000 €	
R4	Limitation du volume sonore des engins pour ne pas trop perturber la faune et limiter son éloignement. Activités les plus bruyantes effectuées en période diurne (9h-16h) ;		Sans surcoût	
R5	Revégétalisation des pourtours de la plateforme avec des espèces indigènes ;		5 000 €	
C1	Revégétalisation de la zone des travaux et restauration de la biodiversité;			10 000 €
C2	Lutte contre les espèces exotiques envahissantes ;			2 000 €
C3	Lutte contre les espèces invasives ;			Chiffré en G
C4	Suivi des impacts sur la flore pendant les travaux ;			5 000 €
C5	Suivi de l'évolution du milieu naturel à l'issue des travaux ;			20 000 €
C6	Restauration des espaces dégradés de la forêt sur la parcelle AO 413.			15 000 €

B. Mesures concernant les impacts sur les sols et les eaux de surface		Coût estimé (€ HT)		
		Evitement	Réduction	Compensation

## 1) Aménagement de la plateforme de forage

E1	Mise en place d'une semelle en béton imperméable au niveau de la plate-forme de forage pour éviter la pollution des sols;	20 000 €		
E2	Création de bassins bétonnés ou avec bâche géotextile imperméable pour le stockage temporaire des effluents;	10 000 €		
R1	Réseau de caniveaux pour collecte des eaux de pluie muni de dispositif déshuileur - débourbeur destiné à recueillir les traces d'hydrocarbures qui auraient pu s'échapper accidentellement des organes moteurs de l'appareil de forage ;		35 000 €	

## 2) Stockage d'hydrocarbures et de boue – Stockage de produits divers

E3	Création d'une aire de stockage pour les produits inflammables ou potentiellement polluants, délimitée en lieu sûr, avec signalisation appropriée ;	10 000 €		
E4	Mise en place de bacs de rétention sous tous les contenants de liquides potentiellement polluants ;	6 000 €		
E5	Récupération des déblais et effluents solides dans un bassin dont l'étanchéité est assurée par un film polyane et coulage dallage en béton armé de 15 cm d'épaisseur.	15 000 €		
R2	Récupération et évacuation par des entreprises spécialisées suivant filière réglementaire des carburants et huiles de vidange des moteurs ;		5 000 €	
R3	Dépotage effectué selon les besoins du chantier dans le respect des normes de sécurité (sonde de trop-plein, raccords antistatiques et antidéflagrants, rétention...); vidange à fréquence régulière de tous les dispositifs de rétention d'hydrocarbures, fréquence augmentée en période de fortes pluies ;		Exigence réglementaire	
R4	Fluides de forage ("boues") élaborés à partir d'eau douce ou eau de mer additionnée de bentonite (argile naturelle) et de polymères biodégradables ;		Surcoût compensé par une moins-value lors de l'élimination	

## 3) Production d'eaux ou de gaz géothermaux, détection des venues éruptives

E6	Tête de puits équipée en permanence d'obturateurs de sécurité (BOP ou Bloc d'Obturation de Puits) pendant le forage des niveaux aquifères et permettant une fermeture du puits en urgence ;	50 000 €		
R5	Le fluide géothermal qui sera déchargé lors des essais sera réinjecté, ou évacué vers des bassins étanches sur la plateforme de forage,		10 000 €	

C. Mesures concernant les impacts sur les eaux souterraines		Coût estimé (€ HT)		
		Evitement	Réduction	Compensation
R1	Les puits seront équipés de tubages 30"3/8, 20" et 13"5/8 cimentés sur toute leur hauteur, constituant des barrières étanches qui les isoleront parfaitement des aquifères superficiels ;		Pratiques inscrites dans les règles de l'art	
R2	Contrôle en continu des paramètres de la boue de forage pour limiter l'intrusion du fluide de forage dans les aquifères traversés et ajustement de la rhéologie de la boue. Gestion en temps réel des volumes perdus et des venues d'eau ;		10 000 €	
R3	En cas d'abandon des puits, la mise en place de bouchons de ciment conformément à la réglementation isolera parfaitement le réservoir géothermal profond des aquifères superficiels.		150 000 €	

D. Mesures concernant les impacts sur le milieu marin		Coût estimé (€ HT)		
		Evitement	Réduction	Compensation

E. Mesures concernant les impacts sur la qualité de l'air		Coût estimé (€ HT)		
		Évitement	Réduction	Compensation
E1	Arrosage de la plate-forme de forage lors des périodes sèches et ventées pour limiter l'émission et la dispersion des poussières ;	2 000 €		
E2	Tête de puits équipée en permanence d'obturateurs de sécurité (BOP ou Bloc d'Obturation de Puits) et permettant une fermeture rapide du puits en cas de venue éruptive de gaz ;	Déjà chiffré en C		
E3	Contrôle de l'artésianisme du puits par injection d'un fluide de forage de densité approprié, afin de prévenir toute venue éruptive de fluide pouvant conduire à une émission de vapeur et de gaz à l'atmosphère ;	Pratiques inscrites dans les règles de l'art		
E4	Contrôle continu de la concentration en H <sub>2</sub> S dans l'air ambiant en 3 endroits de la plate-forme de forage avec alarmes sonore et visuelle réglées sur 10 ppm - Mise en place en un lieu visible de tous les points du chantier d'une manche à air.	1 500 €		
E5	Chantier doté de masques à gaz individuels et d'appareils respiratoire autonomes. Information du personnel et des riverains au début des travaux des risques afférents à l'H <sub>2</sub> S et à la conduite à tenir en cas d'éruption de vapeur d'eau ou d'H <sub>2</sub> S ;	1 000 €		
R1	Utilisation d'engins conformes à la réglementation concernant l'émission des gaz d'échappement ;		Obligation réglementaire	
R2	Traitement de l'hydrogène sulfuré pendant les phases de test et de dégorgeement des puits.		2 500 €	

F. Mesures concernant les nuisances sonores		Coût estimé (€ HT)		
		Evitement	Réduction	Compensation
E1	Réalisation des opérations particulièrement bruyantes de préférence en période diurne et au cours de la semaine ;	Non chiffrable car variable		
E2	Restriction de la circulation des véhicules aux abords des chantiers durant la nuit et le week-end, sauf en cas d'urgence;	Sans surcoût		
E3	Restriction de l'usage des klaxons et avertisseurs excepté pour la prévention et le signalement d'accident ;	Sans surcoût		
R1	Insonorisation, capotage des moteurs des groupes électrogènes et de l'appareil de forage (mise aux normes) ;		Obligation réglementaire	
R2	Implantation optimale de la machine de forage pour éloigner au maximum les sources de bruit des riverains ;		5 000 €	
R3	Ecrans sonores ou murs anti-bruit en bordure du chantier ou au niveau des sources de bruit particulières du chantier ;		50 000 €	
R4	Ecran sonore, mur anti-bruit, travaux d'isolation phonique chez les proches riverains du chantier ;		50 000 €	
R5	Dotation du personnel de chantier en EPI (casques antibruit)		Obligation réglementaire	
R6	Aménagements du dispositif de test des puits (séparateur atmosphérique) afin de réduire le bruit		25 000 €	
C1	Mesures compensatoires consistant si besoin est à indemniser les riverains exposés aux nuisances sonores des chantiers			100 000 €
C2	Mesures compensatoires consistant si besoin est à assurer aux riverains les plus exposés un relogement la nuit seulement ou la journée complète en fonction du niveau des nuisances sonores.			
C3	Campagnes de mesures acoustiques pendant les travaux afin d'évaluer précisément l'impact sonore des chantiers ;			10 000 €

G. Mesures concernant les impacts sur la circulation		Coût estimé (€ HT)		
		Evitement	Réduction	Compensation
E1	Information des usagers des voies de circulation concernées au moyen de panneaux signalant la sortie d'engins de chantier au niveau des voies d'accès au chantier ;	5 000 €		
E2	Contrôle du stationnement des véhicules aux abords du chantier de manière à ne pas créer d'entrave à la circulation sur les voies d'accès ;	5 000 €		
E3	Aire spécifique dans l'enceinte du chantier réservée à la manœuvre des véhicules leur permettant de faire demi-tour pour réemprunter l'accès sans entrave à la circulation ;	5 000 €		
E4	Mesures visant à réglementer la circulation aux abords du chantier afin d'assurer la sécurité des usagers et d'éviter la gêne des véhicules liée au chantier.		5 000 €	
R1	Utilisation /location d'aire de stationnement publique (parking du stade) pour alléger et sécuriser la circulation autour des chantiers		Non chiffré	

H. Mesures concernant la sécurité des personnes		Coût estimé (€ HT)		
		Evitement	Réduction	Compensation
E1	Clôture du site des travaux (grillage ou bardage de couleur neutre) destinée à prévenir toute intrusion du public ;	30 000 €		
E2	Actions d'information des riverains à travers la CLIC sur la nature des travaux, leurs impacts environnementaux et les mesures envisagées ;	Non chiffré		
E3	Dotation du chantier en matériel destiné à la lutte contre l'incendie : extincteurs à poudre polyvalente, extincteurs à poudre de carbone, couverture anti-feu.	Exigence réglementaire		

I. Mesures concernant la prévention des risques naturels		Coût estimé (€ HT)		
		Evitement	Réduction	Compensation
E1	Aménagement du réseau d'évacuation des eaux pluviales pour limiter le risque d'inondation et de ravinement des sols dévégétalisés;	15 000 €		
E2	Travaux de confortements des sols et des talus pour prévenir les risques de mouvements de terrain.	50 000 €		

J. Mesures concernant la gestion des déchets		Coût estimé (€ HT)		
--	--	--------------------	--	--

		Evitement	Réduction	Compensation
E1	Collecte et tri des déchets industriels et ménagers	10 000 €		
E2	Traitement/Élimination des boues de forage et des déblais par un centre de traitement agréé	20 000 €		
E3	Traitement/Élimination des déchets industriels banals par des centres de traitement agréés	10 000 €		
E4	Traitement/Élimination des hydrocarbures et matériaux contaminés par des hydrocarbures, par des centres de traitement agréés	10 000 €		
R1	Réseau de caniveaux pour collecte des eaux de pluie muni de dispositif déshuileur - débourbeur destiné à recueillir les traces d'hydrocarbures qui auraient pu s'échapper accidentellement des organes moteurs de l'appareil de forage ;		Déjà chiffré en B	
R2	Nettoyage et remise en état des sites		50 000 €	

K. Mesures concernant les impacts paysagers		Coût estimé (€ HT)		
		Evitement	Réduction	Compensation
E1	Clôture du site des travaux par un grillage ou bardage de couleur neutre ;	Déjà chiffré en H		
E2	Système d'aspersion d'eau de mer au-dessus du séparateur pour condenser le panache de vapeur.	10 000 €		
R1	Eclairage adapté pour limiter la pollution lumineuse nocturne du chantier		Déjà chiffré en A	

#### IV.15.2 Estimation du coût global des mesures appliquées lors de la réalisation des travaux de forage

Le coût global des mesures d'évitement, de réduction ou de compensation des impacts environnementaux des travaux de forage du puits BO-12 est évalué au minimum à 872 000 €. Il se décompose ainsi :

Mesures d'évitement	Mesures de réduction	Mesures de compensation
290 500 €	419 500€	162 000 €

Pour information, le coût prévisionnel de réalisation du forage BO-12, incluant le coût de ces mesures environnementales, est estimé de l'ordre de 5 à 6 M€.



## V. LES METHODES D'ÉVALUATION DES IMPACTS ET LES DIFFICULTES RENCONTREES

Cette étude d'impact a été coordonnée par le bureau d'étude CFG Services, basé à Orléans, Loiret, qui a assuré la majeure partie de la rédaction. Les principaux contributeurs ont été :

- ✓ Hervé Traineau, Géologue senior ;
- ✓ Gabrielle Négrel, Ingénieur géochimiste et environnement ;
- ✓ Anne-Lise Gille, Ingénieur hydrogéologue ;
- ✓ Louis Hirsinger, Ingénieur forage.

Cette étude d'impact a bénéficié de deux contributions externes importantes :

- ⇒ Une contribution de l'**Agence Régionale du BRGM** (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), basé à Petit-Bourg, Guadeloupe, en ce qui concerne l'évaluation des risques naturels au niveau du site de forage des puits BO-12 ;
- ⇒ Une contribution du bureau d'études **Caraïbe Environnement Développement**, basé à Baie-Mahault, Guadeloupe, en ce qui concerne l'étude faunistique et floristique du site.

L'évaluation des impacts des travaux de forage des puits BO-11 et BO-12 sur l'environnement a reposé sur l'analyse des sensibilités environnementales du site, la prise en compte de la nature des travaux qui seront réalisés, et la comparaison entre l'état initial du site et l'état projeté.

Aucune difficulté particulière n'a été rencontrée pour évaluer ces impacts.

Les principaux documents qui ont été consultés dans le cadre de cette étude d'impact sont :

- BRGM (1992) - Atlas Communal des Risques Naturels de la Commune de Bouillante. Rapport BRGM/RR-36374-FR.
- Caraïbe Environnement (2011) – Dossier de demande d'autorisation d'ouverture de travaux d'exploitation de la centrale géothermique de Bouillante – 4<sup>ème</sup> partie : Etude d'Impact. Rapport n° 388Q-R0904/09/PS/OF, 145 pages.
- Caraïbes Environnement (2017) – Mesures d'impact sonore dans l'environnement des installations de la centrale géothermique ORMAT, septembre 2017, 24 pages, 2 annexes.
- CFG Services (2010) - Cartographie des émissions atmosphériques d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) de l'unité B1 de la centrale géothermique de Bouillante. Rapport 10 CFG 65, 26 pages.
- DEAL Guadeloupe, Comité de Bassin de la Guadeloupe, Office de l'Eau Guadeloupe, ONEMA (2016) – SDAGE 2016-2021. Révision de l'état des lieux 2013 du district hydrographique Guadeloupe.
- EDF-SEI (2017) – Systèmes énergétiques insulaires Guadeloupe, Bilan prévisionnel de l'équilibre offre / demande d'électricité, juillet 2017, 14 pages.
- Gwad'air (2010) – Campagne de mesure de la pollution atmosphérique sur la Cote-sous-le-vent, septembre 2010, 81 pp.



- INERIS (2011) - Fiche de données toxicologiques et environnementales de l'Hydrogène sulfuré (mise à jour du 29/09/2011). 106pp.
- Météo France Guadeloupe (2017) – Bulletin climatique annuel 2016 de la Guadeloupe, 4 pages.
- OREC (2017) – Les chiffres clés de l'Energie en Guadeloupe. Bilan 2016, 40 pages.
- Région Guadeloupe, DEAL (2017) - Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) 2016-2018/2019-2023 de la Guadeloupe, 113 pages.
- CFG Services (2010) - Cartographie des émissions atmosphériques d'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) de l'unité B1 de la centrale géothermique de Bouillante. Rapport 10 CFG 65, 26 pages.
- Météo France Guadeloupe (2017) – Bulletin climatique annuel 2016 de la Guadeloupe, 4 pages.
- NortekMed (2009) – Mesures de températures, salinités & oxygène dans la baie de Bouillante. Rapport d'étude AF1011/EON/0109/1, 34 pages
- Parc National de la Guadeloupe (2014) - Charte de territoire du parc national de la Guadeloupe approuvée par le décret n° 2014-48 du 21 janvier 2014, 84 pages.
- Préfecture de la Région Guadeloupe (2007) – Commune de Bouillante. Plan de prévention des risques naturels prévisibles. Règlement, 51 pages.
- Région Guadeloupe, DEAL (2017) - Programmation Pluriannuelle de l'Energie (PPE) 2016-2018/2019-2023 de la Guadeloupe, 113 pages.

Les principaux textes législatifs qui ont été consultés sont les suivants :

- ✓ Article R122-5 du code de l'environnement ;
- ✓ Loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte ;
- ✓ Décret n° 2016-1110 du 11 août 2016 relatif à la modification des règles applicables à l'évaluation environnementale des projets, plans et programmes ;
- ✓ Décret n° 2016-1303 du 4 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières, et abrogeant l'annexe intitulée « Titre Recherche par forage, exploitation de fluides par puits et traitement de ces fluides » du décret n° 80-331 du 7 mai 1980 portant règlement général des industries extractives ;
- ✓ Arrêté du 14 octobre 2016 relatif aux travaux de recherches par forage et d'exploitation par puits de substances minières ;
- ✓ Décret n° 2017-626 du 25 avril 2017 relatif aux procédures destinées à assurer l'information et la participation du public à l'élaboration de certaines décisions susceptibles d'avoir une incidence sur l'environnement et modifiant diverses dispositions relatives à l'évaluation environnementale de certains projets, plans et programmes.

\* \* \* \* \*

Annexe XIV : Complétude Etude d'impact sur l'environnement-Volet marin



# Extension de la centrale géothermique de Bouillante

Etude d'impact sur l'environnement \_ Volet marin

Auto-entreprise Gaelle HEBERT  
SIRET : 842 302 804 00013

12 Portes de Sofaia  
97115 Sainte Rose  
Tél: 0690 71 64 93  
[gaelle\\_hebert@hotmail.com](mailto:gaelle_hebert@hotmail.com)



## Références

---

Titre	<b>Extension de la centrale géothermique de Bouillante</b> EIE –volet marin_VF
Destinataires	ORMAT Géothermie Bouillante
Contacts	M François JOUBERT
Auteur	Gaëlle HEBERT
Référence	18102021-GH-RC-OGB_VF
Date	25 juin 2021

Mots clés : étude d'impact, extension, centrale, impact, mesures, diagnostic, 2021

## *Table des matières*

1	Contexte et objectif .....	- 4 -
2	Identification du demandeur, cadre juridique et situation foncière .....	- 5 -
2.1	Identification du demandeur .....	- 5 -
2.2	Cadre juridique.....	- 6 -
2.1	Situation foncière des travaux .....	- 6 -
3	Solution alternatives et raisons pour lesquelles le projet a été retenu .....	- 10 -
4	Description du projet retenu et phasage des travaux .....	- 11 -
5	Etat initial du site .....	- 14 -
5.1	Qualité des eaux marines.....	- 14 -
5.2	Risques naturels .....	- 17 -
5.3	Milieu naturel.....	- 18 -
5.4	Activités humaines (identification activités marines) .....	- 27 -
6	Incidences du projet sur l'environnement – compartiment Milieu marin.....	- 28 -
6.1	Impact sur le milieu physique .....	- 28 -
6.2	Impact sur le milieu naturel marin.....	- 36 -
7	Compatibilité avec le SAR et le SMVM .....	- 46 -
8	Mesures correctives ou compensatoires envisagées .....	- 48 -
8.1	Mesures concernant le milieu physique.....	- 48 -
8.2	Mesures concernant le milieu naturel .....	- 50 -
9	Moyens de surveillance .....	- 54 -
10	Synthèse des impacts résiduels du projet sur le volet « Milieu marin» .....	- 56 -
11	Annexes .....	- 59 -

## **1 CONTEXTE ET OBJECTIF**

La centrale géothermique a fait l'objet d'un arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter datant de Juillet 2012, modifié en août 2016.

L'exploitation géothermique de Bouillante comporte actuellement une usine située dans le bourg de Bouillante et dotée de deux unités de production d'électricité Bouillante 1 et Bouillante 2 d'une capacité globale de 15,5 MW.

Elles sont alimentées en vapeur par des puits de production, accompagnés par des puits de réinjection du fluide géothermal et des puits d'observation pour surveiller l'évolution du gisement.

Le groupe Géothermie Bouillante souhaite développer son activité industrielle. Une étude d'impact environnementale doit être réalisée afin de permettre ce développement.

La centrale géothermique prélève de l'eau de mer pour le refroidissement de ses installations et rejette un mélange eau de mer/fluide géothermal par un canal de rejet dans la Baie de Bouillante.

Aucun travaux n'est prévu au contact du milieu marin pour ce projet d'extension. Toutefois, en phase d'exploitation, le volume de prélèvement d'eau de mer sera augmenté ainsi que le volume de rejet par le canal.

Le milieu marin de la baie de Bouillante fait l'objet d'un suivi régulier depuis 2012 et un diagnostic du milieu actualisé a été réalisé en juin 2021.

**Ce document représente le volet de l'étude d'impact environnemental relative au milieu marin.**

## 2 IDENTIFICATION DU DEMANDEUR, CADRE JURIDIQUE ET SITUATION FONCIERE

### 2.1 Identification du demandeur

Ce dossier est présenté par la société Géothermie Bouillante, propriétaire et exploitante de la centrale géothermique de Bouillante.

<b>Raison sociale</b>	<b>Géothermie Bouillante</b> <b>SIRET : 400 716 536 00018</b>
Adresse	Le Bourg 97125 BOUILLANTE. Tél : 0590952341

L'auto-entreprise Gaëlle HEBERT est chargée de la réalisation du volet marin de l'étude d'impact.

<b>Raison sociale</b>	<b>Auto-entreprise Gaëlle HEBERT</b> <b>SIRET : 842 302 804 00013</b>
Adresse	12 Portes de Sofaïa 97 115 SAINTE-ROSE Tél : 06 90 71 64 93
Cheffe de projet	Gaëlle HEBERT

## 2.2 Cadre juridique

Le projet est soumis à autorisation au titre des articles L214-3 et suivants du Code de l'Environnement ou « Loi sur l'Eau ». Conformément à la nomenclature de l'article R214-1 du Code de l'Environnement, le projet est concerné par la rubrique 4.1.2.0.

Compte-tenu de la nature du projet, et du fait de l'équivalence inter-code, le régime du Code Minier vaut régime du Code de l'Environnement.

**Tableau 1 : Cadre juridique associé au projet**

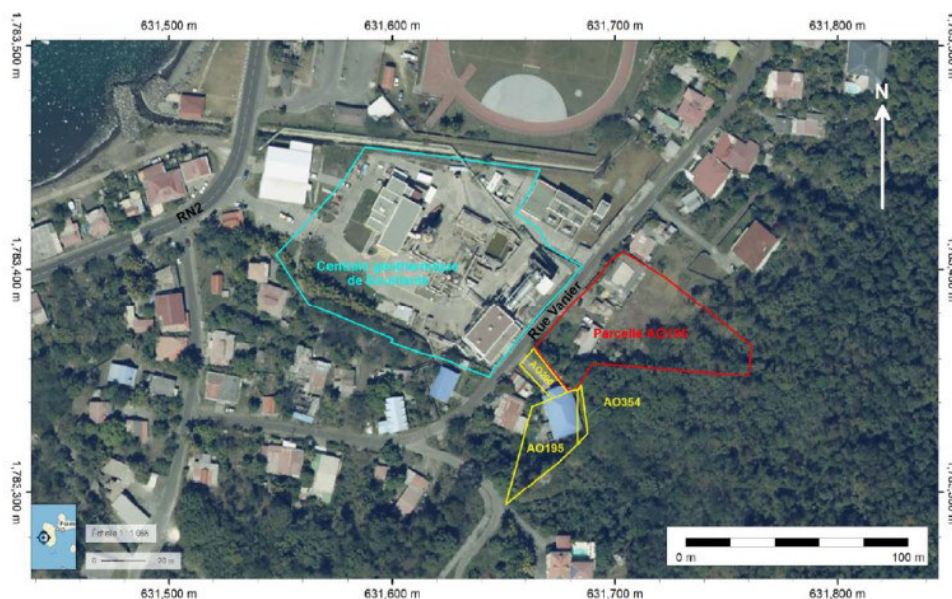
Rubrique(s)	Intitulé / Description	Grandeur(s) caractéristique(s)	Régime du projet	Réglementation(s) associée(s)
4.1.2.0	Travaux d'aménagement portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu marin et ayant une incidence directe sur ce milieu : <b>1° D'un montant supérieur ou égal à 1 900 000 euros (A) ;</b> 2° D'un montant supérieur ou égal à 160 000 euros mais inférieur à 1 900 000 euros (D).	Montant des travaux : <b>57 millions €HT</b>	<b>Autorisation</b>	Code minier

## 2.1 Situation foncière des travaux

### 2.1.1 Localisation du projet

Le projet d'extension de la centrale consiste à forer de nouveaux puits sur l'exploitation actuelle et sur la parcelle AO196. En plus des forages, 3 parcelles sont destinées au stockage des équipements et au parking des véhicules : AO 200, AO 195 et AO 354.

Aucune de ces parcelles de projet n'est en contact avec le milieu marin



**Figure 1 : Photographie aérienne du bourg de Bouillante (©GéoPortail) montrant le périmètre actuel de la centrale géothermique et les limites approximatives des parcelles voisines AO196, AO195, AO200 et AO354 retenues pour implanter les travaux de forage des nouveaux puits (Source : Antéa)**

Dans le cadre de l'exploitation actuelle, Géothermie Bouillante prélève de l'eau de mer au niveau de la station de pompage située en bord de mer ; eau de mer qui est utilisée pour condenser la vapeur à la sortie des turbines et refroidir l'eau séparée.

Parallèlement, des effluents sont rejetés par un canal de rejet dans la baie de Bouillante.

### Le projet interagit avec le milieu marin

- de part la station de pompage : prélèvement de 8 380 m<sup>3</sup>/h d'eau de mer
- de part le canal de rejet débouchant dans la baie et libérant environ 9000 m<sup>3</sup>/h d'effluents Bouillante à une température maximale de 45°C.
- les conduites d'amenée d'eau de mer sont enterrées le long des enrochements de la plage.



Figure 2 : Localisation du site de l'usine (ou centrale) géothermique de Bouillante et des sites déportés de l'exploitation au sein de l'agglomération de Bouillante (source : Antéa)

**Aucun travaux n'est prévu en mer.**

**Le canal de rejet ne fera pas l'objet de travaux.**

**La prise d'eau de la station de pompage ne sera pas modifiée.**

Une troisième station de pompage sera construite dans le cadre de ce projet : **B1bis**. Elle sera localisée à côté des stations de pompage des unités Bouillante 1 et 2 situées en bord de mer. L'ajout de cette troisième station de pompage ne nécessite pas de modifier la prise d'eau actuelle qui est suffisamment dimensionnée.

Les travaux visant à la création d'une troisième station de pompage se dérouleront dans l'emprise des parcelles dont l'usage a été concédé à Géothermie. Cette parcelle est déjà défrichée et imperméabilisée du fait de son exploitation depuis plusieurs années.

Pour acheminer l'eau de mer depuis la station de pompage en bord de mer jusqu'à l'échangeur de chaleur, il est prévu d'installer une nouvelle conduite d'amenée d'eau de mer en DN900.

Le trajet prévisionnel de cette conduite est indiqué sur la ci-dessous. Elle sera enterrée sous la plage le long des enrochements (comme les conduites d'amenée d'eau de mer des unités Bouillante 1 et 2) puis elle traversera la Route Nationale n°2 pour rejoindre toujours en trajet enterré l'échangeur situé à l'intérieur du site de la centrale.

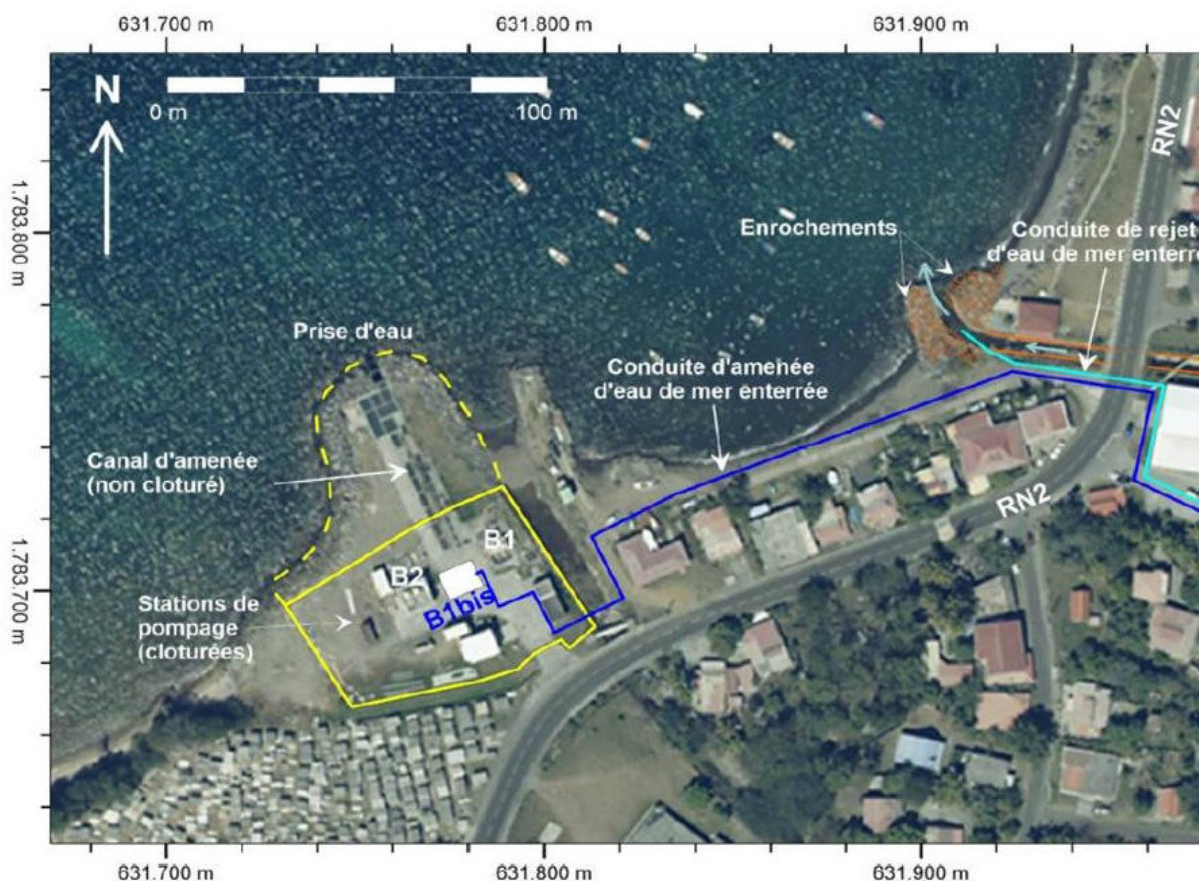


Figure 3 : Localisation des zones de projet proches du littoral

### 2.1.2 Occupation du Domaine Public

La zone de projet proche du littoral est située dans le domaine public maritime sous gestion de la commune. Les travaux se dérouleront dans l'emprise des parcelles dont l'usage a été concédé à Géothermie Bouillante par une Autorisation d'Occupation Temporaire (AOT) du domaine public maritime délivrée par la Mairie de Bouillante en 2015 pour une durée de 30 ans (parcelles AO124a, AO124b, AO568).

Les travaux liés à la station de pompage et aux conduites d'amenées d'eau de mer sont donc compatibles avec ce zonage.

Aucun travaux n'est prévu en mer.

Le canal de rejet ne fera pas l'objet de travaux.

La prise d'eau de la station de pompage ne sera pas modifiée.

La construction d'une troisième station de pompage B1bis se fera sur le site de projet déjà exploité et pour lequel le porteur de projet bénéficie d'un AOT du domaine public maritime.

Les canalisations d'amenée d'eau de mer seront enterrées avec celles déjà existantes, le long des enrochements.

### **3 SOLUTION ALTERNATIVES ET RAISONS POUR LESQUELLES LE PROJET A ETE RETENU**

#### **3.1.1 Variantes du projet**

Les variantes étudiées pour le projet ne concernent pas le milieu marin.

Ils concernent :

- le rejet du process utilisant le pentane comme fluide caloporteur
- la localisation dans les hauteurs de l'unité B1bis
- le choix du fluide réfrigérant R1233zd

#### **3.1.2 Raisons du choix retenu**

Les raisons des choix retenus ne sont pas en lien avec le milieu marin.

## 4 DESCRIPTION DU PROJET RETENU ET PHASAGE DES TRAVAUX

Dans le cadre de l'exploitation actuelle, Géothermie Bouillante prélève environ 8 380 m<sup>3</sup>/h d'eau de mer au niveau de la station de pompage située en bord de mer ; eau de mer qui est utilisée pour condenser la vapeur à la sortie des turbines et refroidir l'eau séparée.

Parallèlement, environ 9000 m<sup>3</sup>/h d'effluents sont rejetés par un canal de rejet dans la baie de Bouillante à une température maximale de 45°C.

Le projet entrainera le prélèvement

### 4.1.1 Nature des travaux concernant le milieu marin

les travaux principaux concernent les terrains éloignés du littoral.

Le milieu marin peut être concerné par les travaux secondaires suivants :

- **Chantier secondaire n°1** : Celui-ci comprend la construction des 4 nouvelles conduites de transport de fluides (1 pour l'eau séparée, 2 pour l'eau de refroidissement, 1 pour le mélange eau séparée + condensat), la mise en place d'un câble de transport électrique sur le trajet des conduites existantes entre le site de B1bis et le site de l'usine dans le bourg de Bouillante (environ 600 m de long) ainsi que le démontage du séparateur HP existant. Une partie de ces travaux sera réalisée sur des terrains dont Géothermie Bouillante a la propriété ou bénéficie de servitudes de passage. L'autre partie de ces travaux sera réalisée sur le domaine public (bande de servitude le long de Chemin Fifi).
- **Chantier secondaire n°5** : La construction d'une nouvelle station de pompage à proximité des stations de pompage existantes en bord de mer, sur le domaine public maritime où Géothermie Bouillante dispose d'une AOT délivrée par la municipalité de Bouillante ;
- **Chantier secondaire n°6** : La pose d'une nouvelle conduite d'amené d'eau de mer entre la station de pompage et le site de l'usine. Les travaux se dérouleront sur le domaine public maritime où Géothermie Bouillante dispose d'une AOT délivrée par la municipalité de Bouillante.

Dans le détail, les travaux consistent à

- ✓ creuser des tranchées pour enterrer la nouvelle conduite d'eau de mer sous la plage le long des enrochements (déblais, remblais, tassements)
- ✓ poser une nouvelle conduite d'eau de mer entre la station de pompage et l'usine géothermique
- ✓ Poser une conduite de rejet d'eau de mer
- ✓ réalisation de découpe, soudure
- ✓ création de dalle en béton pour la nouvelle station de pompage

**L'estimation des travaux est de 57 millions d'euros HT.**

L'exploitation de la centrale sera maintenue pendant la phase des travaux.

## 4.1.2 Planning des travaux

**La durée prévisionnelle des travaux est de 2,5 ans.**

La première année sera consacrée essentiellement à la fabrication des différents composants de l'unité OEC par ORMAT, et à l'approvisionnement des équipements (conduites, pompes, etc...) destinés aux travaux connexes. Il y aura donc peu de travaux sur site.

La deuxième année sera consacrée aux travaux de constructions et de montage sur les différents chantiers.

Enfin, la troisième année sera consacrée aux essais, à la mise au point finale et à la mise en service industrielle de la nouvelle unité B1bis.

Trimestres	Année 1				Année 2				Année 3			
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
Fabrication des composants de l'unité OEC												
Travaux de génie civil, fondations												
Montage des équipements de l'unité OEC												
Approvisionnements autres équipements												
Montages des autres équipements												
Interconnexion au réseau EDF												
Essais												
Mises au point												
Mise en service industrielle												

Tableau 2 : Calendrier prévisionnel des travaux

Les travaux se dérouleront en trois phases réparties sur 3 années civiles, la première phase pourrait débuter en 2021.

## 4.1.1 Fonctionnement en phase d'exploitation

Ce projet de nouvelle unité de production B1bis permettra d'augmenter la production d'électricité de 11 MWe pour porter la capacité totale de la centrale à 26,8 MWe brute

	Unités	Unité Bouillante 1	Unité Bouillante 2	Unité B1bis	Total
Puissance électrique brute installée	MWe	4,5	11	11,3	26,8
Puissance électrique nette estimée	MWe	4,2	10,2	10,3	24,7

Tableau 3 : Puissance électrique brute et nette des installations (source : Antéa)

Cette augmentation de production électrique sera réalisée en améliorant la valorisation du fluide géothermal prélevé, en augmentant le prélèvement et la réinjection du fluide géothermal ainsi que de l'eau de mer.

Ainsi, ce projet d'unité B1 bis entrainera :

- ✓ Une augmentation des prélèvements de fluide géothermal de 305 t/h (940 t/h comparé à 635 t/h actuellement), assortie d'une augmentation de la réinjection de fluide géothermal (50% au lieu de 15% actuellement) ;
- ✓ L'utilisation de la vapeur et de la saumure géothermale pour la production d'électricité (seule la vapeur est actuellement utilisée) ;
- ✓ Une augmentation des prélèvements en mer (13 400 T/h au lieu de 8 100 actuellement) tout en assurant leur réinjection en mer avec une température et une concentration en espèces chimiques plus faible (39°C au lieu de 45°C environ actuellement) ;

## 5 ETAT INITIAL DU SITE

### 5.1 Qualité des eaux marines

#### Surveillance de la qualité des eaux dans le cadre de la DCE

L'Office de l'Eau de Guadeloupe coordonne la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau sur les masses d'eau côtières depuis 2014. A ce titre, un suivi de la qualité des eaux est assuré annuellement dans le cadre de la mise en œuvre du SDAGE de la Guadeloupe.

La baie de Bouillante est intégrée à la masse d'eaux côtière FRIC 01 du SGADE de la Guadeloupe.

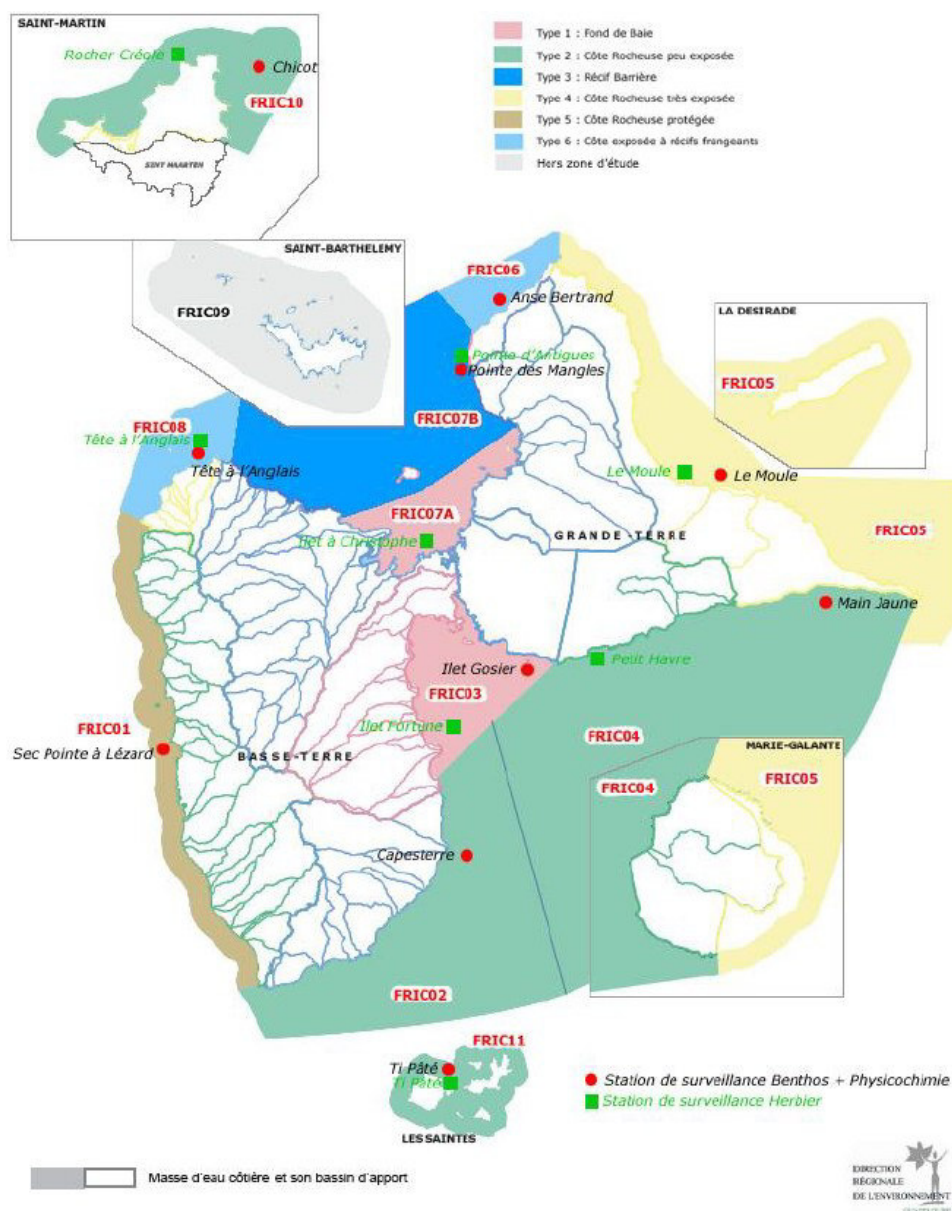


Figure 4 : Masses d'eau côtières de la Guadeloupe (source : DEAL Guadeloupe)

Selon SDAGE 2016-2021, la masse d'eau FRIC 01 se caractérise par un état écologique :

- Bon pour les paramètres biologiques et physico-chimiques

- mauvais pour l'état hydro morphologique et les polluants

Code MEC	Nom	Etat biologique	Etat physico-chimique	Etat hydro-morphologique	Polluants spécifiques	Etat écologique avec ou sans prise en compte de la chlordécone	
						Avec	sans
FRCO1	Côte ouest Basse-Terre	Bon	Bon	Non très bon Etat	Mauvais	Mauvais	Bon

Figure 5 : Bilan sur l'état écologique partiel de la masse d'eau côtière FRIC 01 (source : SDAGE 2016-2021)

### Qualité des eaux de baignade

L'Agence régionale de santé effectue tout au long de l'année le contrôle sanitaire des sites de baignade. Des prélèvements sont réalisés et leur analyse est effectuée par des laboratoires agréés par le Ministère chargé de la santé.

La détermination de la qualité des eaux se fait en mesurant les paramètres biologiques suivants :

- Escherichia Coli ;
- Entérocoques intestinaux.

Les sites de baignade suivis les plus proches sont

- anse à sable 1,8km au Nord
- anse thomas 2,2 km au Sud

Ils sont respectivement qualifiés de qualité insuffisante et suffisante mais ni bonne ni excellente.

La baie de Bouillante n'est pas suivie comme site de baignade.

Selon le SDAGE, la qualité de masse d'eau FRIC qui inclut la baie de Bouillante, est classée en bon pour les paramètres biologiques et physico-chimiques. Le site de baignade le plus proche présente une qualité insuffisante.

Bien que non suivie pour la qualité des eaux, la sortie du canal de rejet représente une zone de baignade fréquentée.

L'enjeu est fort.

### Particularités géothermale de la baie de Bouillante

De très nombreuses manifestations hydrothermales jalonnent les fonds sous-marins dans la baie de Bouillante.

Les principales zones de manifestations se situent au large de l'Anse Marsolle sur un fond sableux (émergence de fluides jusqu'à 120 °C), ainsi qu'à proximité de la côte au niveau de la grotte (températures proches de 100 °C).

D'autres sources thermales sont recensées au niveau de la bordure Nord de la baie de Bouillante (températures comprises entre 40 et 96 °C) comme autour de la Pointe du Léopard, ou plus loin autour de l'Îlet Pigeon.

Elles délivrent des fluides qui ont des températures d'émergence élevées et des compositions chimiques qui trahissent des contaminations de la nappe phréatique présente sous le bourg de Bouillante par des remontées de fluide géothermal profond et par des invasions marines.

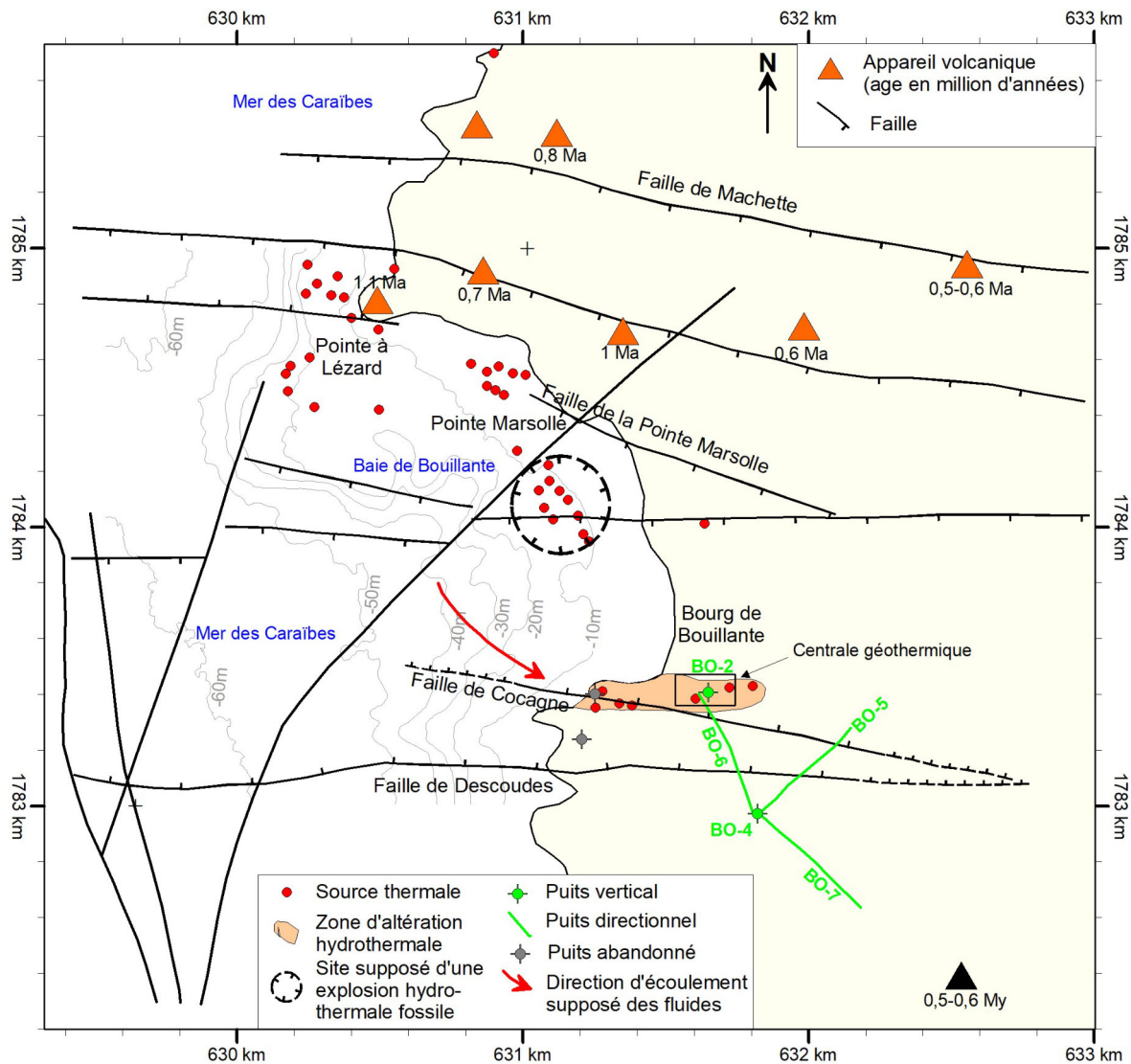


Figure 6 : Carte synthétique montrant les principaux éléments géologiques du champ géothermique de Bouillante, ainsi que la position des 7 puits profonds forés entre 1969 et 2001 (d'après Bouchot et al., 2008 ; Coordonnées UTM WGS84).

## 5.2 Risques naturels

Selon le plan de prévention des risques naturels de la commune de Bouillante

- la station de pompage est le chemin d'aménée de l'eau de mer sont situés sur une zone rouge : zone inconstructible en raison d'un aléa houle cyclonique fort. La construction de la nouvelle la station de pompage en zone inconstructible suivra la réglementation des projets nouveaux du PPRN et notamment les prescriptions sur les conditions de réalisation et d'exploitation. Le retour d'expérience sur l'exploitation des deux stations de pompage existantes permettra de s'assurer que l'implantation n'aggrave par les risques pour les biens et personnes en cas d'évènements majeurs.

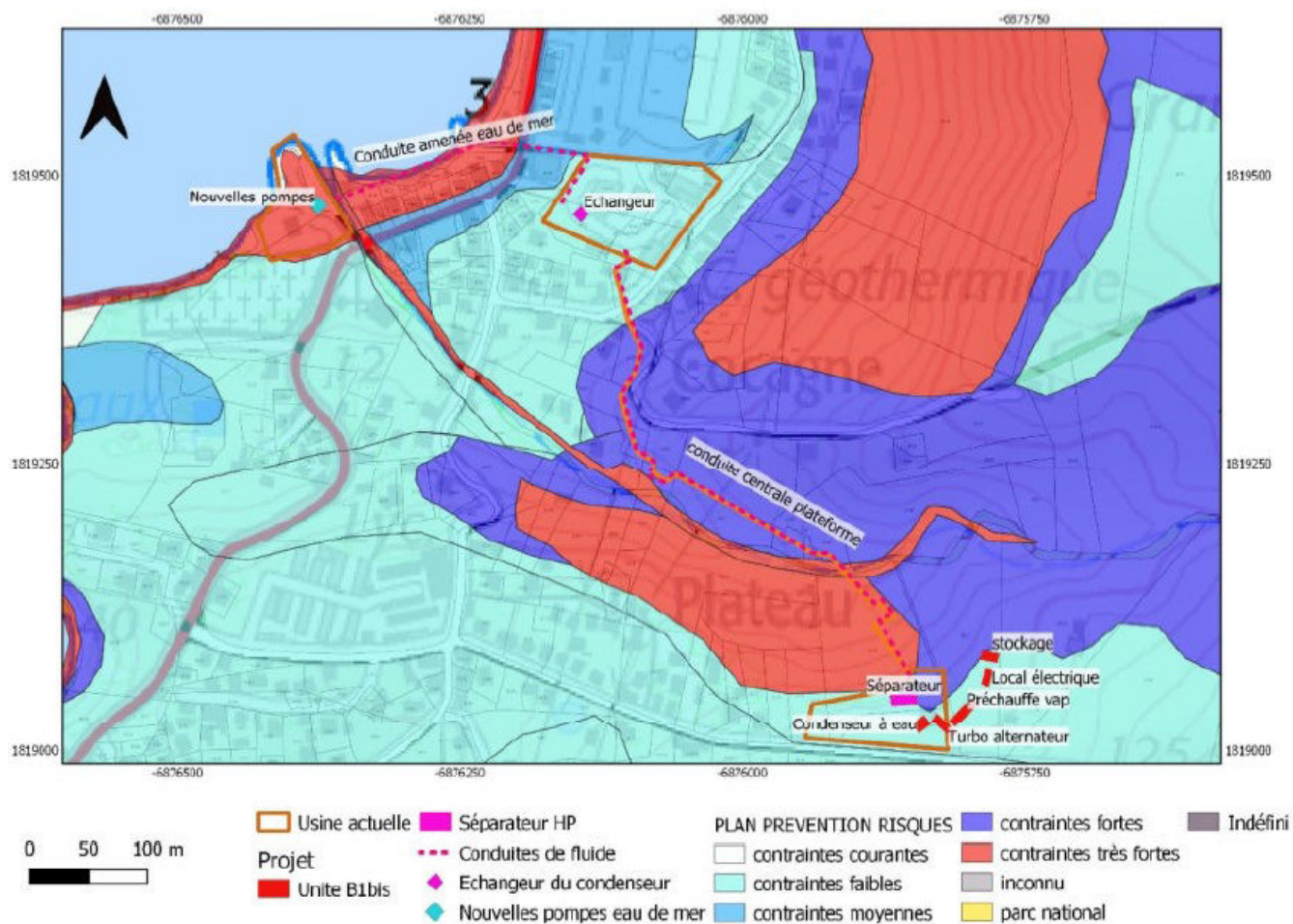


Figure 7 : Zonage réglementaire du PPRN de Bouillante (Source : Antéa)

Selon le PPRN de Bouillante les sites en contact avec le milieu marin sont soumis inconstructibles. L'enjeu est très fort.

La construction de la nouvelle la station de pompage en zone inconstructible suivra la réglementation des projets nouveaux du PPRN et notamment les prescriptions sur les conditions de réalisation et d'exploitation.

## 5.3 Milieu naturel

### 5.3.1 Zonages naturels réglementaires

L'archipel de la Guadeloupe compte cinq aires marines protégées qui couvrent une surface de 1379 km<sup>2</sup>, sur les 2781 km<sup>2</sup> totaux : une réserve de biosphère, un site Ramsar, deux Réserves Marines et l'aire marine adjacente au Parc National de Guadeloupe. En octobre 2010, la France crée également le sanctuaire de protection des mammifères marins Agoa sur toutes les zones économiques exclusives des Antilles.

Le site de prélèvement d'eau de mer et le site de rejet des effluents sont :

- à 1,8km au Sud du cœur marin du Parc National de Guadeloupe
- dans l'aire marine adjacente du Parc National de Guadeloupe.

Ils sont situés en dehors

- des zones de protection Ramsar
- des réserves naturelles régionales
- des réserves naturelles nationales
- des zones d'Arrêté de protection de biotope
- des réserves nationales de chasse et de faune sauvage
- d'un parc naturel marin
- d'une ZNIEFF marine.

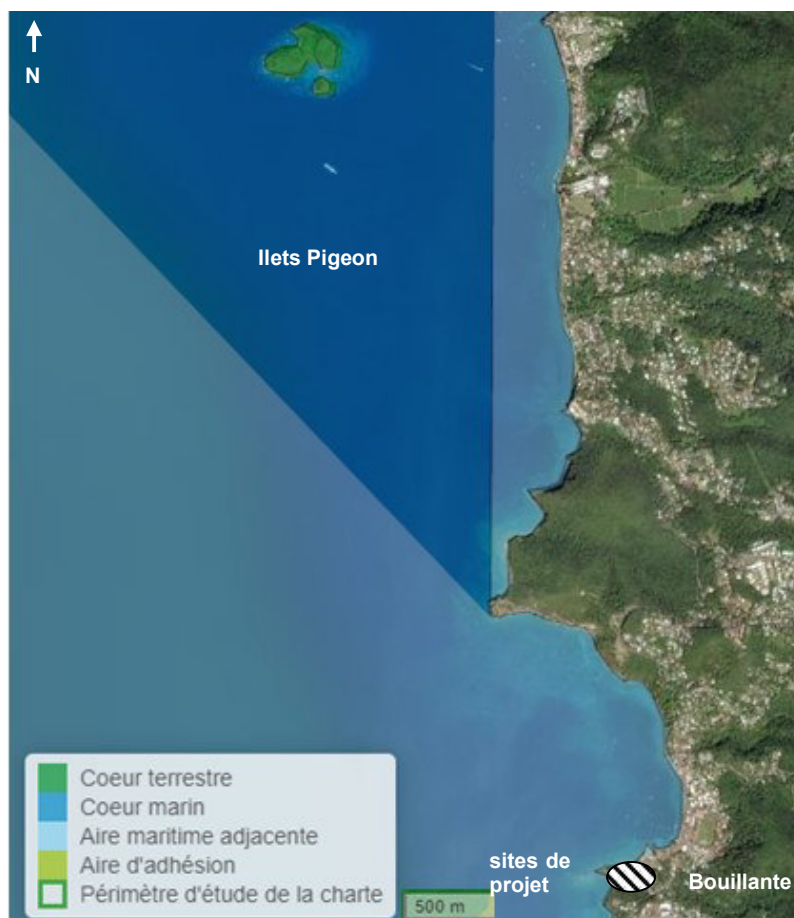


Figure 8 : localisation du site de projet par rapport au Parc National de Guadeloupe – secteur marin

Les sites de projets interagissent avec les eaux de l'aire marine adjacente du Parc National marin de Guadeloupe.

La centrale existante de géothermie bouillante ainsi que la plate-forme des puits ne sont pas situées sur la bande des 50 pas géométrique.

En revanche, la station de pompage de l'eau de mer, les conduites d'amenée d'eau de mer et l'émissaire du canal de rejet sont situés dans cette bande.

Les sites de projet sont en dehors des zones règlementaires de protection naturelle du milieu marin.

### 5.3.1 Biocénoses marines

#### Sur le site de projet

Les sites de travaux ne sont pas dans le milieu marin.

#### Dans la baie de Bouillante

La centrale dans son fonctionnement prélève de l'eau de mer au niveau de la station de pompage et rejette de l'eau de mer mêlée au fluide géothermale dans le canal de rejet débouchant dans la baie.

Une cartographie des biocénoses marines de la baie de Bouillante a été réalisée en 2009.

Il apparaît que les biocénoses benthiques sont composées essentiellement de plaines sédimentaires sablo-vaseuses avec des herbiers éparses dans les 200m de la côte. Ces biocénoses sont très pauvres et aucune espèce corallienne protégée n'y a été recensée.

En s'éloignant de la côte, des travées coralliennes soit bio-construites soit disposées sur des coulées basaltiques apparaissent. Les stations de suivi observées de 2008 à 2021 y sont localisées.

Les 4 stations suivies sont localisées dans des zones définies en 2008, comme des zones de **sensibilité écologique moyenne à forte**. Positionnée sur des zones rocheuses littorales ou sur des travées coralliennes bioconstruites, elles font parties des zones où les abondances et diversités biologiques sont les plus importantes de la baie.

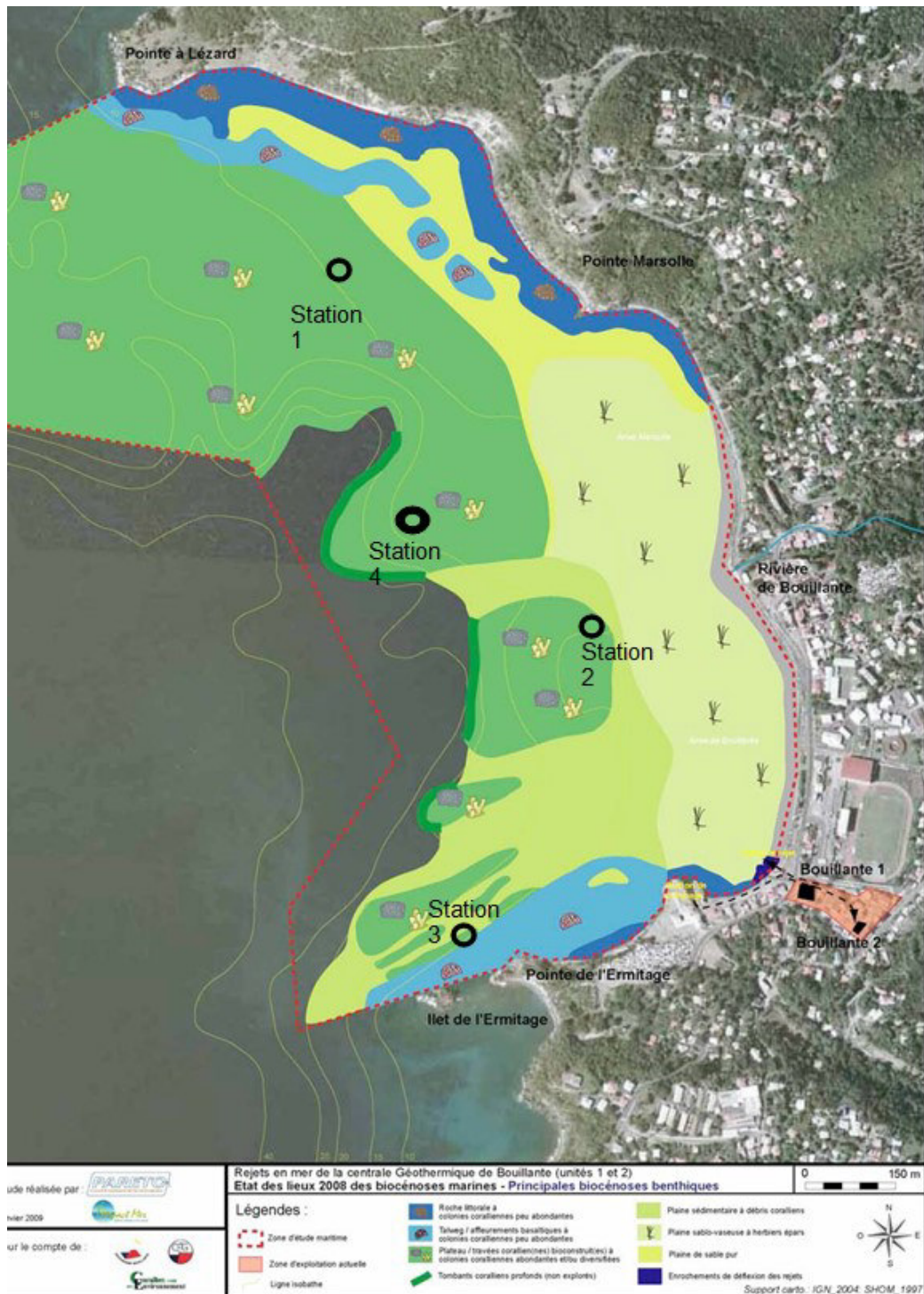


Figure 9 : localisation des stations par rapport aux principales biocénoses benthiques

### Station 1, au nord de la baie

La station 1 apparaît comme en bonne santé avec une couverture corallienne vivante particulièrement forte (47% du linéaire) pour un taux de nécrose de 8,5%.

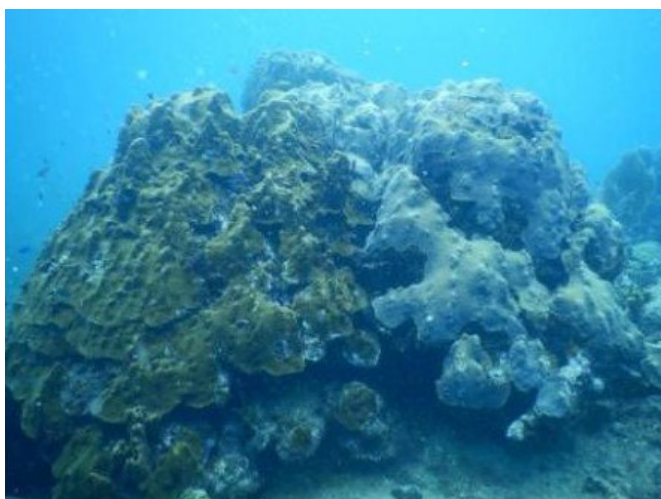
Les algues présentes sont plutôt éparses le long du suivi régulées par des diadèmes bien représentés (0,17 individus/m<sup>2</sup>)

Des colonies massives d'*Obicella* sp construisent le paysage et la diversité corallienne est la plus forte de la baie avec 16 espèces recensées.

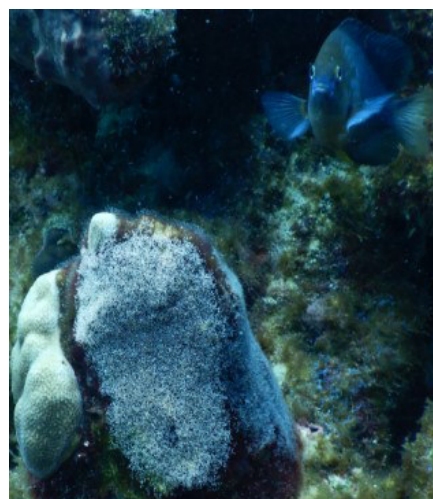
Le peuplement ichthyologique du site 1 est surtout composé de planctonophages (80%). Les poissons de taille situé entre 5 et 20cm dominent. La densité de poissons est de 2,27 poissons par m<sup>2</sup>. 6,3% des poissons sont des juvéniles, il s'agit de la station la plus riche en juvéniles.

Date de l'inventaire	Ref Station baie de Bouillante	Noms des espèces présentes sur les transects (60m/site)	Statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2017
04/06/2021	Station 1	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Orbicella annularis</i>	inscrit
		<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
		<i>Siderastrea siderea</i>	-
		<i>Agaricia humilis</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Millepora sp</i>	-
		<i>Porites porites</i>	-
		<i>Madracis decatis</i>	-
		<i>Pseudodiploria clivosa</i>	-
		<i>Mussa angulosa</i>	-
		<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
		<i>Stephanocoenia intersepta</i>	-
		<i>Madracis auretenra</i>	-

Tableau 4 : liste des espèces coralliennes présentes sur la station 1 et statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2021



Des formations coralliennes massives et en bonne santé (inscrites sur l'arrêté de protection)



Ponte de poisson demoiselle

Figure 10 : aperçu des communautés en place sur la station 1

La station 1 n'est pas soumise à l'influence du rejet de la centrale (modélisation du panache thermique). Cette station est la station suivie la plus distante de l'embouchure de la rivière de Bouillante et de la Station d'épuration du bourg. Il s'agit de la station étudiée bénéficiant des meilleures conditions du milieu dans la baie.

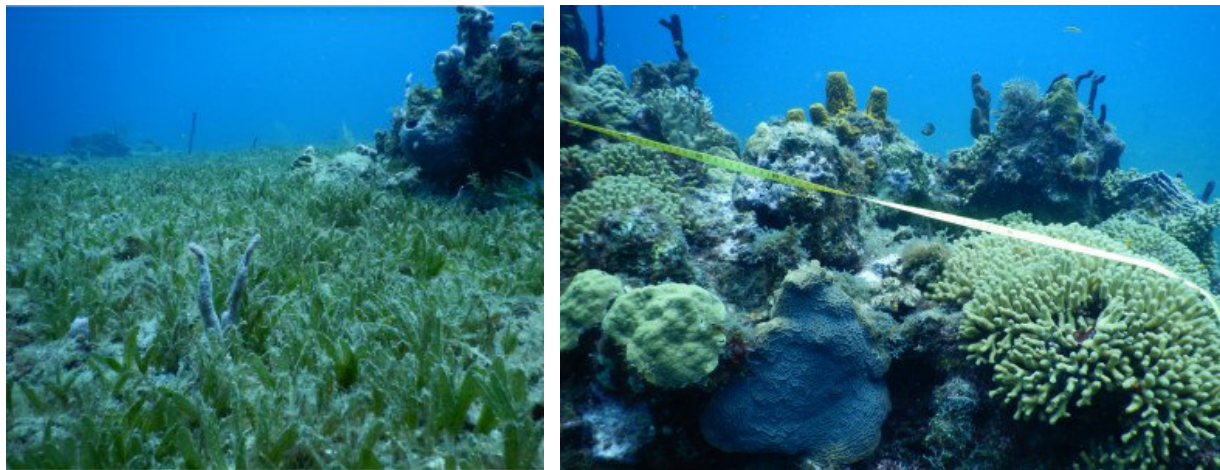
### Station 2 et 4 milieu de baie

La station 2 apparaît comme en relativement bon état de santé avec une couverture corallienne vivante couvrant 30% du linéaire mesuré, pour un taux de nécrose plus fort que sur le site 1, de 11,8%. On observe une mortalité importante et nouvelle sur les *Orbicella* sp.

Les algues présentes sont nettement visibles à fortes par endroit mais elles sont régulées par la plus forte densité de diadème relevée dans la baie (0,29 individus/m<sup>2</sup>). La pression exercée par les macroalgues sur les coraux sur la station 2 reste forte.

Les colonies coralliennes sont nombreuses mais petites, la diversité reste intéressantes avec de nombreuses formations de *Madracis auretenra* (2<sup>ème</sup> espèce la mieux représentée). Le recrutement est bon avec 1juvenile/m<sup>2</sup>.

Le peuplement ichthyologique du site 2 est surtout composé de planctonophages (84%). Les poissons de taille situé entre 5 et 20cm dominant. La densité de poissons est de 3,83 poissons par m<sup>2</sup>. Il s'agit de la station la plus peuplée. 4,3% des poissons sont des juvéniles.



*Prairie d'Halophila entourant le site 2*

*Madracis mirabilis et Porites Astreoides dominant le peuplement corallien*

**Figure 11 : aperçu des communautés en place sur la station 2**

La station 4 apparait comme en relativement bonne santé avec une couverture corallienne vivante de 33%.

Le taux de nécrose de la station est très fort avec près de 17% de coraux récemment mort. Mais la station 4 est aussi la station avec les plus juvéniles comptabilisés (21 sur 10m<sup>2</sup>), le plus de colonies coralliennes recensées (141 sur 120m<sup>2</sup>) et une bonne variété d'espèces présentes.

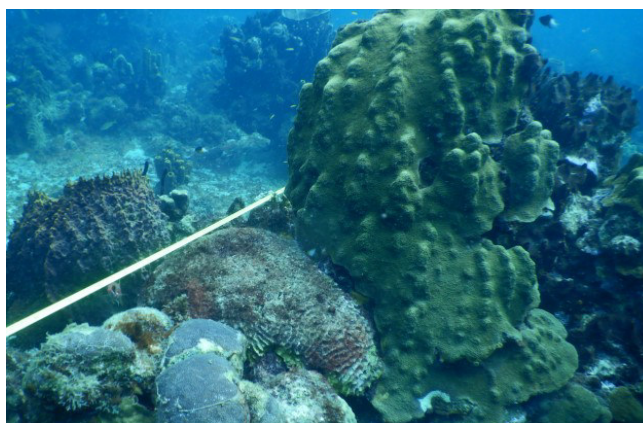
Les algues très présentes semblent régulées par des diadèmes bien représentés (0,33 individus/m<sup>2</sup>).

Le peuplement ichthyologique du site 4 est surtout composé de planctonophages (78%). Les poissons de taille situé entre 5 et 20cm dominant. La densité de poissons est de 3,11 poissons par m<sup>2</sup>. 3,1% des poissons sont des juvéniles.

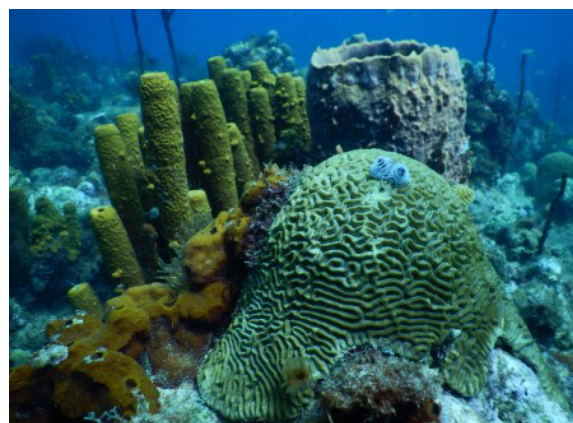
Date de l'inventaire	Ref Station baie de Bouillante	Noms des espèces présentes sur les transects (60m/site)	Statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2017
----------------------	--------------------------------	---	--

02/06/2021	Station 2	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Madracis auretenra</i>	-
		<i>Orbicella annularis</i>	inscrit
		<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
		<i>Porites porites</i>	-
		<i>Millepora sp</i>	-
		<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
		<i>Diploria sp</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Siderastrea siderea</i>	-
		<i>Scolymia cubensis</i>	-
		<i>Colpophyllia natans</i>	-
		<i>Eusmilia fastigiata</i>	-
		<i>Porites astreoides</i>	-
<i>Madracis auretenra</i>	-		
02/06/2021	Station 4	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Orbicella annularis</i>	inscrit
		<i>Siderastrea sid</i>	-
		<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
		<i>Madracis auretenra</i>	-
		<i>Millepora sp</i>	-
		<i>Pseudodiploria</i>	-
		<i>Porites porites</i>	-
		<i>Agaricia humilis</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
		<i>Madracis decatis</i>	-
		<i>Agaricia agaricites</i>	-
		<i>Stephanocoenia intersepta</i>	-
<i>Diploria sp</i>	-		

Tableau 5 : liste des espèces coralliennes présent sur la station 1 et 4 et statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2021



Sites construit sur des travées coralliennes



De nombreuses éponges : 17% des fonds

Figure 12 : aperçu des communautés en place sur la station 4

La station 2 est la plus soumise à l'influence du rejet de la centrale (modélisation du panache thermique). Cette station est aussi la station suivie la plus proche de l'embouchure de la rivière de Bouillante.

La station 4 n'est pas soumise à l'influence du rejet de la centrale (modélisation du panache thermique). Cette station est proche de l'embouchure de la rivière de Bouillante.

### Station 3, sud du plateau de l'hermitage

La station 3 apparaît comme en mauvaise santé avec une couverture corallienne vivante particulièrement faible (15% du linéaire) pour un taux de nécrose de 11%.

Les macroalgues brunes dominent le paysage et ne sont pas régulées par la très faible densité de diadème (1 individus sur les 120m<sup>2</sup>).

Des colonies massives d'*Orbicella* sp mortes construisent le paysage.

68% des fonds sont recouverts d'algues (*Lobophora variegata*, *Dictyota cf. pulchella*) ajoutés à la forte présence de cyanobactéries, l'ensemble témoigne d'une pollution importante du site par de la matière organique.

Le peuplement ichthyologique du site 3 est lui aussi surtout composé de planctonophages (65%). Les poissons de taille située entre 5 et 20 cm dominent. La densité de poissons est la plus faible de la baie avec 1,73 poissons par m<sup>2</sup>. 3,5% des poissons sont des juvéniles

Date de l'inventaire	Ref Station baie de Bouillante	Noms des espèces présentes sur les transects (60m/site)	Statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2017
02/06/2021	Station 3	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Madracis auretenra</i>	-
		<i>Porites porites</i>	-
		<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
		<i>Orbicella annualaris</i>	inscrit
		<i>Siderastrea siderea</i>	-
		<i>Pseudodiploria clivosa</i>	-
		<i>Diploria labyrinthiformis</i>	-
		<i>Scolymia cubensis</i>	-
		<i>Millepora sp</i>	-
		<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-

**Tableau 6 : liste des espèces coralliennes présentes sur la station 3 et statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2021**

La station 3 n'est que rarement soumise à l'influence du rejet de la centrale (scénario 3, modélisation du panache thermique) et uniquement en période de basse-mer pour un vent de Nord minimum de 6m/s. Cette station est la station suivie la plus proche de la Station d'épuration du bourg.



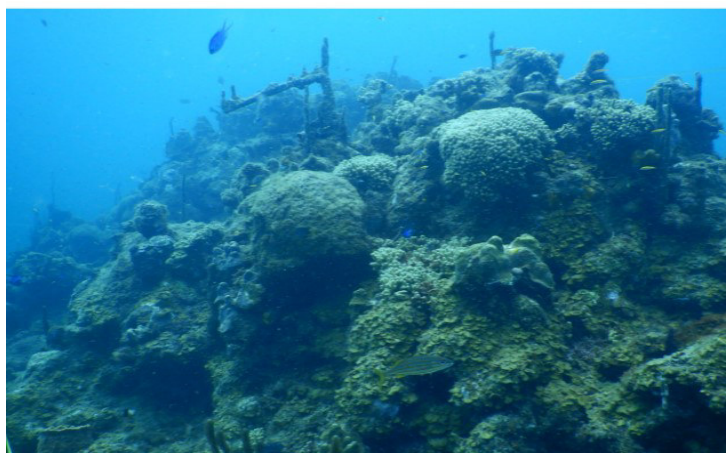
Présence marquée de filtreurs



Compétition importante subit par les coraux



Nombreuses plaques de cyanobactéries



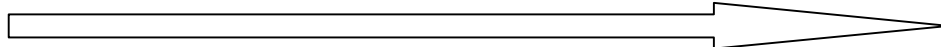
17% de colonies coralliennes vivantes, dominance des macroalgues brunes  
**Figure 13 : aperçu des communautés en place sur la station 3**

### Synthèse

Le tableau ci-dessous reprend les principales caractéristiques des relevés biologiques en ordonnant les stations du Nord au Sud de la baie. Les stations sont toutes situées entre 8 et 10m de profondeur dans la baie de Bouillante.

Nord de la baie

Sud de la Baie



	Station 1	Station 4	Station 2	Station 3
%couverture biotique	94,7	95	99,3	99,3
% de couverture corallienne vivante (linéaire)	48	33	30	15
Richesse spécifique corallienne	15	15	13	11
Nb d'espèces coralliennes protégées recensées	3	3	3	3
Taux de nécrose corallienne	8,4	17	11,8	11,4
Recrutement corallien (individus sur 10m <sup>2</sup> )	4	21	14	8
Espèces dominantes (3)	<i>Porites astreoides</i> <i>Orbicella annularis</i> <i>O.faveolata</i>	<i>Porites astreoides</i> <i>Orbicella annularis</i> <i>Siderastrea</i> sp.	<i>Porites astreoides</i> <i>Madracis auretenra orbicella annularis</i>	<i>Porites astreoides</i> <i>Madracis auretenra</i> <i>Porites porites</i>
% couverture vivante par les algues	56	49	57	68
% couverture vivante par les MA	33	22	33	38

<b>Diadèmes</b> (individus/m <sup>2</sup> )	0,17	0,13	0,29	0,008
<b>Densité de poissons</b> (espèces choisies, individus par m <sup>2</sup> )	2,27	3,11	3,83	1,73
<b>Particularité ichtyofaune</b>	Planctonophage Herbivore	Planctonophage Carnivores de 1 <sup>er</sup> ordre	Planctonophage Carnivores de 1 <sup>er</sup> ordre	Planctonophage Herbivores
<b>Familles dominantes (3)</b>	Pomacentridae scaridae	Pomacentridae Haemulidae	Pomacentridae	Pomacentridae Scaridae
<b>Structure du peuplement et structure trophique</b>	<p>Les poissons de taille moyenne (5-20cm) dominent le peuplement, les juvéniles représentent en moyenne 6% des poissons en effectifs.</p> <p>La structure trophique est dominée par les planctonophages (banc de <i>Chromis multilineatus</i>) mais paraît équilibrée en nombre d'espèces. On note l'absence de grands prédateurs.</p>			

Le site 1 au Nord de la baie est en meilleur santé. L'enjeu naturel sur cette station est fort.

Les stations de milieu de baie (2 et 4) sont potentiellement les plus soumises à l'influence du rejet de la centrale, d'après la modélisation du panache thermique (Créocéan, 2021) et les suivis d'influence du rejet (NortekMed, 2014). L'état de santé des communautés benthiques et ichthyologiques des sites 2 et 4 est relativement bon. De plus, l'état de santé de la station 2 se maintient par rapport aux suivis précédents. L'enjeu sur ces stations est fort.

Le site 3 tout au sud de la baie est en mauvaise état de santé. Il s'est détérioré ces dernières années avec un développement massif d'algues brunes et de cyanobactéries témoignant d'une contamination à la matière organique de la baie (eaux usées du bourg possiblement). L'enjeu sur la station 3 est modéré.

Thème	Constats	Intensité de l'enjeu
Faune et flore marine	Les biocénoses marines des 4 stations suivies accueillent 3 espèces coralliennes protégées relevées sur les transects. L'état de santé des communautés en place est relativement bon dans la zone d'influence du rejet (station2). Toutefois, la station la plus au sud de la baie (3) montre une dégradation notable lors du dernier relevé de 2021 avec une augmentation des densités de macroalgues, de mattes bactériennes et de filtres traduisant une augmentation de la charge en matière organique de la zone.	Fort
Espaces naturels et continuités écologiques	<p>Le site n'est pas inclus dans la zone protégée du cœur de Parc national de Guadeloupe (environ 1,8 km au nord-ouest du site) et elle est en dehors des zones réglementaires de protection naturelle du milieu marin.</p> <p>Les sites de projets interagissent avec les eaux de l'aire marine adjacente du Parc National marin de Guadeloupe, or le milieu marin est dans son ensemble un compartiment dont les flux communiquent et différentes espèces sont amenées à circuler</p>	Modéré

	<p>dans la baie de bouillante : larves, plancton, faune ichtyologique, tortues marines, etc. La proximité du cœur de parc augmente la probabilité de présence d'espèces d'intérêt. L'enjeu de la baie de bouillante d'un point de vue des continuités écologiques est évalué comme modéré.</p> <p>La canalisation d'eau de mer est située sur les 50 pas géométriques.</p>	
--	--	--

## 5.4 Activités humaines (identification activités marines)

La commune de Bouillante possède plusieurs zones de baignade.

Les trois principales sont :

- Plage de Malendure ;
- Plage d'Anse à Sable ;
- Plage de Petite Anse.

Ces plages ne sont pas situées sur le littoral du bourg de Bouillante.

La plage formant le littoral du bourg de Bouillante est constituée de galets. Sa largeur est d'environ 2m et elle est bordée par le boulevard du front de mer. Aucune végétation ne s'y développe. Elle est très peu fréquentée pour la baignade en dehors de la zone de baignade qui s'est développée à l'émissaire du canal de rejet des effluents de la centrale de Bouillante.

La baie de Bouillante regroupe quelques activités professionnelles liées à la mer. On recense ainsi :

- quelques bateaux de pêches mais ni marina, ni port, ni ponton ;
- Le club de plongée et sa base nautique
- un club de kayak ;

La baie de Bouillante recense quelques activités professionnelles liées à la mer et une zone de baignade qui s'est développée à l'émissaire du canal de rejet.

Thème	Constats	Intensité de l'enjeu
Activité humaine en mer	La baie de Bouillante recense quelques activités professionnelles liées à la mer et une zone de baignade qui s'est développée à l'émissaire du canal de rejet.	Faible

## 6 INCIDENCES DU PROJET SUR L'ENVIRONNEMENT – COMPARTIMENT MILIEU MARIN

Ce chapitre traitera des impacts du projet sur les compartiments de l'état initial en fonction des enjeux identifiés. Les critères suivants seront utilisés pour caractérisés ces impacts :

Caractéristiques d'un impact			
Nature	Intensité	Localisation	Durée
Positif ou négatif	Nulle, faible, modérée ou forte	Localisée ou étendue	Permanente ou temporaire

### 6.1 Impact sur le milieu physique

#### 6.1.1 Impact sur la courantologie

##### En phase de travaux

Aucun des travaux prévus n'est de nature à engendrer une modification de la courantologie de la zone : pas de travaux de digue, de ponton, d'enrochements ou de déplacement du canal de rejet notamment.

##### En phase d'exploitation

Le projet va entrainer un prélèvement plus important d'eau de mer au sud de la baie et quelques mètres plus loin au nord un rejet plus fort qu'actuellement.

	Prélèvement de fluide (T/h)	Réinjection dans le réservoir (T/h)	Prélèvement d'eau de mer	Rejet d'effluents en mer
Prescriptions de l'Arrêté préfectoral du 20/12/2019	970	380	8 380 m <sup>3</sup> /h (8 565 T/h)	9 350 m <sup>3</sup> /h
Débits d'exploitation prévisionnels des trois unités B1, B2 et B1bis (Fonctionnement au nominal)	940	470	13 111 m <sup>3</sup> /h (13 400 T/h)	13 571 m <sup>3</sup> /h (13 870 T/h)
Débits d'exploitation maximums sollicités par GEOTHERMIE BOUILLANTE	970	470	13 400 T/h	14 340 T/h

Source : Géothermie Bouillante

Figure 14 : Synthèse des débits autorisés dans l'arrêté préfectoral existant et ceux prévus avec la mise en exploitation de l'unité Bbis

9 350 m<sup>3</sup>/h sont actuellement rejetés et 13 571 m<sup>3</sup>/h sont prévus après la mise en place du projet.

Les différences de volumes concernés représentent environ 4200 m<sup>3</sup>/h et ne devraient pas engendrer de perturbation majeure sur la courantologie de la zone.

Ces travaux ne sont pas de nature à modifier de manière conséquente la courantologie actuelle de la zone.

De plus le point de rejet est décalé vers le large par rapport à la côte. Le trait de littoral sera ainsi identique à la situation avant travaux.

Caractéristiques de l'impact avant mesure			
NC	Négligeable à faible	Localisé	Permanent

### 6.1.2 Impact sur la qualité des eaux marines

#### En phase de travaux

Les travaux prévus peuvent engendrer un risque d'augmentation ponctuelle de la turbidité, notamment lors des travaux de terrassement :

- installation d'une nouvelle unité de pompage sur le site de la station de pompage
- déblais/remblais lors des travaux d'installation des canalisations d'amenée d'eau de mer le long de la plage et de la route

Les travaux prévus peuvent engendrer un risque de départ de polluants notamment par déversement accidentel de carburants, d'huiles de lubrifiants voire de peintures.

Les risques d'impact sans mises en place de mesures correctives sont potentiels mais restent relativement faibles compte tenus des volumes considérés, de la faible richesse des biocénoses en bordure du projet. De plus ces impacts sont circonscrits à la durée des travaux.

Des mesures d'évitements seront toutefois mises en place pour éviter ces impacts.

Caractéristiques de l'impact avant mesure			
Négatif	Potentiel, faible	Localisé	Temporaire

#### En phase d'exploitation

Le projet rejette un mélange d'eau de mer et de fluide géothermale au niveau de l'embouchure du canal de rejet.

Après travaux, le volume de ces rejets sera augmenté par rapport à la situation actuelle mais les concentrations en espèces chimiques seront diminuées.

- Le débit des condensats vapeur rejetés en tant qu'effluent liquide dans la baie reste stable ;
- Le débit de l'eau séparée rejeté en mer diminue de 16% ;
- Le débit d'eau de mer augmente de 61%
- Le débit des effluents (qui sont constitués à plus de 95% d'eau de mer) augmente de l'ordre de 57%.

**Les volumes d'eau de mer prélevées et rejetées vont augmentées, toutefois les masses d'eau rejetées seront plus diluées : la concentration en espèces chimiques du rejet sera moindre.**

**Les principaux éléments composant le fluide géothermal de Bouillante sont le chlore (Cl), le sodium (Na), le calcium (Ca), le potassium (K) et la silice (SiO<sub>2</sub>).**

De façon plus détaillée, la composition chimique du fluide géothermal est pour les espèces majeures : Na, K, Ca, Mg, Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, et pour les espèces traces et infra-traces (PO<sub>4</sub>, F, Br, B, NH<sub>4</sub>, Li, Sr, Ba, Mn, Fe, Al, As, Rb, Cs, Ge, Co, Cr, Ni, Cu, Zn, Ag, Cd, Pb).

Le fluide géothermal est naturellement présent dans les eaux de la baie, mais via le canal de rejet le projet entraîne une augmentation de la concentration en une zone (zone de rejet et panache associé).

Les éléments rejetés peuvent potentiellement impacter la qualité de l'eau dans la zone d'influence du rejet et plus précisément les paramètres suivants :

- la quantité de matière en suspension
- la disponibilité en oxygène de l'eau (DCO, DBO<sub>5</sub>)
- la salinité de l'eau (les rejets seront composés de 95% d'eau de mer, très faible impact attendu)
- la concentration en matière en suspension
- le pH.
- La teneur en nutriments, vers une augmentation de la teneur en Li, Cs, Rb, As, Ba, Mn, Fe, Calcium (+20,8 %), silice (+350 %), potassium (+4,5 %.);
- La teneur en ion sulfate et magnésium vers une diminution (ions sulfate : -6,0 %, ions magnésium : -5,6 %)

Toutefois, la dégradation de la qualité de l'eau reste localisée à la zone de rejet et de panache associé.

Des mesures de réductions visant à diluer les concentrations en espèces chimiques seront mises en place.

Des mesures de suivis pourront permettre de s'assurer de la qualité de la masse d'eau.

Caractéristiques de l'impact avant mesure			
Négatif	modéré	Localisé	Permanent lié au fonctionnement

### 6.1.3 Impact sur la température de l'eau

#### En phase de travaux

En phase de travaux aucune modification des températures n'est prévue

#### En phase d'exploitation

Le projet a été conçu de façon à prévoir une réduction de la température de rejet. Cette mesure de réduction des impacts du rejet sur le milieu est prise en compte dans la modélisation réalisée en 2021 par la société Créocéan.

Les conditions de rejet actuel sont les suivantes :

- T= 42°C ;
- Q= 9 000 m<sup>3</sup>/h.

Les conditions de rejet futur sont :

- T= 39°C ;
- Q= 13 800 T/h soit 13 500 m<sup>3</sup>/h (pour une densité de l'eau de mer de 1024 Kg/m<sup>3</sup>)

Les conditions met-océaniques retenues pour la modélisation sont les suivantes :

- ✓ Temps calme ;
- ✓ Vent d'Est à 8m/s ;
- ✓ Vent de Sud-Ouest à 5m/s ;
- ✓ Vent de Nord à 6m/s.

Pour des raisons conservatives, une marée de ME (morte-eau) a été retenue dans la modélisation pour réduire les conditions de dilution du panache et maximiser l'impact du panache en zone proche des rejets. Les rejets ont été considérés comme continus sur la période du 15 au 18 janvier 2009.

Une simulation sur un cycle complet a été réalisée sur la période du 9 au 29 janvier 2009 dans les conditions de vent réel (Est dominant) dans les deux conditions de rejet actuel et futur.

Créocéan se base sur une température ambiante de l'eau de mer variant entre 26°C et 28°C au cours de l'année avec une moyenne autour de 27°C.

4 scénarii sont proposés :

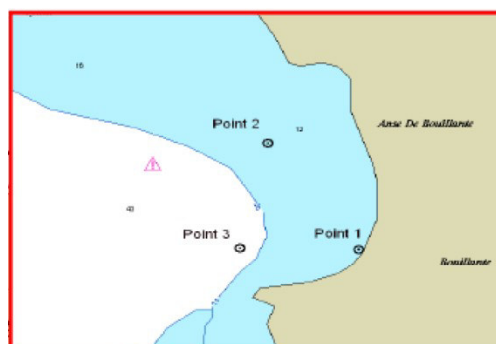
3 points de modélisation sont pris dans la baie

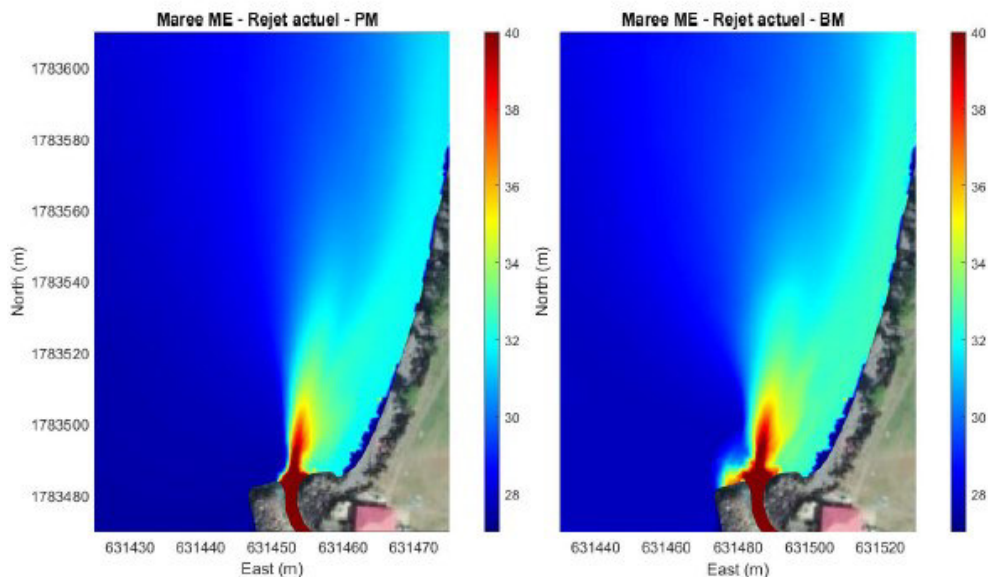
Point 1 : -2m de profondeur

Point 2 : -12m de profondeur

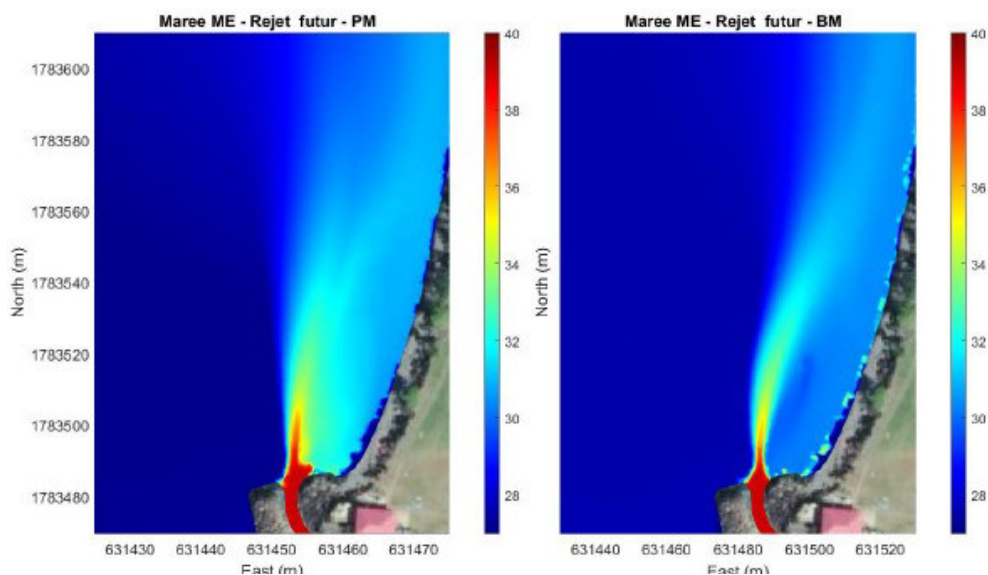
Point 3 : -15 m de profondeur

scénario	Vent : direction et vitesse
1	NON
2	d'Est, 8m/s
3	du Nord, 6m/s
4	du Sud-Ouest, 5m/s





Résultats pour le scénario 1 : Pas de vent, marée de Mer. Vue zoomée Rejet actuel. Plaine mer à gauche et basse mer à droite

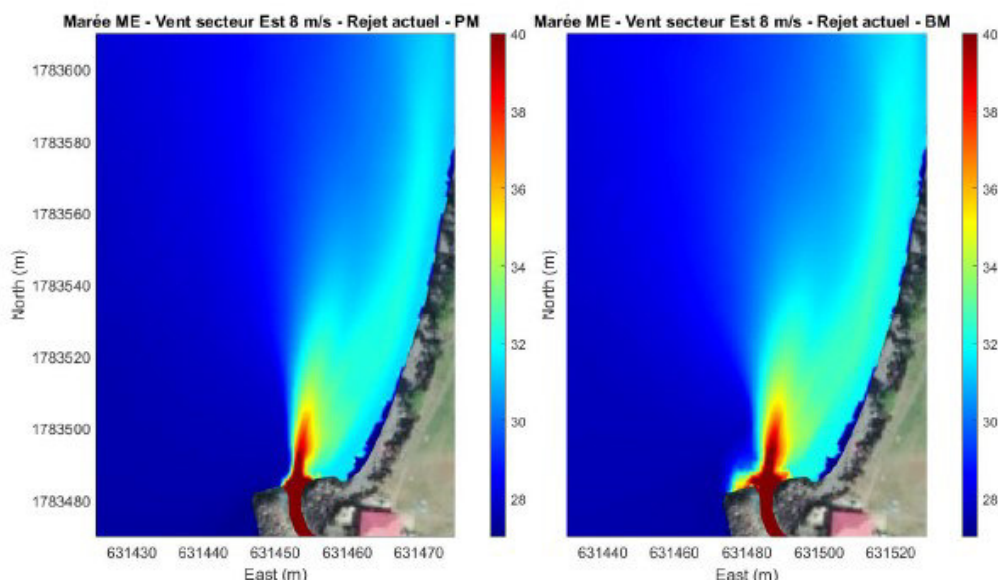


Résultats pour le scénario 1 : Pas de vent, marée de Mer. Vue zoomée. Rejet futur. Plaine mer à gauche et basse mer à droite

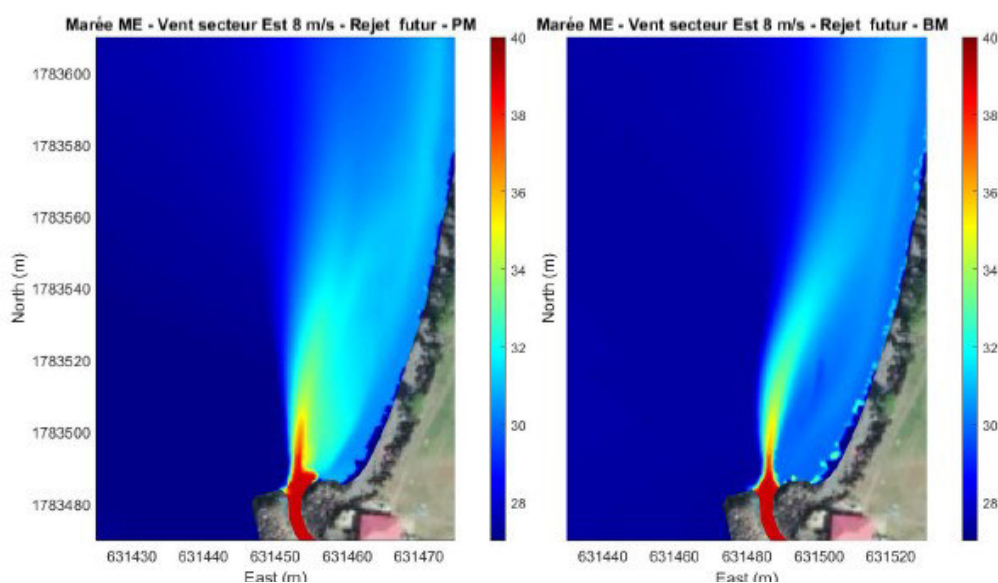
Figure 15 : résultats de modélisation du scénario 1, en haut 2 situations actuelles / en bas 2 situations attendues pour le nouveau projet

Dans le scénario 1, en absence de vent, le panache du futur rejet comme celui du rejet actuel s’étend vers le Nord. Dans le modèle futur, les températures à la côte sont moindres et l’influence de rejet chaud s’étend moins loin dans toutes les directions.

C’est dans les conditions actuelles que le maximum est atteint autour de 35°C. Les températures sont nettement plus faibles dans les conditions futures. Plus au large, les résultats sont globalement similaires avec des températures maximales de l’ordre de 27,8° C.



Résultats pour le scénario 2 : Vent d'Est 8m/s. Vue zoomée  
Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite

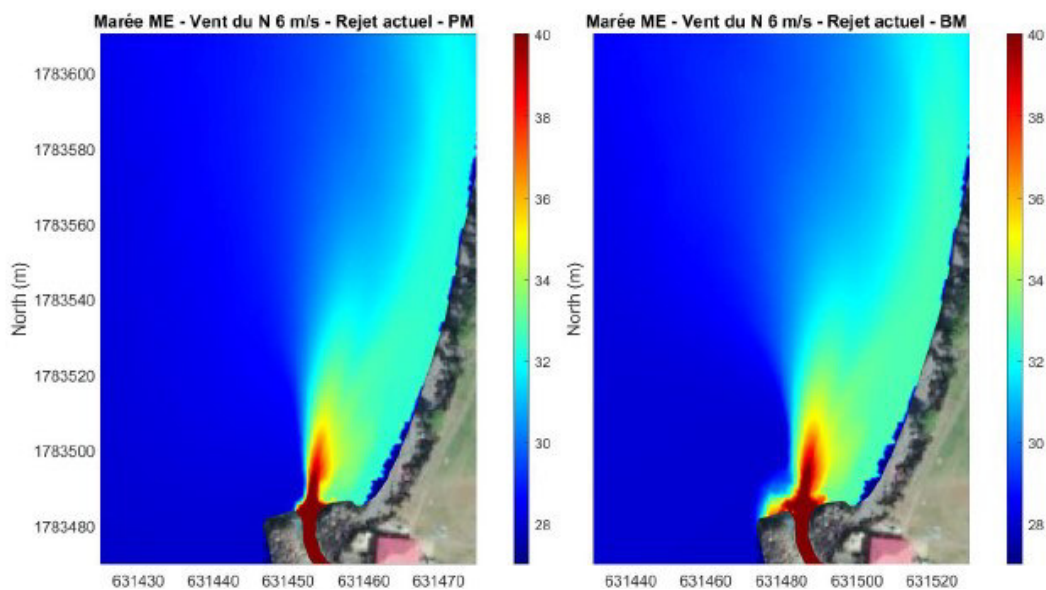


Résultats pour le scénario 2 : Vent d'Est 8m/s. Vue zoomée  
Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite

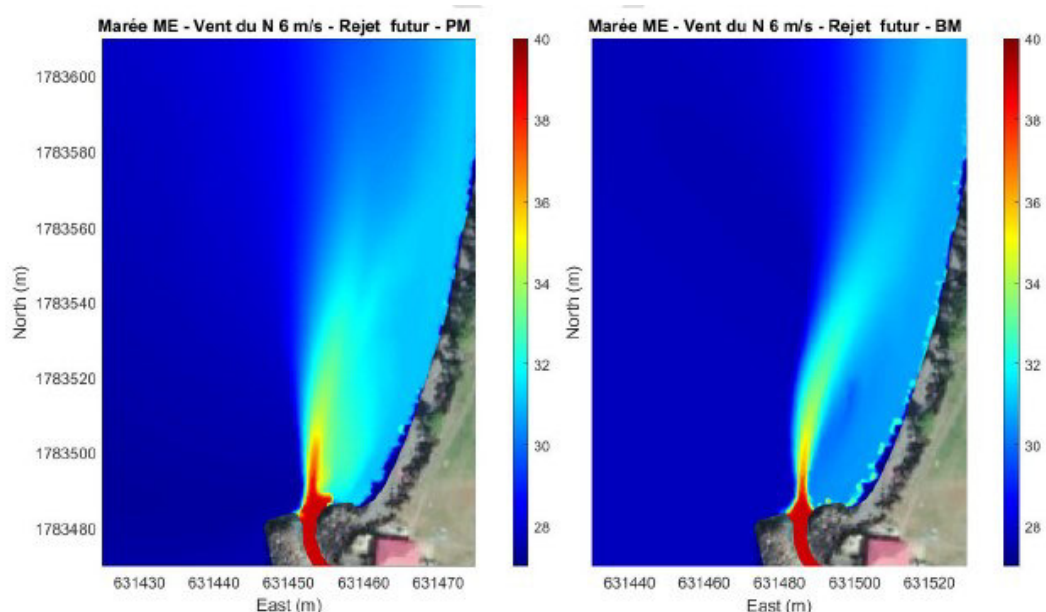
Figure 16 : résultats de modélisation du scénario 2, en haut 2 situations actuelles / en bas 2 situations attendues pour le nouveau projet

Dans le scénario 2, avec un fort vent d'Est, le panache du futur rejet comme celui du rejet actuel s'étend vers le Nord. Dans le modèle futur, les températures à la côte sont moindres et l'influence de rejet chaud s'étend moins loin dans toutes les directions.

Les températures maximales sont de l'ordre 35°C. On note une tendance à la diminution des températures en surface vers le large et une légère augmentation en profondeur (ce qui est dû à une augmentation des mélanges).



Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue zoomée  
Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite

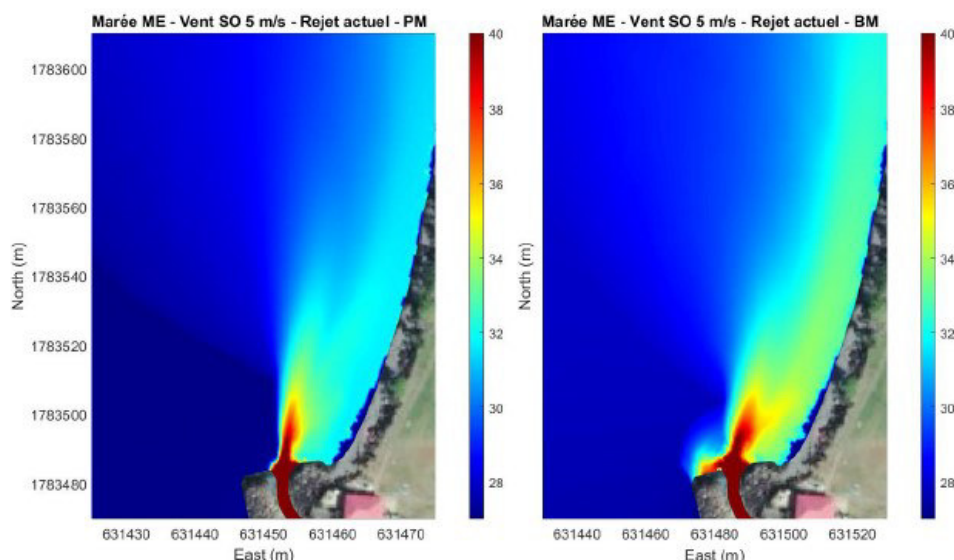


Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue zoomée  
Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite

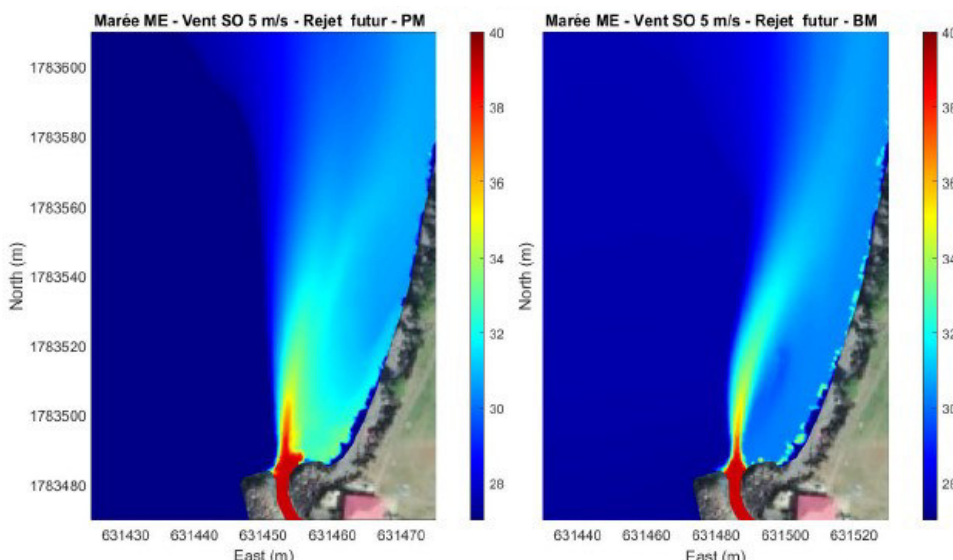
Figure 17 : résultats de modélisation du scénario 3, en haut 2 situations actuelles / en bas 2 situations attendues pour le nouveau projet

Dans le scénario 3, avec un vent modéré du Nord, le panache du futur rejet comme celui du rejet actuel s’étend vers le Nord. Dans le modèle futur, les températures à la côte sont moindres et l’influence de rejet chaud s’étend moins loin dans toutes les directions.

Le vent du Nord a tendance à bloquer l’extension du panache qui reste d’avantage confiné dans la baie. Les températures atteignent des valeurs de près de 28°C au large.



Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue zoomée Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite



Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue zoomée Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite

Figure 18 : résultats de modélisation du scénario 4, en haut 2 situations actuelles / en bas 2 situations attendues pour le nouveau projet

Le vent du Sud-Ouest a tendance à favoriser l’extension du panache et on observe une légère augmentation des températures au large avec des valeurs maximales de 28° tandis que plus au large encore les températures sont très faibles.

**Les conditions de rejet futures améliorent globalement les conditions de dilution en zone proche de rejet.**

**Plus au large, les températures sont sensiblement les mêmes avec des valeurs maximales atteignant 28° (soit un échauffement de +1°C).**

**Le rejet augmente la température dans une zone étendue de la baie de bouillante. Par rapport aux conditions hors rejet, l’impact est fort : allant à +1°C à 300m au large de l’embouchure du canal et à 15m de fond. C’est par un vent du Nord que les températures maximales sont observées dans la baie et plus au large avec un échauffement maximal de près de 1°C.**

Caractéristiques de l'impact avant mesure			
Négatif	Fort	Localisé dans la zone de panache	Permanent, lié à l'existence du rejet

## 6.2 Impact sur le milieu naturel marin

**Les principales dégradations observées sur les communautés marines benthiques sont liées à une détérioration de la qualité des eaux de la baie via une pollution par la matière organique.**

L'état de la station 3 le démontre avec l'apparition massive d'une algue brune absente des précédents suivis (*Lobophora* sp.), le développement de grandes plaques de cyanobactéries et la diminution importante de la population de diadèmes. La station porte les stigmates d'une détérioration de la qualité des eaux de la baie via une **pollution par la matière organique**.

On note un état de santé des communautés benthiques décroissant du Nord au sud avec plus de sédimentation, plus de maladies coralliennes et plus de compétition algales en allant vers le sud. L'émissaire de la station de traitement des eaux usées est au Sud de la baie. D'autre part, la station de traitement des eaux usées est classée non conforme.

**Le fonctionnement de la centrale n'est pas à l'origine de la pollution à la matière organique. Il reste qu'il est à l'origine d'une augmentation des pressions sur le milieu naturel.**

### 6.2.1 Augmentation des pressions sur les communautés coralliennes sous l'effet des rejets : température

La station 1 n'est pas soumise à l'influence du rejet de la centrale (modélisation du panache thermique). Cette station est la station suivie la plus distante de l'embouchure de la rivière de Bouillante et de la Station d'épuration du bourg. Il s'agit de la station étudiée bénéficiant des meilleures conditions du milieu dans la baie.

La station 4 n'est pas soumise à l'influence du rejet de la centrale (modélisation du panache thermique). Cette station est proche de l'embouchure de la rivière de Bouillante.

La station 2 est la plus soumise à l'influence du rejet de la centrale (modélisation du panache thermique). Cette station est aussi la station suivie la plus proche de l'embouchure de la rivière de Bouillante.

La station 3 n'est que rarement soumise à l'influence du rejet de la centrale (scénario 3, modélisation du panache thermique) et uniquement en période de basse-mer pour un vent de Nord minimum de 6m/s. Cette station est la station suivie la plus proche de la Station d'épuration du bourg.

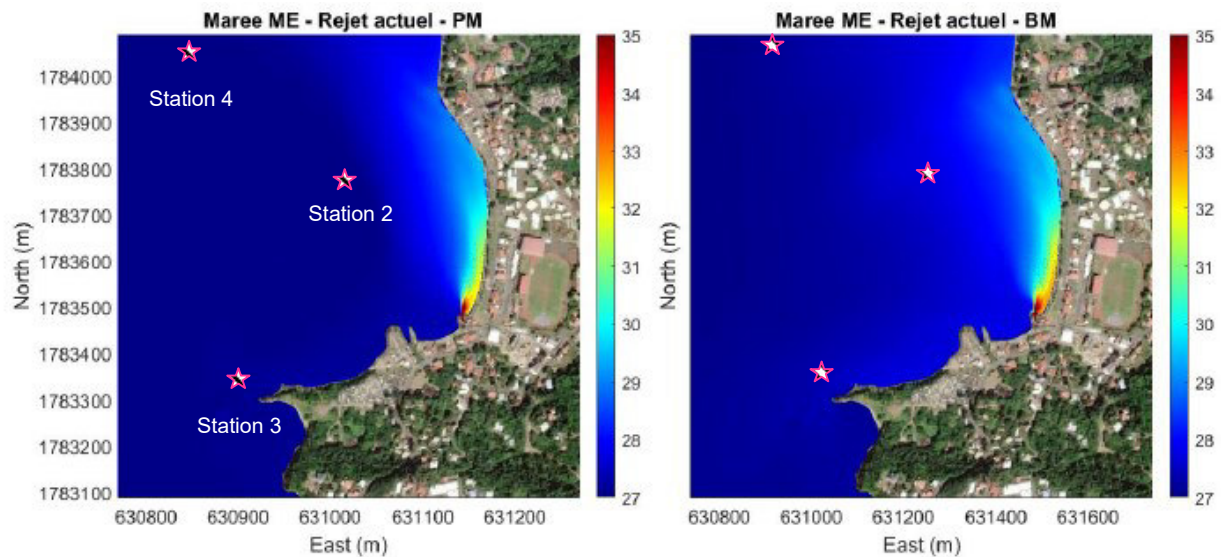
Une modélisation a été réalisée en 2021 par la société Créocéan afin d'analyser la zone d'influence du rejet futur de la centrale ainsi que l'intensité de cette influence.

Une modélisation avec le contexte de production actuelle a aussi été réalisée, permettant de prévoir les modifications à venir.

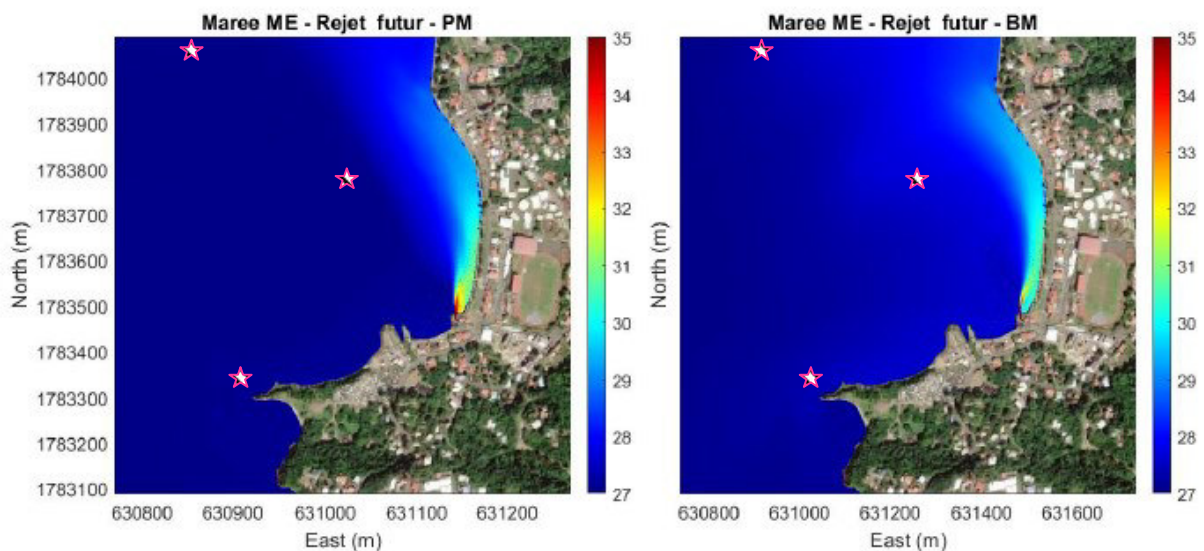
4 scénarii sont proposés :

scénario	Vent : direction et vitesse
1	NON
2	d'Est, 8m/s
3	du Nord, 6m/s
4	du Sud-Ouest, 5m/s

NB : Dans les cartes les localisations des stations dont les biocénoses sont suivies sont ajoutées. La station 1 est hors champs et ne subit pas l'influence du panache thermique du rejet, d'après la modélisation.



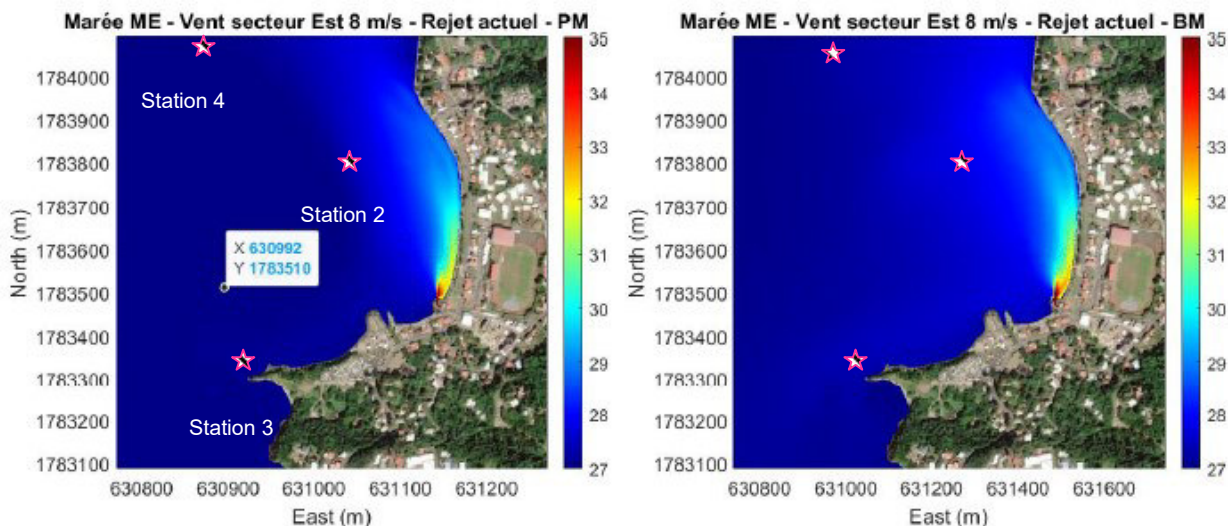
Résultats pour le scénario 1 ; Pas de vent, marée de Mer. Vue globale.  
Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite (source : Créocéan 2021)



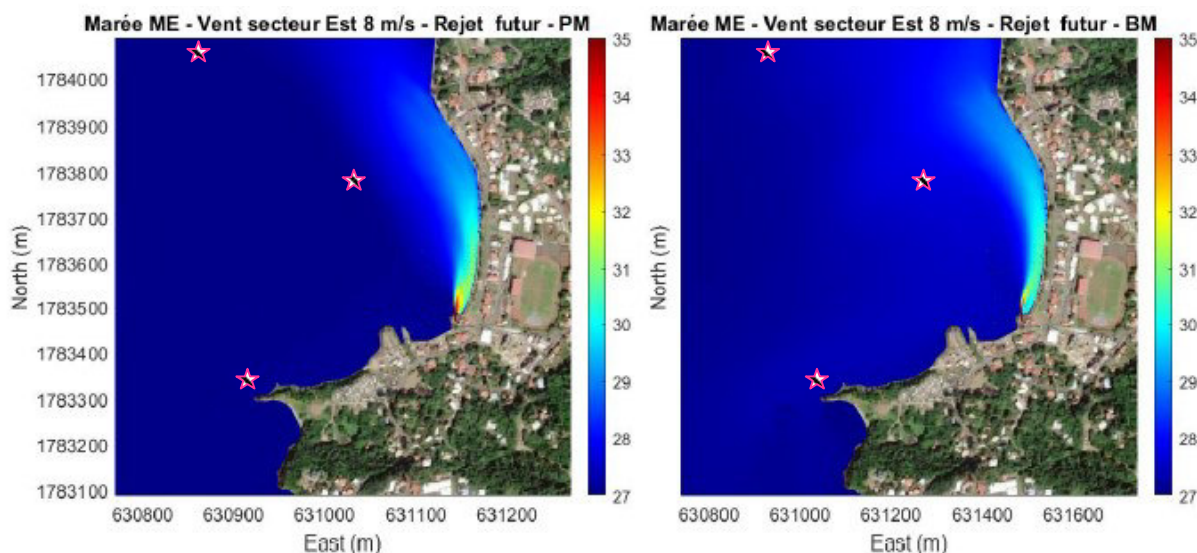
Résultats pour le scénario 1 : Pas de vent, marée de ME Vue globale  
Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite

Dans le scénario 1, les stations 2, 3 et 4 ne sont pas soumises à l'influence du panache thermique en période de Pleine mer ni actuellement ni dans le futur projet.

En période de Basse mer, les stations 2 et 3 subissent et subiront une élévation de la température pouvant aller jusqu'à +1°C en profondeur. La station 2 est plus exposée.



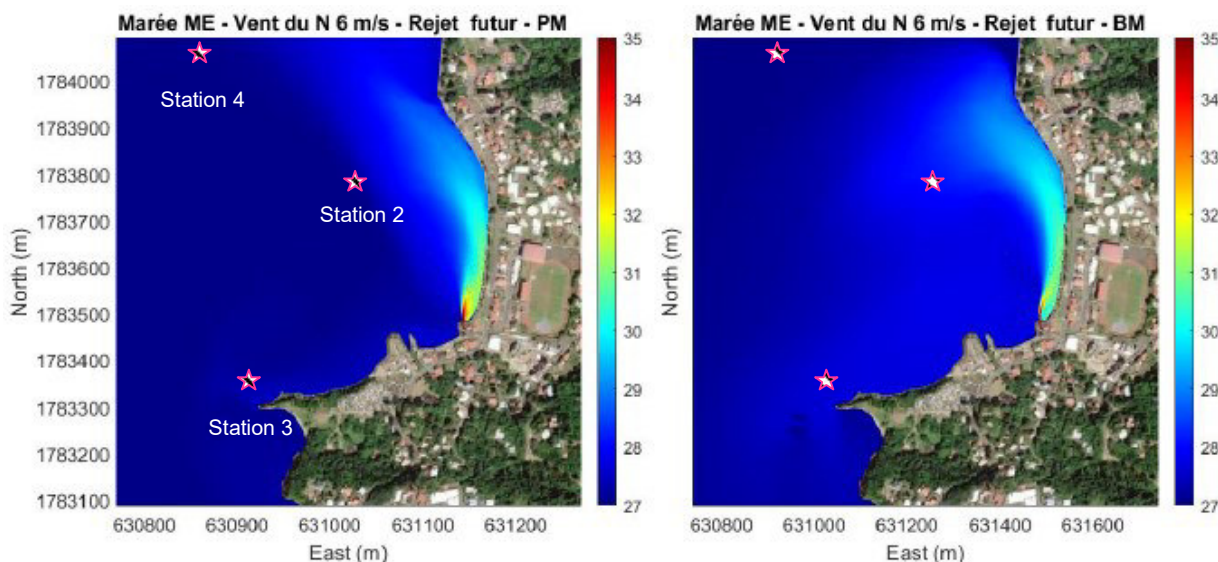
Résultats pour le scénario 2 : Vent d'Est 8m/s. Vue globale  
 actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite Rejet



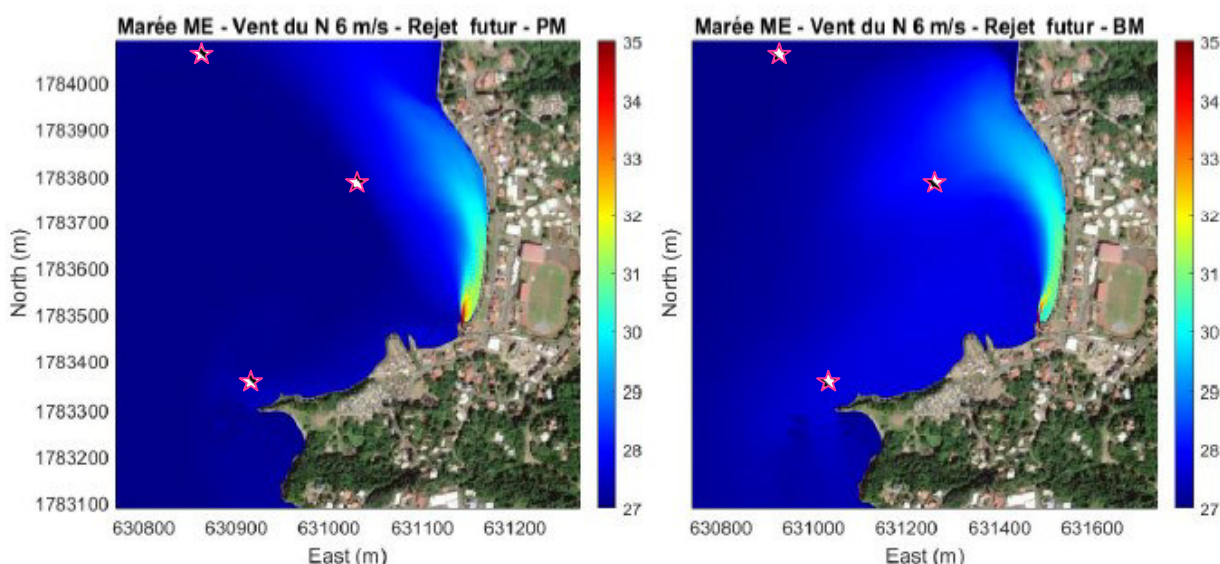
Résultats pour le scénario 2 : Vent d'Est 8m/s. Vue globale  
 Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite

Dans le scénario 2, les stations 2, 3 et 4 ne sont pas soumises à l'influence du panache thermique en période de Pleine mer ni actuellement ni dans le futur projet.

En période de Basse mer, seules les stations 2 et 3 subissent et subiront une élévation de la température pouvant aller jusqu'à +1°C en profondeur.



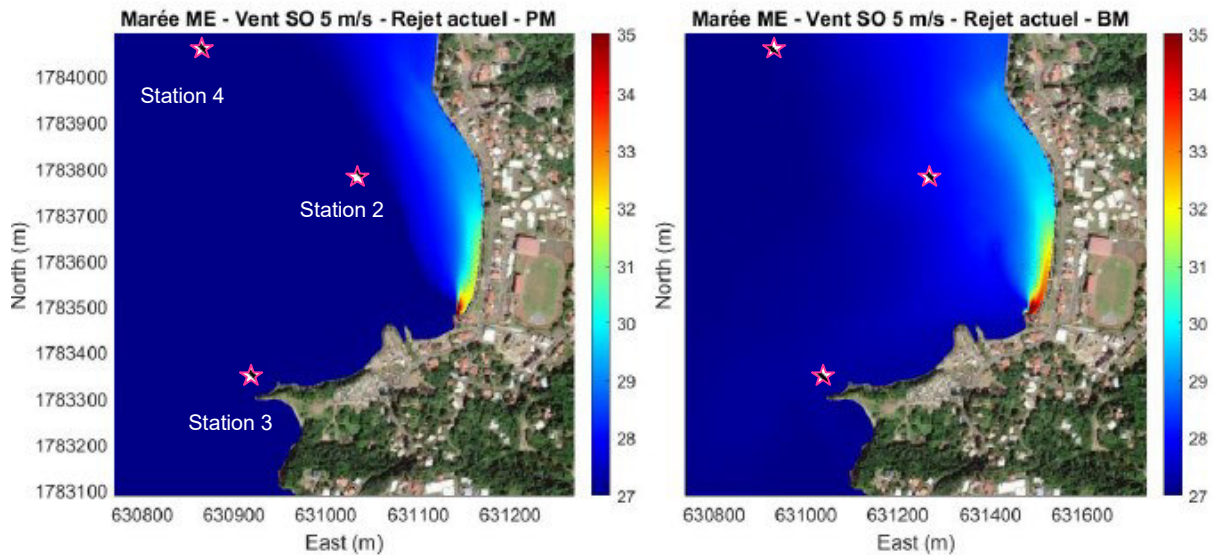
Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue globale  
Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite



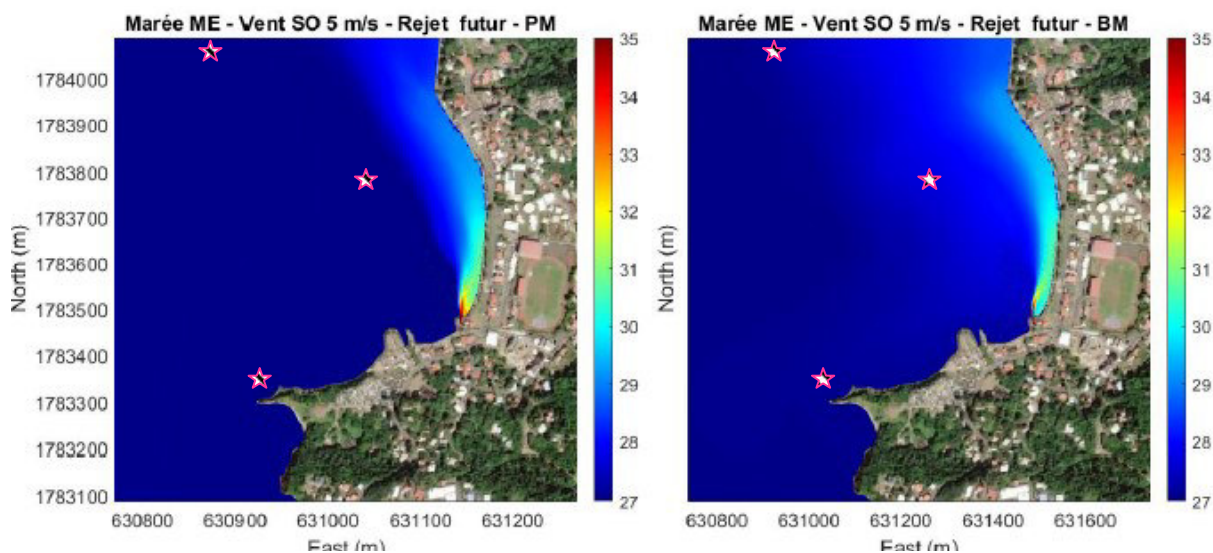
Résultats pour le scénario 3 : Vent de Nord 6m/s. Vue globale  
Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite

Dans le scénario 3, la station 4 n'est dans aucun cas soumise à l'influence du panache thermique ni actuellement ni dans le futur projet.

En période de Pleine Mer les stations 2 et 3 subissent et subiront encore une légère élévation de la température <à 1°C. En période de Basse mer, elles subissent et subiront une élévation de la température pouvant aller jusqu'à +1°C en profondeur.



Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue globale  
Rejet actuel. Pleine mer à gauche et basse mer à droite



Résultats pour le scénario 4 : Vent de Sud-Ouest de 6m/s. Vue globale  
Rejet futur. Pleine mer à gauche et basse mer à droite

Dans le scénario 4, les stations 3 et 4 ne sont dans aucun cas soumises à l'influence du panache thermique ni actuellement ni dans le futur projet.

En période de Basse mer, la station 2 subit et subira une élévation de la température pouvant aller jusqu'à +1°C en profondeur.

L'ensemble de l'analyse de ces scénarii nous montre que

- la station de suivi 1 est toujours hors d'influence du panache thermique actuellement et dans les conditions du projet à venir
- la station de suivi 2 est toujours sous influence en période de Basse Mer de l'influence du panache thermique dans les mêmes intensités actuellement que dans l'avenir
- la station de suivi 4 n'est pas et ne sera pas sous influence du panache thermique (exposition très faible dans le scénario 1 en période de Basse mer)
- la station de suivi 3 subit l'influence du panache thermique dans 3 scénarii sur 4 en Basse mer. L'exposition au panache thermique sera semblable à celui actuel.

**Les scénarii ne montrent pas de modification notable dans l'intensité des expositions au panache thermique actuellement et à venir. En période de Basse Mer et sur la station 2 la plus exposée, la température peut augmenter et pourra augmenter d'environ +1°C en profondeur.**

**Le nouveau projet ne sera pas à l'origine d'une augmentation supérieure de la température sur les stations suivies de la baie par rapport au projet actuel.**

- L'exploitation actuelle comme l'exploitation dans les conditions à venir n'a pas d'impact direct sur la station 1 ni la station 4.
- L'exploitation actuelle comme l'exploitation dans les conditions à venir entraîne une modification des conditions environnementale d'1°C sur les fonds de la station 2 en période de Basse Mer. Il s'agit de la station la plus exposée actuellement et dans les conditions à venir.
- L'exploitation actuelle comme l'exploitation dans les conditions à venir peut entraîner une modification des conditions environnementale jusqu'à 1°C de plus sur les fonds de la station 3 en période de Basse Mer et pour des vents du Nord et d'Est.  
L'exposition de cette station est régulière mais modérée.

L'augmentation de la température de 1°C en profondeur sur les stations 2 et 3 est un impact qui doit être considéré comme fort, même si cette augmentation n'est pas systématique dans tous les scénarii envisagés.

En effet, une augmentation même faible, mais régulière, peut être couplée exceptionnellement avec des facteurs aggravants. Or cumulés ces facteurs peuvent occasionner des dommages définitifs sur les biocénoses en place.

Les coraux sont des organismes particulièrement sensibles à l'élévation de la température de l'eau. On estime que quelques semaines consécutives à une température supérieure à 30° entraînent des dommages irréversibles.

D'autre part une élévation de la température favorise l'eutrophisation du milieu et influence la dissolution de l'oxygène dans l'eau.

**Toutefois, il faut modérer l'évaluation de cet impact par l'observation depuis 2008 jusqu'à 2021 du relativement BON ETAT DE SANTE des biocénoses de la station 2, directement soumise à l'influence du rejet.**

En effet, bien que sous l'influence du panache depuis 13 ans d'exploitation de la centrale et de suivi, les communautés en place se maintiennent. Les communautés coralliennes continuent de s'épanouir.

**Les prévisions sont semblables à la situation actuelle, alors même que la température de l'eau au droit du rejet sera abaissée de 42°C à 39°C.**

Caractéristiques de l'impact avant mesure			
Négatif	Forte pour les stations 2 et 3 Négligeable pour les stations 1 et 4	Localisé à la zone d'influence du panache	Permanent tant que le rejet est actif

### 6.2.2 Dégradation potentielle de l'état de santé des communautés marines sous l'effet des rejets : composition du rejet

La mise en fonctionnement de l'unité B1bis va entraîner une augmentation des effluents rejetés dans la baie de Bouillante.

Toutefois,

- la quantité de fluide géothermal contenant la majeure partie de la minéralisation y sera plus faible qu'aujourd'hui (337 t/h d'eau séparée rejetée au lieu 400-410 t/h aujourd'hui).
- et le taux de dilution dans l'eau de mer sera de l'ordre de 34, contre 15 actuellement.

**Le projet a été conçu de façon à réduire la concentration en éléments chimique du rejet.**

Cette mesure de réduction entrainera de fait une réduction du flux d'éléments chimiques tels que les métaux lourds rejetés dans le milieu marin, réduisant le contraste chimique entre les effluents et le milieu marin par rapport à la situation actuelle.

Cependant, le panache plus dilué, se propagera plus loin. Par conséquent, son impact chimique sur les peuplements sera moindre, mais la zone sous influence sera plus étendue.

La dégradation de la qualité de l'eau par rapport à la situation naturelle (sans exploitation de la centrale) se répercute sur l'état de santé des communautés marines de la baie.

Ainsi

- Une augmentation de la quantité de matière en suspension peut entraîner le colmatage des branchies ou faire écran au passage de la lumière
- une diminution de la disponibilité en oxygène liée à la présence de matière oxydable organique ou minéral dans l'eau peut être à l'origine d'un manque d'accès à l'oxygène dissous pour les espèces marines
- les variations de pH entraînent des déséquilibres physico-chimiques
- une modification de la salinité peut influencer la composition de l'eau et l'équilibre physiologique des espèces marines.

Il faut noter que les mesures de suivis effectuées ces dernières années et notamment les relevés réalisés en 2014 par la société NortekMed montrent que **les rejets aqueux de la centrale n'impactent pas la salinité ni la saturation en oxygène des eaux de la Baie qui apparaissent comme bonnes**. Les suivis réguliers de MES et de pH sont eux aussi bons.

Enfin, les communautés marines présentes sur la station 2, la plus exposée, sont en relativement bonne santé sans dégradation notable depuis les débuts des suivis.

**L'impact de la composition du rejet sur les communautés marines est potentiel mais est évalué comme faible à modéré dans les zones les plus proches du rejet.**

**La mise en place de la mesure de réduction par une dilution du rejet, permettra de réduire l'impact à faible pour les communautés suivies.**

Caractéristiques de l'impact avant mesure			
Négatif	Faible à modéré	Localisé à la zone d'influence du rejet	Permanent tant que le rejet est actif

**Des mesures de suivis des paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau ainsi que des biocénoses marines en place devront être mis en place pour s'assurer de l'absence d'impacts significatifs.**

### **6.2.1 Gêne potentielle pour les tortues marines**

La plage du bourg de Bouillante est étroite (2 m au maximum), non végétalisée, composée de galets essentiellement et proche de la Nationale.

Il ne s'agit pas d'une plage favorable à la ponte des tortues marines.

Elle n'est d'ailleurs pas identifiée comme plage de ponte dans les différents supports bibliographiques parlant des tortues marines en Guadeloupe.

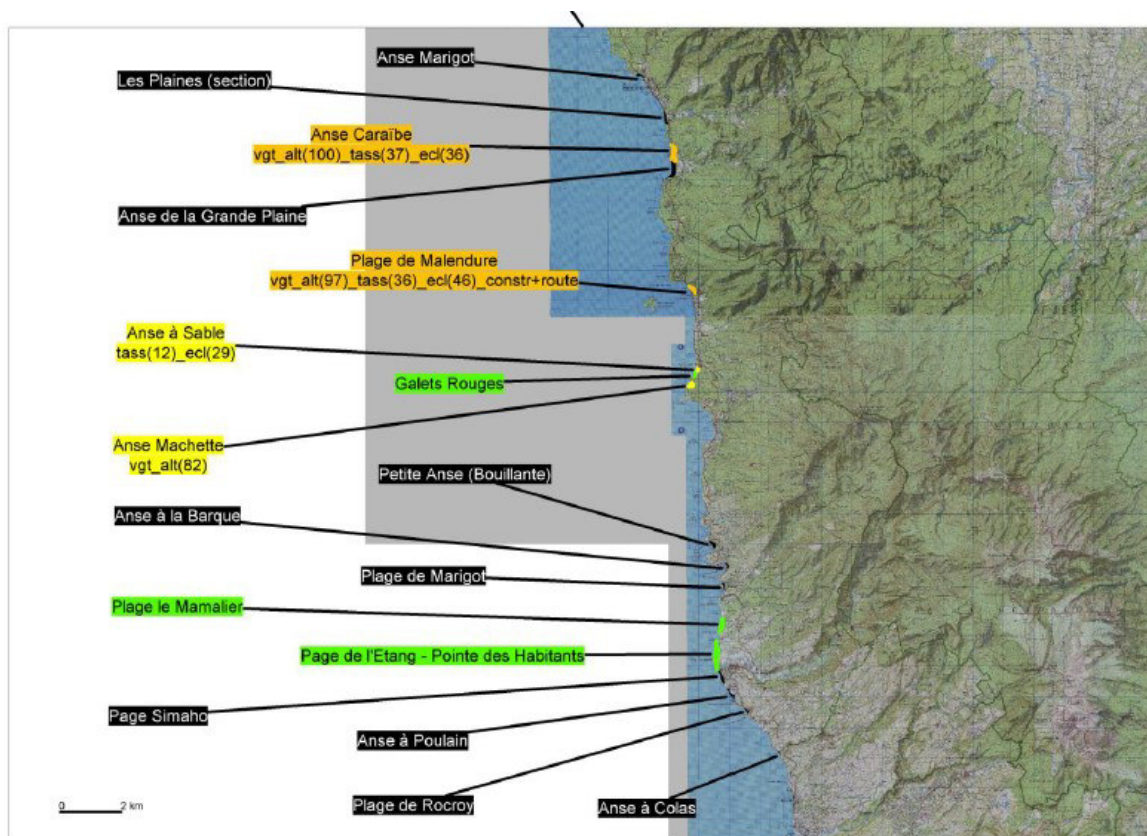
L'enjeu de cette plage pour la ponte des tortues marines est estimé comme négligeable.

D'autre part, les travaux réalisés sur la plage sont localisés en bordure immédiate des enrochements actuels et seront limités au temps de pose des canalisations enterrées.

Cette phase de travaux n'excédera pas 1 mois.

En phase de travaux, l'impact des travaux sur le phénomène de ponte des tortues marines est considéré comme très faible à négligeable.

En phase d'exploitation, la plage n'est pas impactée par le fonctionnement de la centrale.



Légende :

<p>Note habitat des sites de ponte avérés</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>9 - 10 site très peu ou pas altéré</li> <li>6 - 9 si peu dégradé</li> <li>3 - 6 site dégradé</li> <li>0 - 3 site dégradé ou largement dégradé</li> <li>■ site de ponte non diagnostiqué</li> </ul>	<p>Etiquettes :</p> <p>nom_du_site_de_ponte</p> <p>principaux_points_négatifs_(taux en %)</p> <p>vgt_alt = taux de végétation altérée</p> <p>tass = taux de substrat tassé</p> <p>ecl = taux d'éclairage</p> <p>route = route longeant la plage</p> <p>constr = taux de constructions humaines</p>
---	--

Figure 19 : Atlas des sites de pontes de tortues marines de l'archipel guadeloupéen

Caractéristiques de l'impact avant mesure			
Négatif	Très Faible à négligeable	Localisé	temporaire

## 7 COMPATIBILITE AVEC LE SAR ET LE SMVM

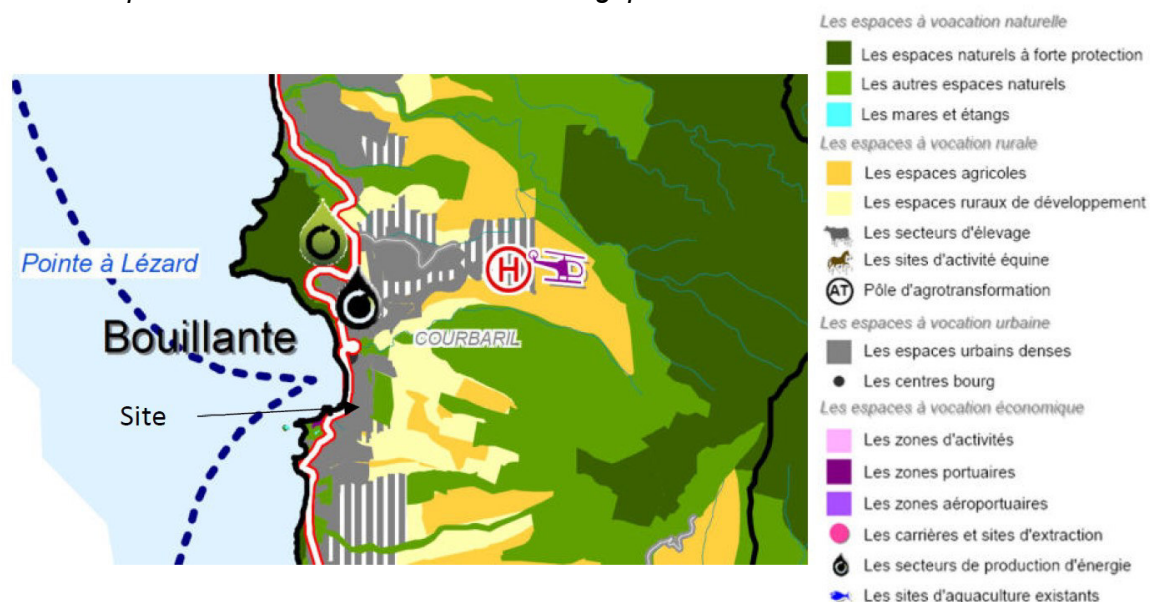
Le Schéma d'Aménagement Régional de la Guadeloupe (SAR Guadeloupe) de décembre 2010, a été approuvé par le décret n° 2011-1610 du 22 novembre 2011 du Conseil d'Etat (DEAL Guadeloupe). Il fixe les orientations fondamentales à moyen terme en matière de développement durable, de mise en valeur du territoire régional et de protection de l'environnement. Compte tenu des caractéristiques sociales, économiques et environnementales de la Guadeloupe, cette responsabilité revêt une importance toute particulière.

Celui-ci distingue plusieurs grands types d'espaces :

- Les espaces à vocation naturelle et rurale : s'y retrouve les espaces agricoles, naturels et ruraux,
- Les espaces à vocation urbaine et économique : s'y retrouve les espaces urbains et les espaces

**Les sites de la centrale géothermique et de la station de pompage sont situés au niveau des espaces urbains denses.**

Une des orientations stratégiques de la région vise à soutenir le développement des énergies renouvelables notamment en développant la production d'électricité géothermique à Bouillante, en bordure de l'espace remarquable du littoral et sur sa partie déjà partiellement construite. Le SAR indique également que « *les installations de production et de stockage d'électricité géothermique pourront être réalisées dans les espaces agricoles et naturels dès lors que cette implantation est nécessaire à l'exploitation optimale des zones à fort potentiel géothermique qui seront mises en évidence par les recherches et études effectuées par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières* ».



Source : DEAL Guadeloupe

Le Schéma de Mise en Valeur de la Mer (SMVM) est une sous-partie du SAR. Les orientations et règles du SMVM constituent l'adaptation du parti d'aménagement retenu par le SAR à cette partie singulière du territoire régional qu'est le littoral.

**Selon le SMVM, la baie de Bouillante est classée comme espace maritime à forte valeur patrimoniale.**

**Cet espace correspond à un milieu marin sensible.**

Les règles applicables dans cette zone sont à la fois celles qui sont édictées par le schéma d'aménagement régional (cf. paragraphe précédent) et celles propres aux espaces compris dans le périmètre du chapitre valant SMVM. Ces règles propres indiquent que « *les installations de l'exploitation géothermique haute énergie de Bouillante liées à la concession de gîtes géothermiques à haute température d'une superficie d'environ 24 km accordée par décret du 17 juin 2009 à la société Géothermie Bouillante pour une durée de cinquante ans pourront être réalisées dans la zone partiellement urbanisée située le long de la RN 2 en bordure de l'espace remarquable du littoral identifié par le présent schéma sur le territoire de cette commune. Cette implantation justifiera une intégration environnementale soignée* ».

Une politique ambitieuse est décidée par la Région afin d'accroître rapidement la part de la production d'énergies renouvelables : le SAR prévoit donc la possibilité d'implantation des équipements de production d'énergie géothermique à Bouillante.



Source : DEAL Guadeloupe

Les sites de la centrale géothermique et de la station de pompage sont situés au niveau des espaces urbains denses

Selon le SMVM, la baie de Bouillante est classée comme espace maritime à forte valeur patrimoniale. Cet espace correspond à un milieu marin sensible.

Le projet est compatible avec les orientations du SMVM et du SAR, des mesures de protection du milieu marin seront mises en place.

## 8 MESURES CORRECTIVES OU COMPENSATOIRES ENVISAGEES

Ce chapitre consistera à lister les mesures d'évitement, de réduction, de compensation, de suivi et d'accompagnement nécessaires afin d'aboutir à un projet de moindre impact après application des mesures.

Certaines des mesures décrites dans le chapitre suivant peuvent concerner plusieurs volets.

### 8.1 Mesures concernant le milieu physique

#### 8.1.1 Mesures concernant la qualité de l'eau

##### Mesures de réduction d'une dégradation de la qualité des eaux marines

Les choix techniques du projet ont retenus une augmentation de la dilution en éléments chimiques des rejets avec une composition à 95% d'eau de mer dans les rejets.

##### **MR1 : Diminution de 15% d'eau séparée rejetée à la mer par rapport à la situation actuelle**

La zone sous influence du rejet sera plus étendue quand dans la situation actuelle, mais dans des concentrations moindres.

Caractéristiques de l'impact sur la qualité de l'eau après mesures			
Négatif	Modéré	Localisé	Permanent

#### 8.1.1 Mesures concernant la température de l'eau

##### **MR2 : Réduction de la température du rejet en mer**

L'eau séparée de l'unité B1bis sera refroidie dans le bassin de mélange de l'unité Bouillante 2 à une température inférieure à 45°C, avant d'être rejetée dans le canal d'eaux pluviales. L'eau de mer réchauffée à 37°C rejetée au niveau de l'échange de chaleur de l'unité Bbis sera elle, dirigée dans le canal de rejet en amont de la sortie en mer afin de permettre un refroidissement avant l'entrée dans le milieu marin à proprement parlé et dans l'aire de baignade..

##### **MR3 Réinjection de l'eau séparée**

Une plus grande partie de l'eau séparée (44% contre 20% actuellement) sera réinjectée dans les puits BO-8 et BO-8 afin de réduire le rejet d'eau géothermale en mer et limiter ainsi l'impact thermique et chimique de l'exploitation dans le milieu marin.

Caractéristiques de l'impact sur la qualité de l'eau après mesures			
Négatif	modéré	Localisé	permanent

## 8.1.2 Mesures vis-à-vis des risques naturels

Si les travaux avaient lieu en période cyclonique les mesures suivantes seraient à minima mises en place pour réduire les impacts :

- communication permanente afin de s'assurer à l'avance (24h à 48h) que les conditions météorologiques seront compatibles avec les travaux prévus.
- en cas d'alerte, sécurisation du chantier adaptée au type de vigilance

ex : rangement des matériaux et outils de façon à s'assurer que rien ne puisse être emporté par les rafales de vent, les pluies ou la houle, etc

- Un plan de prévention sera établi afin d'anticiper les besoins.

**Vigilance JAUNE**

Une perturbation de type cyclonique peut présenter une menace pour le territoire, à échéance encore lointaine ou imprécise ou à échéance rapprochée mais avec des effets limités attendus sur le territoire (Impact modéré). La vigilance météo s'impose pour tous. Le chantier continue de fonctionner suivant les instructions, avec une activité réduite. De façon préventive, en période cyclonique, des opérations de mise en sécurité doivent être effectuées, les stockages doivent être limités et réalisés en dehors de zones inondables.

**SOYEZ ATTENTIFS**

- Rangez le chantier
- Vérifiez l'attache des installations de la base vie
- Minimisez les excavations ouvertes et les coffrages en vrac
- Évitez les travaux particuliers et/ou nécessitant un matériel spécial
- Prévoyez du matériel (bandes, clips, ruban adhésif, bâches) et de la main-d'œuvre pour achever les préparatifs
- Évitez toute accumulation de débris et de rebuts
- Ancrez, arrimer ou démanteler tout objet risquant d'être soufflé par le cyclone (passerelles, grues, panneaux de chantier, stockages de matériels de matériaux en extérieur, plateformes de travail, tours d'étalement, poutres préfabriquées, banches, échafaudages de pied ou roulants, clôtures, ...)
- Planifiez le ramassage des bennes à ordures
- Procurez-vous des filets adéquats pour les poubelles

**Vigilance ORANGE**

Présence d'un cyclone qui représente un danger possible pour le territoire. Sur le chantier, les travaux de mise en sécurité sont dans leur phase ultime. Les ouvertures sont closes, renforcées et consolidées. Des renforts sont placés pour limiter les prises au vent, tout élément susceptible de s'envoler et qui représente un danger est enlevé ou rangé. Toutes les mesures sont mises en œuvre pour permettre une évacuation optimale des eaux pluviales.

**PREPAREZ-VOUS**

- Fixez solidement ou démontez les échafaudages
- Sécurisez les fenêtres avec du ruban adhésif
- Retirez ou ancrez toutes les installations temporaires et les conteneurs de stockage
- Videz les bennes à ordures, les recouvrir de filets si nécessaires
- Vidangez, arrimez ou rentrez les cabines de WC chimiques
- Repliez ou amarrez solidement les plateformes de travail en encorbellement (PTE)
- Descendez et repliez les flèches des grues mobiles conformément à la notice du fabricant.
- Débranchez le matériel électrique et vérifiez la position desarmoires électriques

**Vigilance ROUGE**

Un cyclone tropical (tempête tropicale ou ouragan) représente un danger très probable à échéance rapprochée avec effets limités (Impact modéré ou assez fort) ou à échéance encore un peu plus éloignée mais avec effets intenses (cyclone majeurs) attendus sur le territoire.

**PROTEGEZ-VOUS**

- Suspendre le chantier
- Coupez eau et électricité
- Évacuez le site et les bureaux

Chaque année, du mois de juin à la fin du mois de novembre, nos latitudes sont soumises à des phénomènes cycloniques qui peuvent être aussi soudains que ravageurs. La gestion du risque cyclonique repose en grande partie sur la surveillance météorologique, l'anticipation, une mise en alerte progressive et le respect des consignes. Il doit être intégré dès la préparation du chantier et les constructions en cours de réalisation ou de réhabilitation n'échappent pas à la règle.

**+d'infos** [www.preventioncgss971.fr](http://www.preventioncgss971.fr)

Facebook, Twitter, LinkedIn, Instagram icons and QR code.

Figure 20 : mesures cycloniques chantiers BTP, CGSS Guadeloupe,2020

Caractéristiques de l'impact sur les risques naturels après mesures			
Négatif	Modéré	Localisé/Etendu	Temporaire/ Permanent

## 8.2 Mesures concernant le milieu naturel

### Mesures d'évitement concernant la gêne occasionnée pour la ponte des tortues marines

#### **ME1 – Evitement des travaux nocturnes**

Les travaux auront lieu en période diurne.

Si des tortues marines voulaient venir pondre sur la plage du site la nuit, elles ne seraient pas gênées par les travaux.

De plus, il n'y aura pas d'éclairage permanent du chantier la nuit.

### Mesures de réduction vis-à-vis de la température de l'eau

Les mesures de réduction citées précédemment et mises en place afin de diminuer la température du rejet ainsi que la concentration en éléments chimiques du rejet sont essentielles afin de réduire les pressions exercées sur les formations coralliennes, extrêmement sensibles aux températures élevées.

Malgré les mesures de réduction, le risque d'impact n'est pas évité. Des mesures de compensation seront proposées.

<b>Caractéristiques de l'impact sur les pressions exercées sur les communautés coralliennes par la température et la charge en éléments chimiques du rejet</b>			
Négatif	Modéré	Localisé	Permanent

### Mesures de compensation vis-à-vis des communautés coralliennes

#### **MC1 : mise en place de micro-habitats adaptés aux oursins diadèmes sur le site 3**

La mesure vise à mettre en place des micro-habitats adaptés aux oursins diadèmes disposés sur les fonds de débris coralliens entourant la station 3.

La création de niches de protections adaptées permettant l'accueil d'oursins diadème permettrait de les attirer sur la station 3. Leur densité est très faible pour l'instant sur cette zone contrairement aux autres stations de la baie.

Le site 3 manque d'anfractuosités protégées par un toit qui permettrait aux oursins diadèmes aussi bien juvénile qu'adulte de se cacher.

Les autres stations de la baie accueillent une densité plus forte d'oursins, ces derniers sont capables donc de survivre dans la baie.

Leur proposer des abris permettrait d'augmenter leur densité sur le site. In fine, ces herbivores vont aider à réduire la pression exercée sur les coraux du site 3 en prédatant les macroalgues trop nombreuses sur le site.

Rmq : Ces micro-habitats pourraient être pensés aussi pour offrir un abri aux jeunes poissons herbivores cumulant les effets.

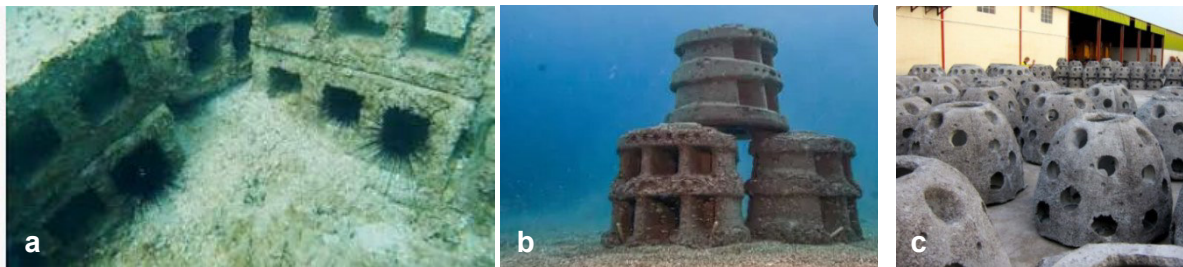


Figure 21 : exemples de micro-habitats pour la restauration des populations d'oursins diadèmes : a et b/ testés en caraïbes c/destiné à la création de récifs artificiels en méditerranée mais compatible avec le projet.

Les micro habitats pourraient aussi être mis sur d'autres stations dans l'idée d'améliorer les conditions générales dans la baie et pas que sur le site 3, même s'il reste particulièrement important sur le site 3.

**Objectif** : création de niches de protection pour les populations d'oursins diadèmes

**Nombre** : 1 à 2 localisation de structure autour du site 3

**Localisation** : station 3 de suivi biologique au sud de la baie de Bouillante

**Ordre de grandeur du prix de la conception/fabrication et mise en place:**

~4 000 à 10 000€

**Suivi du succès** : Lors de la mise en place pour un état 0 / Lors des plongées pour le suivi de l'état de santé des communautés marines de la baie de Bouillante

## MC 2 : développement d'un éco-mouillage dans la baie.

Le porteur de projet installera après discussion avec la commune et les usagers de la baie 1 ou 2 éco-mouillages.

Ces structures participeront au développement d'habitats pour les herbivores et de structures solides pour la fixation de larves coralliennes.

La localisation et la conception sera réfléchi et discutée avec la commune et les usagers de la baie.

Ils seront situés préférentiellement en dehors de la zone d'influence directe du rejet (site 1 ou site 4)

Le projet a pour but de coupler les éco-mouillages destinés à accueillir la faune et la flore, avec un programme de bouturage de coraux transplantés directement sur le béton préparé à cet effet.

Les espèces qui seront transplantées sur les éco-mouillage seront des espèces présentes dans la baie et non protégées par l'arrêté préfectoral. Elles seront issues de prélèvements de boutures d'opportunités dans les massifs de la baie. Sera considérée comme bouture d'opportunité une bouture arrachée à son massif et ayant très peu de chance de pas repartir naturellement.

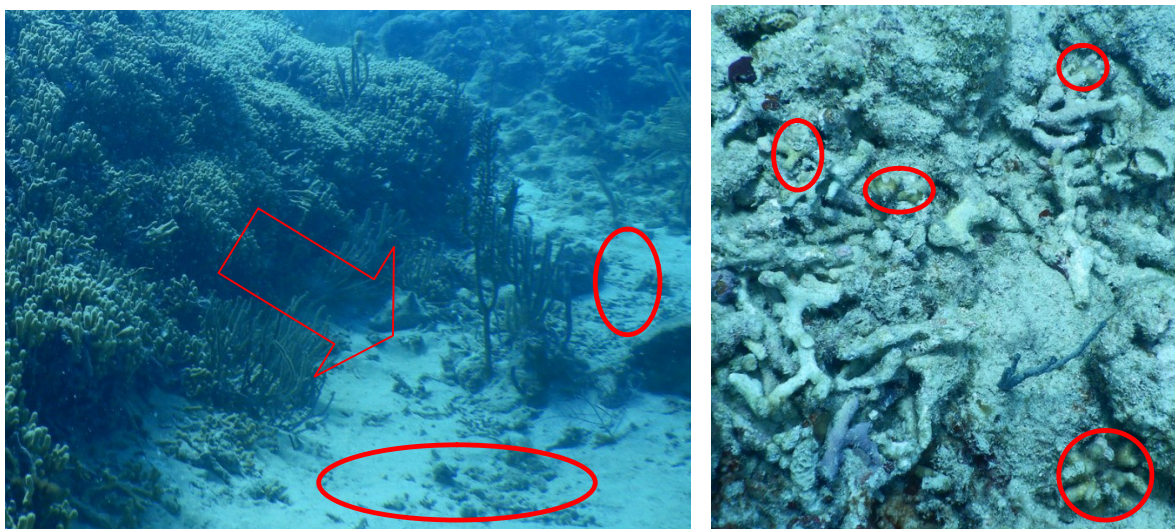


Figure 22 : exemple de boutures d'opportunités de *Madracis auretenra* pouvant être collectées comme boutures d'opportunité

L'idée est d'associer la pose de ces blocs de béton en :

- Reconstituant le bio-mimétisme fonctionnel des grâce à un mouillage éco-conçu ;
- Profitant de ces substrats durs et protégés pour y développer des boutures, qui ont pour but de restaurer et d'accélérer la recolonisation des coraux à partir d'individus adaptés aux conditions de la baie de Bouillante.

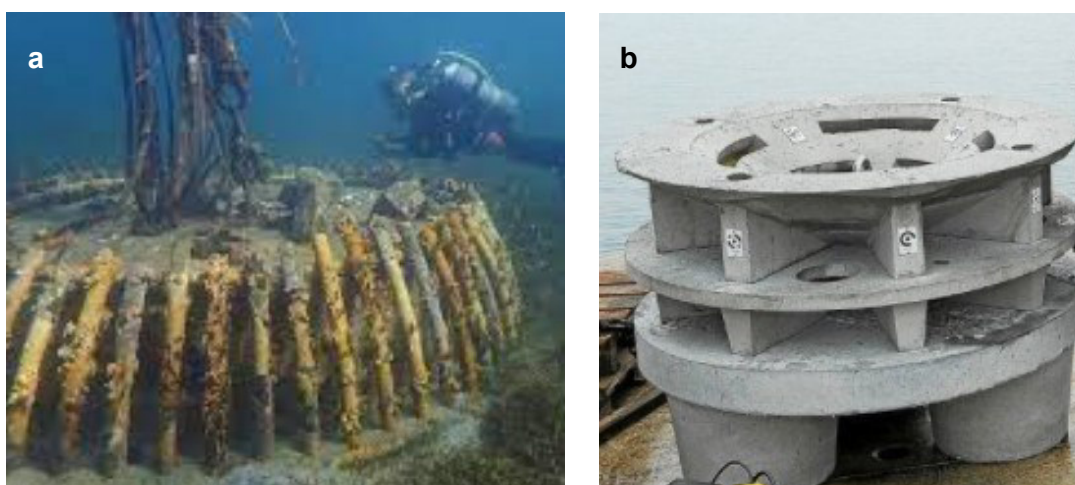


Figure 23 : Exemple d'éco-mouillage a/en baie de deshaies b/au cap d'Agde

Le projet partira des savoirs acquis sur les éco-mouillages ayant été testés en Guadeloupe depuis 2014 et ayant rencontrés le plus de succès, notamment les éco-mouillage posés en baie de Deshaies par exemple.

Le suivi de la colonisation biologique de ces eco-mouillages sera assuré lors des suivis des stations et fait parti de suivi du succès de la mesure de compensation.

**Objectif :** protection des fonds marins couplé au développement d'habitats pour les herbivores et de structures solides pour la fixation de larves coralliennes

**Nombre :** 1 à 2

**Localisation :** baie de Bouillante hors zone d'influence du rejet

**Ordre de grandeur du prix de la conception/fabrication et mise en place :** Non renseigné

**Suivi du succès :** Lors de la mise en place pour un état 0 / Lors des plongées pour le suivi de l'état de santé des communautés marines de la baie de Bouillante

## 9 MOYENS DE SURVEILLANCE

Le porteur de projet mettra en place des mesures de surveillance afin de s'assurer de l'état de la qualité des eaux de la baie, de l'état de santé des communautés marines de la baie et de l'efficacité des mesures de compensation.

### **MA 1 : surveillance de la qualité de l'eau rejetée**

Le suivi pluriannuel de la qualité physico chimique du rejet sera continué, afin de s'assurer du non dépassement des paramètres pouvant impacter le milieu marin :

Les paramètres suivants pourraient être de bons indicateurs à relever au niveau de la zone de rejet et au niveau des stations suivies.

- ✓ la disponibilité en oxygène de l'eau (DBO5)
- ✓ la salinité de l'eau (mg/l)
- ✓ la concentration en matière en suspension
- ✓ le pH
- ✓ la température (°C)
- ✓ MES (mg/L)
- ✓ Hydrocarbures dissous (mg/l)

Nous conseillons d'effectuer ces relevés au rejet mais aussi sur les stations de suivis des biocénoses lors des suivis sous-marins réalisés.

### **MA 2 : surveillance de l'état de santé des communautés marines**

Le suivi des biocénoses marines déjà engagé par Géothermie Bouillante depuis 2000 sera poursuivi sous forme de campagnes périodiques afin de vérifier l'incidence éventuelle de la mise en service de l'unité B1bis et de l'extension de l'exploitation géothermique sur le milieu marin.

Il serait intéressant de garder les 4 stations identifiées ou à minima les stations 1 à 3 suivies depuis 2008.

Les paramètres suivants pourraient être de bons indicateurs :

- ✓ état de santé général
- ✓ structure du peuplement benthique
- ✓ couverture corallienne : Pourcentage d'occupation des fonds, liste d'espèces, taux de nécrose, principales maladies ou causes de mortalité
- ✓ couverture en macroalgues
- ✓ densité d'oursins diadèmes
- ✓ recrutement corallien
- ✓ ichtyofaune : indicateur de densité, structure du peuplement et structure trophique (importance des herbivores)

Un pas annuel initial nous semble cohérent. Il est conseillé de faire le suivi avant chaque saison cyclonique, entre février et juin, afin de ne pas perturber l'interprétation des résultats avec les dommages imputables aux conditions naturelles (fortes températures des eaux, turbidité importantes, houle forte,...).

Si les résultats de bon état des fonds étaient confirmés et que les volumes et la qualité des rejets étaient constants et bons, alors ce pas pourrait être augmenté.

**Objectif** : Suivi de l'état de santé des communautés marines dans la baie de bouillante

**Fréquence** : 1 fois par an, les 4 stations. la visite sera faite avant la saison cyclonique

**Localisation** : baie de Bouillante

**Résultats attendus :** Mise à jour de l'état de santé des communautés, identification d'une dégradation ou d'une amélioration.

### **MA 3 : Suivi de l'efficacité des mesures compensatoires**

Ce travail pourrait être réalisé lors des suivis des communautés marines.

Il s'agirait de s'assurer de l'efficacité de la mise en place des micro-habitats à herbivores sur le site 3 :

- occupation des micro-habitats
- mesures de la densité de diadèmes sur le site et alentour (et son évolution)
- mesure de la couverture en macroalgues du site (et son évolution)
- présence/absence de juvéniles de diadèmes sur la zone
- inventaire ichtyologique ciblé sur les herbivores.

Il s'agirait d'observer la colonisation biologique des éco-mouillages et l'état de santé des boutures transplantées

- taux de survie des transplants par espèce
- présence/absence de juvéniles coralliens
- densité des diadèmes sur et autour de la structure
- inventaires ichtyologique des structures et autour des structures (classe de taille, niveau trophique,...)

**Objectif :** Suivi de l'efficacité des mesures compensatoires

**Fréquence :** 1 fois par an avec la visite des stations suivies

**Localisation :** baie de Bouillante

**Résultats attendus:** comparaison lors de la mise en place pour un état 0 puis lors des plongées suivies de l'évolution des différents paramètres et conclusion de l'atteinte des objectifs.

**Prix estimé de l'ensemble des mesures de suivis :** ~ 8 000 à 15 000€

## 10 SYNTHÈSE DES IMPACTS RÉSIDUELS DU PROJET SUR LE VOLET « MILIEU MARIN »

Compartiment	Impacts du projet	Caractéristiques des impacts	Mesures d'évitement et de réduction	Impacts résiduels
<b>Phase de chantier</b>				
<b>Milieu physique</b>				
Qualité des eaux marines	Augmentation de la turbidité  Ecoulement accidentel de produits, de déchets etc.	Négatif Intensité faible Localisé Temporaire	Respect des mesures de chantier propre.  Choix des produits aux normes environnementales	Négatif Intensité faible Localisé Temporaire
	Augmentation de la température et apports en éléments chimiques issus du fluide géothermal lors des tests de production	Négatif Intensité faible Localisé Temporaire (2j/puits)	Aucune mesure envisagée.  La quantité de fluide géothermal libéré sera de 100 à 200 t/h, le débit actuel de fluide géothermal est de 500 t/h.  La composition chimique du rejet sera identique à celle en fonctionnement.	Négatif Intensité faible Localisé Temporaire (2j/puits)
Houle	En période cyclonique, les éléments en cours de construction et les matériaux utilisés peuvent augmenter le danger sur le site : mobilisation et dérive des matériaux, pollution etc.	Négatif Intensité forte Localisé Temporaire	Suivi des conditions météorologiques  Sécurisation du chantier et arrêt possible suivant les recommandations  Mise en place d'un plan de prévention	Négatif Intensité faible Localisé Temporaire
<b>Milieu naturel</b>				
Biocénoses marines	L'augmentation de la turbidité se répercute sur l'ichtyofaune et les communautés coralliennes : colmatage des branchies, étouffement des	Négatif Intensité faible Localisé temporaire	Respect des mesures de chantier propre	Négatif Intensité nulle Localisé temporaire

Compartiment	Impacts du projet	Caractéristiques des impacts	Mesures d'évitement et de réduction	Impacts résiduels
	herbiers et coraux etc			
Plage et tortues marines	La plage du bourg n'est pas une plage identifiée comme accueillant des pontes de tortues marines.	Négatif Intensité négligeable à faible Localisé temporaire	ME : travaux diurnes ME : pas d'éclairage nocturne du chantier	Négatif Intensité négligeable Localisé temporaire
Usages humains de la baie	Pas de dérangement des usagers de la baie identifié	Négatif Intensité nulle Localisé Temporaire	Aucune mesure n'est nécessaire	Négatif Intensité nulle Localisé Temporaire
<b>Phase d'exploitation</b>				
<b>Milieu physique</b>				
Courantologie	Augmentation du débit en sortie de la zone de rejet et de l'aspiration en zone de pompage	Négatif Intensité négligeable à faible Localisé Permanent	Aucune mesure n'est nécessaire	Négatif Intensité faible Localisé Permanent
Qualité des eaux marines	Augmentation dans la zone d'influence du rejet de la température et de la quantité d'éléments chimiques issus du fluide géothermale.	Négatif Intensité forte Localisé à la zone de panache Permanent	MR : diminution de la température de rejet de 42°C à 39°C MR : diminution de la concentration du rejet par une dilution plus forte à l'eau de mer. Dilution de l'ordre de 34 au lieu de 15 actuellement	Négatif Intensité modéré Localisé Permanent
<b>Milieu naturel</b>				
Biocénoses marines	Augmentation de la température et de la quantité d'éléments chimiques reçue dans la zone d'influence du panache (par rapport à l'état	Négatif Intensité forte à modérée pour les zones coralliennes sous influence Localisé à la zone	MR : diminution de la température de rejet de 42°C à 39°C MR : diminution de la concentration du rejet par une dilution plus forte à l'eau de mer	Négatif Intensité modéré Localisé Permanent

Compartiment	Impacts du projet	Caractéristiques des impacts	Mesures d'évitement et de réduction	Impacts résiduels
	<p>naturel)</p> <p>Ce qui se traduit par une dégradation de la qualité du milieu et une augmentation de la pression sur les communautés coralliennes les plus thermosensibles.</p> <p>Toutefois, maintient du relativement bon état de santé des communautés de la station la plus soumise à l'influence du panache</p>	<p>d'influence du panache</p> <p>Permanent</p>	<p>MC1 : réalisation d'écouillage pour limiter les dégradation sur les fonds marins couplé au développement d'habitats pour les herbivores et de structures solides pour la fixation de larves coralliennes dans les zones hors d'influence du panache (station1, 4).</p> <p>MC2 : mise en place de micro-habitats adaptés aux oursins diadèmes sur le site 3 afin de réduire la pression sur les coraux (en augmentant la prédation sur les macroalgues).</p>	

## 11 ANNEXES

- Annexe 1 : inventaire des espèces coralliennes
- Annexe 2 : inventaire ichtyologique

### Annexe 1 : inventaire des espèces coralliennes

Tableau : Inventaire des espèces coralliennes rencontrées sur les transects (60m/ station) et statut vis à vi de l'arrêté du 25/04/2017

Date de l'inventaire	Réf Station baie de Bouillante	Noms des espèces présentes sur les transects (60m/site)	Statut vis-à-vis de l'arrêté du 25/04/2017
04/06/2021	Station 1	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Orbicella annularis</i>	inscrit
		<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
		<i>Siderastrea siderea</i>	-
		<i>Agaricia humilis</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Millepora sp</i>	-
		<i>Porites porites</i>	-
		<i>Madracis decatis</i>	-
		<i>Pseudodiploria clivosa</i>	-
		<i>Mussa angulosa</i>	-
		<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
		<i>Stephanocoenia intersepta</i>	-
<i>Madracis auretenra</i>	-		
02/06/2021	Station 2	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Madracis auretenra</i>	-
		<i>Orbicella annularis</i>	inscrit
		<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
		<i>Porites porites</i>	-
		<i>Millepora sp</i>	-
		<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
		<i>Diploria sp</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Siderastrea siderea</i>	-
		<i>Scolymia cubensis</i>	-
		<i>Colpophyllia natans</i>	-

<i>Eusmilia fastigiata</i>	-
<i>Porites astreoides</i>	-
<i>Madracis auretenra</i>	-

02/06/2021	<b>Station 3</b>	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Madracis auretenra</i>	-
		<i>Porites porites</i>	-
		<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
		<i>Orbicella annularis</i>	inscrit
		<i>Siderastrea siderea</i>	-
		<i>Pseudodiploria clivosa</i>	-
		<i>Diploria labyrinthiformis</i>	-
		<i>Scolymia cubensis</i>	-
		<i>Millepora sp</i>	-
		<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-

02/06/2021	<b>Station 4</b>	<i>Porites astreoides</i>	-
		<i>Orbicella annularis</i>	inscrit
		<i>Siderastrea siderea</i>	-
		<i>Agaricia lamarcki</i>	inscrit
		<i>Madracis auretenra</i>	-
		<i>Millepora sp</i>	-
		<i>Pseudodiploria clivosa</i>	-
		<i>Porites porites</i>	-
		<i>Agaricia humilis</i>	-
		<i>Montastrea cavernosa</i>	-
		<i>Orbicella faveolata</i>	inscrit
		<i>Madracis decatis</i>	-
		<i>Agaricia agaricites</i>	-
		<i>Stephanocoenia intersepta</i>	-
		<i>Diploria sp</i>	-

## Annexe 2 : inventaire ichtyologique parmi les espèces cibles

Les espèces cibles déterminées pour le suivi sont présentées dans le tableau ci-dessous (selon Y. Bouchon) :

FAMILLE	NOM COMMUN	ESPECES
<b>ACANTHURIDAE</b>	Chirurgien	<i>Acanthurus bahianus</i> ; <i>A. chirurgus</i> ; <i>A.coeruleus</i>
<b>AULOSTOMIDAE</b>	Poisson trompette	<i>Aulostomus maculatus</i>
<b>BALISTIDAE</b>	Baliste	<i>Balistes vetula</i> ; <i>Melichthys niger</i>
<b>CARANGIDAE</b>	Carangue	<i>Caranx Ruber</i> ; <i>C. latus</i>
<b>CHAETODONTIDAE</b>	Poisson papillon	<i>Chaetodon capistratus</i> ; <i>C. Striatus</i>
<b>HAEMULIDAE</b>	Gorette	<i>Haemulon chrysargyreum</i> ; <i>H. flavolineatum</i> ; <i>H. Plumieri</i> ; <i>H. sciurus</i> ; <i>H. aurolineatum</i>
<b>LABRIDAE</b>	Labre	<i>Lachnolaimmus maximus</i> ; <i>Bodianus rufus</i>
<b>LUTJANIDAE</b>	Pagre	<i>Lutjanus apodus</i> ; <i>L. jocu</i> ; <i>L. mahogani</i> ; <i>Ocyurus chrysurus</i> ; <i>L. griseus</i> ; <i>L. analis</i> ; <i>L. synagris</i>
<b>MONACANTHIDAE</b>	Poisson lime	<i>Cantherhines pullus</i> ; <i>Cantherhines macrocerus</i>
<b>POMACANTHIDAE</b>	Poisson ange	<i>Holacanthus tricolor</i> ; <i>Pomacanthus paru</i> ; <i>H. ciliaris</i> ; <i>P. arcuatus</i> ; <i>Centropyge argi</i>
<b>POMACENTRIDAE</b>	Demoiselles	<i>Microspathodon chrysurus</i> ; <i>Stegastes planifrons</i> ; <i>Chromis multilineata</i> ; <i>C. cyanea</i>
<b>SCARIDAE</b>	Poisson perroquet	<i>Scarus iserti</i> ; <i>S. taeniopterus</i> ; <i>S. vetula</i> ; <i>Sparisoma aurofrenatum</i> ; <i>S. chrysopterus</i> ; <i>S. rubripinne</i> ; <i>S. viride</i> ; <i>S. radians</i>
<b>SERRANIDAE</b>	Mérou	<i>Cephalopholis cruentatus</i> ; <i>C. fulva</i> ; <i>Epinephelus adscensionis</i> ; <i>Paranthias furcifer</i> ; <i>E. striatus</i> ; <i>E. guttatus</i>
<b>SPHYRAENIDAE</b>	Barracuda	<i>Sphyraena barracuda</i>

Les espèces observées lors des visites de terrain sur les sites par notre équipe sont présentées dans le tableau ci-dessous :

FAMILLE	ESPECE	SITE N°1	SITE N°2	SITE N°3	SITE N°4
<b>ACANTHURIDAE</b>	<i>Acanthurus chirurgus</i>	22	5	23	37
<b>ACANTHURIDAE</b>	<i>Acanthurus coeruleus</i>	6	39	7	8
<b>AULOSTOMIDAE</b>	<i>Aulostomus maculatus</i>	2	0	0	1
<b>LABRIDAE</b>	<i>Bodianus rufus</i>	10	10	5	9
<b>CARANGUIDAE</b>	<i>Caranx ruber</i>	0	0	1	0
<b>SERRANIDIDAE</b>	<i>Cephalopolis fulvus</i>	8	8	3	6
<b>CHAETODONTIDAE</b>	<i>Chaetodon capistratus</i>	7	2	2	7
<b>POMACENTRIDAE</b>	<i>Chromis cyanea</i>	209	231	213	284
<b>POMACENTRIDAE</b>	<i>Chromis multilineata</i>	321	722	115	431
<b>HAEMULIDAE</b>	<i>Haemulidae</i>	2	40	51	83
<b>POMACANTHIDAE</b>	<i>Holacanthus tricolor</i>	2	1	0	0
<b>LABRIDAE</b>	<i>Labridae</i>	0	35	11	1
<b>OSTRACIIDAE</b>	<i>Lactophrys triqueter</i>	0	0	0	2
<b>LUTJANIDAE</b>	<i>Lutjanus apodus</i>	0	2	0	2
<b>POMACENTRIDAE</b>	<i>Microspatodon chrysurus</i>	4	4	1	0
<b>MONACANTIDAE</b>	<i>Monacanthus pullus</i>	0	0	0	1

<b>LUTJANIDAE</b>	<i>Ocyurus chrysurus</i>	0	0	<b>2</b>	0
<b>SCORPAENIDAE</b>	<i>Pterois volitans</i>	0	<b>3</b>	0	0
<b>SCARIDAE</b>	<i>Sparisoma viride</i>	42	15	9	19
<b>SCARIDAE</b>	<i>Scarus iseri</i>	33	17	53	25
<b>SERRANIDAE</b>	<i>Serranidae</i>	0	0	<b>16</b>	0
<b>POMACENTRIDAE</b>	<i>Stegastes planifron</i>	10	16	7	14
<b>LABRIDAE</b>	<i>Thalassoma bifasciatum</i>	3	0	0	2
	<b>TOTAL</b>	<b>681</b>	<b>1150</b>	<b>519</b>	<b>932</b>

Annexe XV : Complétudes de l'analyse d'impact du projet en phase travaux sur la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre.

## 1. ANALYSE DES IMPACTS DU PROJET

### 1.1. Introduction

Dans son avis, la MRAe estime que la consommation énergétique générée par la phase travaux n'a pas été prise en compte dans l'analyse des impacts du projet alors que ces travaux bien que temporaires sont prévus pour durer deux ans et demi. Elle indique que les émissions de gaz à effet de serre doivent être évaluées en prenant en compte notamment l'ensemble des émissions liées à l'utilisation et au transport des matériaux et les composantes du chantier (fonctionnement des installations, artificialisation des sols, éventuelles émissions de gaz carbonique et de méthane lors des forages des puits).

La MRAe recommande de compléter l'analyse des impacts du projet en phase travaux sur la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre.

### 1.2. Réponse de Géothermie Bouillante

Durant la phase d'exploitation d'une centrale géothermique, il est possible de mesurer les impacts en termes de consommation énergétique des installations et d'émissions de CO<sub>2</sub> par kWh produit, Durant la phase de travaux, l'analyse de ces impacts est beaucoup plus difficile à appréhender.

Pour apporter des éléments de réponses, Géothermie Bouillante s'est appuyée sur un travail de recherche mené par l'Ecole des Mines de Paris et le BRGM et portant sur une analyse du cycle de vie (ACV) de la centrale géothermique de Bouillante<sup>1</sup>. Ce travail avait pris la centrale actuelle comme exemple pour conduire son analyse en considérant comme hypothèse de travail :

- La réalisation des trois forage BO-5, BO-6 et BO-7 ;
- La construction des deux unités B1 et B2 d'une capacité de 15,5 MW ;
- Une production annuelle de 95 GWh ;
- Une durée de vie de 30 ans.

En première approche, ces hypothèses de travail peuvent être appliquées au projet actuel qui comporte la réalisation de 3 forages et la construction d'une centrale de 11,3 MW. Les résultats tirés de cette analyse du cycle de vie peuvent être extrapolés de façon qualitative au projet actuel.

### 1.3. Données disponibles

#### 1.3.1. Consommation de combustible durant le forage

La source première d'énergie du chantier de forage des trois puits BO-5, BO-6 et BO-7 a été le diesel qui alimentait les moteurs et les groupes électrogènes du chantier.

Marquand et al. (2013) ont évalué la consommation de diesel pour réaliser le puits BO-6 de 1250 m de longueur forée à 54 000 litres, soit en équivalent énergie à 1 940 000 MJ (Mega Joule). Pour trois puits, la consommation de diesel est évaluée à 162 000 litres, soit 5 820 000 MJ.

---

<sup>1</sup> Marquand A. , Bezelgues-Courtade S., Beylot A., Blanc I., Marchand M. (2013) – Analyse du Cycle de Vie d'une centrale géothermique haute énergie dans le contexte des DROM. Rapport final. BRGM/RP-62538-FR, 232 p., 62 fig., 46 tabl., 5 ann.

La consommation d'acier pour les tubages du puits BO-6 de 1250 m de longueur forée a été de 87 tonnes. Pour trois puits, le tonnage d'acier utilisé est évalué approximativement à 260 tonnes.

### 1.3.2. Taux d'émission de CO2

Marquand et al. (2013) ont estimé les quantités de CO2 émises au cours des différentes phases de la vie de la centrale, et les ont comparés entre elles en les ramenant à un taux d'émission de CO2 par kWh produit au cours de sa durée de fonctionnement (30 ans).

Sans surprise, les émissions de CO2 se produisent très majoritairement lors de la phase d'exploitation de 30 ans et sont liées à l'émission à l'atmosphère du gaz CO2 contenu dans la phase vapeur (Tableau 1). La phase de construction contribue à hauteur de 10% environ aux émissions de CO2, en lien avec les processus de fabrication des équipements, de transport et de construction de la centrale. La phase de forage contribue finalement peu aux émissions de CO2 lors du cycle de vie de la centrale.

NB1 : le taux d'émission en CO2 pendant la phase d'exploitation (42 gCO2/kWh) calculé par Marquand et al. (2013) est supérieur au taux d'émission calculé ici (35 gCO2/kWh). La méthode de calcul utilisée n'est pas précisée.

NB2 : Le taux d'émission en CO2 pendant la phase de démantèlement est négatif car le calcul prend en compte le bénéfice apporté par le recyclage d'une partie des équipements de la centrale.

NB3 : Les indicateurs qui sont présentés à la suite sont calculés de la même façon.

Phases du cycle de vie	Taux d'émission en gCO2/kWh	Consommation en eau en UBP/kWh	Demande en Energie primaire non renouvelable en 10 <sup>-3</sup> MJ/kWh	Demande en Energie primaire renouvelable en 10 <sup>-3</sup> MJ/kWh
Forage	1,4	2,8 x 10 <sup>-3</sup>	26,7	0,16
Construction centrale	4,8	<b>9,2 x 10<sup>-3</sup></b>	<b>63,8</b>	<b>0,91</b>
Exploitation	<b>42</b>	0,52 x 10 <sup>-3</sup>	8,7	0,04
Démantèlement	-0,8	-0,77x 10 <sup>-3</sup>	-7,6	-0,09

Tableau 1 : Comparaison de l'importance de quelques impacts environnementaux au cours des différentes phases du cycle de vie de la centrale géothermique de Bouillante (d'après Marquand et al., 2013).

### 1.3.3. Consommation en eau

En ce qui concerne la consommation en eau, calculée en UBP/kWh (unité UBP calculée selon la méthode de Frischknecht et Knöpfel, 2013<sup>2</sup>), c'est la phase de construction qui contribue le plus à la consommation en eau suivie de la phase forage. L'eau est principalement utilisée pour la fabrication de l'acier. Comparativement, la phase d'exploitation apparait peu gourmande en eau.

<sup>2</sup> Frischknecht, R.; Büssel Knöpfel, S. (2013): Swiss Eco-Factors 2013 according to the Ecological Scarcity Method, Federal Office for the Environment FOEN, öbu - works for sustainability, Bern

#### *1.3.4. Demande en énergie primaire non renouvelable*

Les phases de forage et de construction sont quasiment équivalentes en termes de consommation d'énergie primaire non renouvelables et représentent environ 80% de l'énergie primaire consommée. Le rôle du processus de fabrication de l'acier est majeur. La phase d'exploitation ne représente que 13% de la consommation.

#### *1.3.5. Demande en énergie primaire renouvelable*

La phase de construction contribue le plus (91%) à la consommation d'énergie primaire renouvelable, suivie de loin par la phase de forage. Le processus de fabrication de l'acier est le responsable de cette consommation. Comparativement, la phase d'exploitation consomme peu d'énergie primaire renouvelable.



Références :

