



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès différé

Ancien site Legré Mante, Marseille (13008) Tierce Expertise du Plan de Conception des travaux

Rapport final

BRGM/RC-71630-FR

Version 1 du 29 mars 2022

Hubé Daniel, Chevrier Boris, Louisor Jessie

Vérificateur :

Nom : Lambeaux Jean-Louis

Fonction : Chef de projets

Date : 29/03/2022

Signature :

Approbateur :

Nom : Duhamel-Achin Isabelle

Fonction : Directrice régionale Provence-
Alpes-Côte d'Azur

Date : 01/04/2022

Signature :

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

Contact : qualite@brgm.fr

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots clés : Tierce expertise, pollution; métaux, crassier, travaux de dépollution, réhabilitation

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

Hubé Daniel, Chevrier Boris, Louisor Jessie (2022) – Ancien site Legré Mante, Marseille (13008) Tierce Expertise du Plan de Conception des travaux. Rapport final V1. BRGM/RC-71630-FR, 83 p, 1 fig, 7 annexes .

© BRGM, 2022, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-20/01/2022

Synthèse

Contexte :

La DREAL PACA, par le courrier du 9 mars 2021 (D-2021-MRS-086) adressé au gérant de la SOCIETE FRANÇAISE DES PRODUITS TARTRIQUES MANTE SFPTM (représenté par le fond de dépollution Ginkgo) demande à ce que soit soumis à une Tierce-Expertise le Plan de Conception des Travaux (PCT) établi par ERG ENVIRONNEMENT (bureau d'étude conseil pour Ginkgo) dans le cadre d'un ambitieux projet de requalification de l'ancien site industriel Legré Mante de la SFPTM, à Marseille (8^{ème} arrondissement).

L'ancien site industriel Legré Mante s'étend sur une superficie d'environ 8,5 ha. Il a été découpé pour les besoins du projet de réaménagement en trois parcelles de la façon suivante, du sud au nord : **Parcelle A** (5 ha), **Parcelle C** (2,7 ha environ) et **Parcelle B** (« secteur Ouest » 0,7 ha environ) occupée par un crassier d'un volume d'environ 41 600 m³ constitué de déchets et matériaux qui ont été déposés dans le cadre des différentes activités industrielles historiques.

En avril 2021, suite au changement de la municipalité de Marseille, le permis de construire initialement déposé (et basé sur un premier Plan de Gestion (PG) et un PCT) a été rejeté. Une phase de négociations aboutit en juillet 2021 à un projet de réaménagement actualisé portant sur l'intégralité du foncier. Les modifications apportées au projet de requalification induisent l'actualisation du PG (sur la base de nouveaux scénarios de gestion et d'un bilan coûts / avantage remis à jour) et du PCT associé, ce dernier faisant l'objet de la présente Tierce-Expertise. Le PCT comprend des études et essais en laboratoire permettant de valider les propositions de mesures de gestion théoriques retenues aux termes du PG (essais de stabilisation / solidification, de phytostabilisation, étude de faisabilité pour la protection du crassier par enrochements vis-à-vis du phénomène d'érosion maritime, complétée par une étude géotechnique portant sur la stabilité et la réhabilitation du remblai de crassier, etc.).

Les mesures de gestion prévues dans le PG sur les parcelles A et C sont les suivantes :

- 1) une phase préliminaire de purge et d'élimination en filières des sources-sols concentrées de surface,
- 2) des travaux de terrassement pour l'aménagement du site selon trois phases successives, en lien avec le niveau de pollution des sols avec optimisation des travaux par la réalisation en flux tendu des terrassements et réemplois des déblais sur site,
- 3) le prédimensionnement des travaux, intégrant les mesures de gestion des poussières en phase travaux (arroser les zones traitées, asperger les pistes, brumiser les zones en activité, limiter les surfaces ouvertes avec utilisation quotidienne de liant cellulosique, bâcher les camions, limiter les vitesses de circulation des engins et les distances parcourues, laver les roues des engins et phaser les travaux en fonction des conditions de vent),
- 4) la mise en œuvre de la mesure constructive de recouvrement des espaces de pleine terre par une épaisseur de 0,5 m de terre saine compactée. Les pollutions métalliques diffuses des sols de surface hors emprise du projet de réaménagement seront traitées par phytostabilisation. Concernant les ouvrages enterrés historiques (cheminée rampante et carneaux), la seule mesure de gestion envisagée est la condamnation des accès à l'aide de grilles en fer et le décapage des dépôts riches en métaux présents à l'intrados de la cheminée rampante. Ces matériaux seront

stabilisés / solidifiés et déposés au sol de la cheminée sous une couche de graves. Par ailleurs, afin de confiner les dépôts, les trous et dégradations ponctuelles de la voûte seront obturés manuellement à l'aide de béton.

Concernant plus spécifiquement la parcelle B, compte tenu de la connaissance de l'état des milieux, des contraintes géotechniques, réglementaires (du Domaine Public Maritime notamment) et économiques, la solution retenue est celle de la maîtrise des pollutions concentrées, par stabilisation géotechnique et confinement pérenne non étanche du crassier. Sa mise en œuvre nécessite des travaux de reprofilage par des opérations de terrassement par phase, intégrant les mesures de gestion des envols de poussières en phase travaux, et l'optimisation des travaux par la réalisation simultanée des terrassements en déblais et des terrassements en remblais à partir des matériaux extraits (de manière à limiter le stockage des déblais sur site, et ainsi les contraintes liées à la gestion de ces matériaux stockés avant leur réutilisation). La mise en place d'un enrochement de protection de la base du crassier contre l'érosion marine est également prévue. La PCT proposé permet l'aménagement et l'usage futur de la parcelle en place publique, avec pour les usagers un accès à la mer.

Le budget total estimatif de l'ensemble de ces mesures de gestion et de surveillance s'élève à 10 900 k€ - 11 800 k€ HT.

Avis du tiers-expert en 1ère lecture :

La tierce expertise (TE) a été menée par phase en accord avec Ginkgo et la DREAL PACA autour de trois thèmes prioritaires soulevés par la DREAL au cours de la TE, à savoir 1) la stabilité géotechnique, 2) la pérennité du crassier face aux impacts du changement climatique (montée des eaux de la Méditerranée notamment), et enfin 3) le volet pollution (Sites et Sols Pollués ou SSP). Une attention particulière a été accordée dans ce dernier volet à l'influence du site du crassier de la parcelle B sur les eaux souterraines, dont la présence ou l'absence influe sur le choix de la mise en œuvre de la future couverture (étanche ou perméable) du crassier reprofilé. Le BRGM a ainsi émis trois notes de 1^{er} avis sur ces différents thèmes d'expertise (voir annexes).

En première lecture, les choix techniques concernant le réaménagement des parcelles A, B et C selon le projet immobilier et urbanistique présenté dans le rapport soumis pour avis et leur compatibilité avec l'état des sols et des milieux, sont globalement valides et conformes. Toutefois, le BRGM a identifié quelques points et incertitudes constituant des défauts de lisibilité et d'explications fragilisant certains argumentaires.

En ce qui concerne l'étude de la stabilité du crassier, les conclusions avancées sont globalement pertinentes, et la stabilité semble effectivement acquise à court et long termes. Toutefois, il convient de s'assurer de la bonne stabilité de cet ouvrage dès la phase de conception, pour plusieurs profils pénalisants. De même, il conviendrait de compléter l'étude de stabilité du talus nord par des calculs sur au moins deux profils complémentaires. La géométrie du massif et les paramètres de cisaillement des matériaux demandent également à être affinés lors de la phase de conception. Il semblerait de plus pertinent, compte tenu de la finalité des ouvrages et de la situation sismique du site, de réaliser des calculs en tenant compte des conditions sismiques, au moins à titre de vérification. Enfin, le dispositif de couverture n'est pas abordé dans l'étude de stabilité. S'il n'est pas, a priori, de nature à déstabiliser le massif, ce dispositif est composé de plusieurs couches, dont certaines très peu frottantes. La stabilité propre de la couverture (glissement plan) doit donc être évaluée en phase de conception, et peut impliquer des modifications de la géométrie des talus (pentes, longueurs de rampants, largeur des risbermes) afin d'être acquise.

Concernant l'ouvrage de protection en pied de crassier contre l'érosion marine (par l'action régulière de la houle ou d'incursions événementielles extrêmes lors de tempêtes), les calculs de houles et des niveaux d'eau proposés pour son dimensionnement ne comportent aucune analyse des incertitudes et certaines valeurs utilisées sont obsolètes comme l'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique (en fonction des dernières évaluations du GIEC). Cette partie de l'étude demande à être actualisée avec à minima la prise en compte d'une marge d'erreur des incertitudes et de sécurité. Les méthodes utilisées pour le dimensionnement de la protection du pied de talus étant directement liées à la hauteur de la houle, et compte tenu de l'avis ci-dessus (4.a), la souille et l'enrochement devront a priori faire l'objet d'un redimensionnement. Le choix d'une butée de pied (cas 1) est pertinent et nécessaire pour protéger la carapace des éventuels effets de fond (à vérifier dans le cas d'eaux peu profondes). L'analyse multicritère qui distingue l'alternative 2 est quant à elle bien adaptée aux enjeux du projet.

Ces premiers éléments d'appréciation et de tierce expertise ont été transmis à Ginkgo et à son conseil ERG ENVIRONNEMENT qui ont apporté réponse point par point dans les quatre notes annexées au présent rapport de TE. L'avis final du tiers expert prenant en compte ces réponses est résumé ci-après.

Avis final du tiers expert :

Les calculs de stabilité du crassier ont été réalisés selon une **méthode adaptée**, et aboutissent à la conclusion que, quelle que soit la situation de calcul, la stabilité du profil étudié est acquise. Pour le profil étudié, et en l'état actuel du projet, ces conclusions sont globalement **pertinentes, et la stabilité semble effectivement acquise à court et long terme**. Toutefois, il convient de s'assurer de la bonne stabilité de cet ouvrage dès la phase de conception, **pour plusieurs profils pénalisants**. De même, l'étude de stabilité du talus nord serait à compléter par **des calculs sur au-moins deux profils complémentaires**. La géométrie du massif et les paramètres de cisaillement des matériaux demandent également à être **affinés lors de la phase de conception**. Il semblerait de plus pertinent, compte tenu de la finalité des ouvrages et de la situation sismique du site, de **réaliser des calculs en tenant compte des conditions sismiques, au-moins à titre de vérification**. La **stabilité propre de la couverture** en talus (glissement plan) doit aussi être **évaluée en phase de conception**, et peut impliquer des modifications de la géométrie des talus afin d'être acquise.

Les éléments dimensionnant de l'enrochement de pied de crassier sont validés à ce stade d'étude d'avant-projet (AVP). Le choix d'une **butée de pied** (cas 1) est pertinent et nécessaire pour protéger la carapace des éventuels effets de fond (à vérifier dans le cas d'eaux peu profondes). L'analyse multicritères qui distingue **l'alternative 2** est quant à elle bien **adaptée aux enjeux du projet**.

Concernant les aspects Sites et Sols Pollués, le BRGM donne un avis favorable aux solutions retenues. Les mesures de gestion proposées par le pétitionnaire (formalisées par le PG et le PCT) sont valides, conformes, et proportionnées aux enjeux au regard des usages futurs (projet de réaménagement) et de l'état des milieux (schéma conceptuel) ; le BRGM juge le degré de connaissance de l'état des milieux suffisant pour fiabiliser les mesures de gestion proposés (en phase chantier et pour les usages futurs).

Le choix d'une couverture du crassier par un dispositif non étanche est adapté aux enjeux environnementaux (absence d'impact du crassier sur les usages des eaux et le milieu marin) et **sanitaires** (suppression des possibilités d'exposition des usagers du site au contact des matériaux, suppression des possibilités d'envol des poussières) **et apparaît proportionné aux enjeux techniques et financiers du projet de réaménagement pris dans son intégralité**.

Sommaire

1. Contexte et objectifs	8
1.1. Demande de l'administration et périmètre de l'intervention du BRGM	8
1.2. Document mis à disposition du BRGM dans le cadre de la présente tierce expertise ...	9
1.3. Présentation générale du site d'étude et de l'actualisation du projet d'aménagement	10
1.3.1. <i>Contexte et enjeux</i>	10
1.3.2. <i>Actualisation du projet d'aménagement et du Plan de gestion</i>	12
1.3.3. <i>Conclusions et préconisations d'ERG ENVIRONNEMENT concernant le Plan de gestion actualisé et sa mise en œuvre opérationnelle</i>	18
2. Avis du BRGM en première lecture du PCT	19
2.1. Avis général a la lecture du PCT	19
2.1.1. <i>Sur la stabilité et le dispositif de confinement du crassier parcelle B</i>	19
2.1.2. <i>Sur l'ouvrage de protection en pied de crassier</i>	20
2.1.3. <i>Sur les aspects environnement/pollution</i>	20
3. Avis final du BRGM après réponses	21
3.1. Avis final sur la stabilité et le dispositif de confinement du crassier parcelle B.....	21
3.2. Avis final sur l'ouvrage de protection en pied de crassier	22
3.3. Avis final sur les aspects environnement/pollution.....	22
4. Conclusion par rapport à la demande de la DREAL	24

Liste des figures

<i>Figure 1 : Orthophoto du site Legré Mante sur laquelle ont été reportés les périmètres des trois parcelles visées par le PG /PCT (source : tiré de [1] page 13)</i>	11
--	----

Liste des annexes

ANNEXE A : 1er avis sur la stabilité du crassier

ANNEXE B : 1er avis sur enrochement

ANNEXE C : 1er avis sur volet pollution

ANNEXE D : Réponses à l'avis BRGM stabilité

ANNEXE E : Descriptif du confinement du massif

ANNEXE F : Réponses à l'avis BRGM enrochement

ANNEXE G : Réponses à l'avis BRGM SSP

Liste des sigles et abréviations

AP	Arrêté Préfectoral
ARR	Analyse des Risques Résiduels
AVP	Etudes d'Avant-Projet
BCA	Bilan Coûts Avantages
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CIRIA	<i>Construction Industry Research and Information Association</i>
DPM	Domaine Public Maritime
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement
DDTM	Direction Départementale des Territoires et de la Mer
EQRS	Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires
ETMM	Eléments Trace Métalliques et Métalloïdes
HAP	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HCT	Hydrocarbures Totaux
IEM	Interprétation de l'Etat des Milieux
PACA	Provence-Alpes-Côte d'Azur
PC	Permis de Construire
PCDD	PolyChloroDibenzoDioxine
PCDF	PolyChloroDibenzoFurane
PCT	Plan de Conception des Travaux
PG	Plan de Gestion
PRO	Etude de projet
SFPTM	SOCIETE FRANÇAISE DES PRODUITS TARTRIQUES MANTE
S/S	Stabilisation Solidification
SSP	Sites et Sols Pollués
TE	Tierce Expertise
UT	Unité Territoriale
VTR	Valeur Toxicologique de Référence

1. Contexte et objectifs

1.1. DEMANDE DE L'ADMINISTRATION ET PERIMETRE DE L'INTERVENTION DU BRGM

Par courrier du 9 mars 2021 (D-2021-MRS-086) adressé au gérant de la SOCIETE FRANÇAISE DES PRODUITS TARTRIQUES MANTE (SFPTM représentée par le fond de dépollution Ginkgo), la DREAL PACA (UT13) a fait part du choix porté sur le BRGM pour la réalisation de la Tierce Expertise (TE) telle que mandaté par courrier préfectoral daté du 14 décembre 2017. Cette décision a été établie après un premier examen de la DREAL PACA du **Plan de Gestion (PG)** et du **Plan de Conception de Travaux (PCT)** relatifs au projet de réhabilitation de l'ancien site industriel Legré Mante à Marseille situé dans le 8^{ème} arrondissement. Le courrier précise les objectifs et le champ de la TE qui vise plus spécifiquement les points suivants :

- se prononcer sur la pertinence des résultats et la validité des schémas conceptuels du Plan de Gestion au regard des aménagements et travaux de réhabilitation envisagés ;
- se prononcer sur l'adéquation entre les mesures de gestion proposées et la situation sanitaire ou environnementale ;
- réaliser une analyse critique concernant les mesures de gestion prévues au niveau du crassier de la parcelle B (notamment le positionnement de l'ouvrage de confortement), des ouvrages historiques, des pollutions ETM (Eléments Traces Métalliques) diffuses (recouvrement de 50 cm et filet avertisseur notamment) et du sud de la parcelle A (phytostabilisation et phytoremédiation) ;
- émettre un avis sur la pérennité et les maintenances obligatoires des ouvrages envisagés ;
- émettre un avis sur l'efficacité des mesures de gestion prévues pour couper les vecteurs de diffusion vers le milieu environnemental ou les personnes sera notamment examinée ;
- réaliser une analyse critique spécifique des « poussières » sur l'étude menée par le porteur de projet et les mesures de gestion de ces « poussières » envisagées en phase chantier ;
- réaliser une analyse critique des EQRS¹ (en phase chantier et après travaux) pour ce qui concerne les sources, polluants et aires de diffusion retenus ;
- compte tenu des dernières évolutions du projet de réhabilitation, se positionner sur :
 - la nécessité d'amender les Plans de Gestion et de Conception de Travaux ;

¹ *Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires.*

- les diagnostics de la qualité des milieux et si modifications préconisées indiquer sur quels aspects ;
- se prononcer sur la pertinence des scénarios retenus, des pondérations et notations définies ainsi que le bilan coûts/avantages. Il se prononcera par ailleurs sur la nécessité de définir des scénarios spécifiques et un bilan coûts/avantages dédié au crassier présent sur la parcelle B ;
- se prononcer sur la pertinence de la surveillance environnementale prévue en cours et post-chantier.

Le BRGM intervient dans ce cadre en tant qu'établissement public expert sur les problématiques du sol et du sous-sol, en particulier sur les sujets de Sites et Sols Pollués (SSP) et d'hydrogéologie. Les missions d'expertise du BRGM sont régies par la Charte nationale de l'expertise notifiée aux établissements publics de recherche par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche le 2 mars 2010.

Le principe de la Tierce Expertise est, au regard des documents et informations transmises au tiers experts par le demandeur :

1) d'identifier dans un premier temps les points techniques qui sont valides et conformes aux normes en vigueur, aux recommandations méthodologiques (en particulier celles énoncées dans les textes du Ministère de l'Ecologie du 19 avril 2017), aux bonnes pratiques et règles de l'Art, en les distinguant

2) des points de non conformités et des écarts, manques et lacunes ou encore ce qui relève d'un défaut de lisibilité, puis

3) pour ces derniers, d'évaluer leurs impacts sur les principales conclusions de l'étude avancées par le pétitionnaire.

1.2. DOCUMENT MIS A DISPOSITION DU BRGM DANS LE CADRE DE LA PRESENTE TIERCE EXPERTISE

Le document consulté par le BRGM pour avis dans le cadre de la présente TE est le suivant :

- Rapport ERG ENVIRONNEMENT « SOCIETE FRANÇAISE DES PRODUITS TARTRIQUES MANTE (SFPTM). Gingko. Ancien site Legré Mante, route de la Madrague de Montredon, Marseille (13008). Plan de Conception des Travaux » du 17/09/21, dossier ERG/17LES/038Ac/ENV/MOK/IR/47777 [1].

1.3. PRESENTATION GENERALE DU SITE D'ETUDE ET DE L'ACTUALISATION DU PROJET D'AMENAGEMENT

1.3.1. Contexte et enjeux

Le Plan de Conception des Travaux (PCT) soumis à la tierce expertise et à l'avis du BRGM s'inscrit dans le cadre d'une requalification de l'ancien site industriel Legré Mante de la SOCIETE FRANÇAISE DES PRODUITS TARTRIQUES MANTE (SFPTM), adressé au 162 avenue de la Madrague de Montredon, 13 008 Marseille, pour l'aménagement d'un ensemble immobilier, ainsi que pour la gestion d'un crassier formé pour l'essentiel de déchets industriels existant aujourd'hui et historiquement rattachés à l'usine. L'ancien site industriel Legré Mante s'étend sur une superficie d'environ 8,5 ha et a été découpé, pour les besoins du projet de réaménagement, en trois parcelles de la façon suivante, du sud au nord :

- **Parcelle A** : de 5 ha environ, formée de terrains soit « naturels » (parties sommitales du site), soit ayant fait l'objet d'une exploitation industrielle ancienne (des infrastructures de l'ancienne cheminée et du carneau de la fonderie historique sont toujours en place),
- **Parcelle C** : de 2,7 ha environ, ayant fait l'objet d'une exploitation industrielle récente (bâtiments, voiries et installations de traitement des eaux usées),
- **Parcelle B (« secteur Ouest » ; crassier)**: de 0,7 ha environ de terrain, située à l'ouest de l'avenue de la Madrague, côté Méditerranée. La parcelle est occupée par un crassier d'un volume d'environ 41 600 m³ constitué de déchets et matériaux qui ont été déposés dans le cadre des différentes activités industrielles historiques (une activité de stockage pour laquelle l'ancien exploitant disposait d'une autorisation administrative dès les premières activités). Des opérations de démolitions menées par le dernier exploitant sur la parcelle C ont été menées pour la construction d'une station d'épuration. Ainsi, une grande quantité de déblais de terrassement et de matériaux de démolition liés à ces anciennes infrastructures a été déposée sur le crassier, sous validation de l'administration. Ce crassier s'avance sur la zone littorale (Domaine Public Maritime, DPM).



Figure 1 : Orthophoto du site Legré Mante sur laquelle ont été reportés les périmètres des trois parcelles visées par le PG /PCT (source : tiré de [1] page 13).

Sur le plan historique, le site de la SAS LEGRE MANTE ETABLISSEMENTS, visé par le programme de réaménagement et le PCT, a accueilli les activités suivantes 1) de 1875 à 1883, une usine de traitement de plomb argentifère et de zinc par natrométallurgie et fabrication de soude (1875-1883 : HILARION-ROUX qui, après avoir fait faillite, a été mise en liquidation), 2) de 1888 à 2009, des installations de production d'acide tartrique et d'acide sulfurique (dites « Legré-Mante »). A noter que le site s'est donc retrouvé deux fois en friche au cours de son histoire 1) à la fin du XIX^{ème} siècle, de 1883 à 1888, en friche pendant cinq ans, 2) de 2009 à 2017, soit pendant huit ans.

Le PCT répond aux exigences de l'Administration dans l'Art. 2 du projet d'Arrêté Préfectoral (AP) transmis le 04/07/2017. Ce PCT est adossé au Plan de Gestion (PG) (bureau d'étude ERG, ENVIRONNEMENT référencé 17LES038Ab/MOK/42333) en date du 15/10/18. Le PG fut annexé au Permis de Construire (PC) déposé en décembre 2019, tous deux reposant alors que sur une partie du foncier uniquement. Or, en avril 2021, suite au changement de la municipalité de Marseille, le PC a été rejeté par un « refus tacite ». S'ensuit une phase de négociations qui a abouti en juillet 2021 à un projet actualisé portant sur l'intégralité du foncier, et nécessitant de réviser le PCT. Ce PCT fait l'objet de la présente Tierce Expertise.

Le Plan de Gestion actualisé et le PCT s'appuient sur des données et informations tirées d'un ensemble de 24 rapports d'études rassemblés en annexe du rapport [1] soumis pour avis.

1.3.2. Actualisation du projet d'aménagement et du Plan de gestion

a) *Projet d'aménagement actualisé*

En 2017, le fond de dépollution Ginkgo rachète cette friche industrielle, avec pour projet d'y redévelopper un programme durable ambitieux, permettant de redynamiser ce quartier délaissé du sud marseillais. L'étude historique menée en amont des investigations des différents diagnostics et du PG a permis d'identifier, de décrire, parfois de façon détaillée les procédés industriels employés par l'usine au cours de ses différentes phases d'exploitation. Sur ces bases, les sources potentielles de pollution associées pour chacune des activités ont été recensées et localisées.

A ce stade, le projet d'aménagement actualisé considère, sur la base des conclusions des séances d'échanges et concertation avec les services de la Ville de Marseille :

- **Sur les parcelles C et A** : une adaptation du projet initialement retenu, comprenant la prise en compte de tout le foncier, la diminution de la densité totale et donc du nombre de parkings, l'intégration d'une mixité programmatique plus ambitieuse dont 30% de logements sociaux. Cela engendre une optimisation de la répartition en déblais/remblais ainsi que la prise en compte de l'ensemble du foncier dans le document du PCT. *Les évolutions de projet sur les parcelles C et A ne remettent pas en cause les scénarios de gestion étudiés dans le cadre du Plan de Gestion d'octobre 2018.*

- **Sur la parcelle B** : le nouveau projet prévoit une mise en sécurité pérenne du crassier en vue de la réalisation d'une esplanade piétonne, dénommée « Place du Belvédère », comprenant un accès à la mer, qui permettront au public et aux riverains de se réapproprier cet espace. Ce projet entre dans le cadre du projet global de réhabilitation et d'aménagement de la friche industrielle du site Legré Mante. Les besoins en stationnement du nouveau projet d'aménagement ne nécessitent plus la création d'un parking en sous-sol, initialement prévu au sein du crassier (changement de stratégie lié aux modifications urbanistiques demandées par la Mairie) ; aucune purge du massif de matériaux ne s'avère nécessaire sur des critères d'aménagement de la parcelle. Dans ce contexte, les modifications de projet remettent en question les hypothèses retenues dans le Plan de Gestion d'octobre 2018 et les scénarios qui en découlent.

L'actualisation du projet d'aménagement se traduit mécaniquement par une actualisation du Plan de Gestion.

b) *Processus d'actualisation du Plan de Gestion*

[Reprise des données existantes concernant la nature et la composition des matériaux constitutifs du crassier de la parcelle B](#)

Dans ce contexte de révision du PG visant spécifiquement la parcelle B et conformément aux attentes de l'Administration, une analyse complémentaire des données de diagnostic existantes sur le crassier a été menée. Le travail d'identification des pollutions est focalisé sur les polluants traceurs des activités historiques pour lesquels des anomalies dans les matériaux du crassier ont été enregistrées c'est-à-dire, le plomb (Pb), l'arsenic (As) et les cyanures (CN). Les principales conclusions qui en découlent sont les suivantes :

- Les déchets et matériaux industriels contenus dans le crassier, issus de l'exploitation historique HILARION ROUX, sont constitués de scories (résidus de fonderies) renfermant intrinsèquement une pollution concentrée en arsenic et en plomb non lixiviables ;

- Les teneurs en cyanures totaux enregistrées dans le crassier sont réparties d'une manière hétérogène dans les matériaux de surface du secteur Ouest. Elles sont à mettre en perspective de la teneur maximale mesurée (qui reste faible à modérée avec 260 mg/kg MS), de la stabilité des ferrocyanures, de la présence dans ces matériaux des cyanures libres à l'état de trace (teneurs inférieures à 1 mg/kg MS), ainsi que de l'absence d'occurrence des cyanures sur le milieu marin vulnérable (non détection systématique dans les eaux, les sédiments et les oursins lors de la campagne de 2017) ;
- Le croisement de ces données avec les études précédentes menées sur le milieu marin démontrent l'absence d'impact au niveau du site par rapport aux autres stations du littoral qui ont été investiguées ;
- Cette analyse a permis de mettre à jour les scénarios de gestion à retenir sur la parcelle B, analysés selon une démarche de Bilan Coûts-Avantages (BCA), comprenant une analyse multicritère et une étude de sensibilité, conformément à la méthodologie française en matière de gestion des sites et sols pollués (au sens des textes du Ministère de l'Ecologie d'avril 2017).

Plan de Gestion actualisé proposé (état septembre 2021)

Sur la base de ces éléments de connaissance et des résultats des études et essais environnementaux et géotechniques, une actualisation du PG a pu être proposée.

Pour les parcelles A et C :

- Les hypothèses retenues au PG dans les conceptions de travaux ont toutes été validées à l'issue des essais et études connexes, sauf l'option de remplissage de la cheminée rampante par des matériaux préalablement stabilisés/solidifiés. Une solution de mise en sécurité par purge manuelle des encroutements et condamnation des accès a été préférée dans ce contexte, pour sa simplicité de réalisation, ses garanties de performance technique et sa pérennité ;
- La mise à jour concerne essentiellement les volumes de déblais à gérer, qui impactent uniquement le coût de gestion sur le scénario 1 (gestion hors sites en filière(s) autorisée(s) des futurs déblais) ;
- Ces modifications n'influent pas sur les notations de chaque scénario, selon les critères retenus (techniques et normatifs, économiques, environnementaux, socio-politiques, ainsi que juridiques et réglementaires) et le BCA est donc inchangé.

Pour la parcelle B :

La parcelle et son crassier historique doivent être étudiés et gérés au travers du prisme de tous leurs enjeux, qu'il s'agisse :

- Enjeux réglementaires en matière de gestion d'un massif de déchets sur le domaine maritime, issues de diverses industries autorisées par l'Administration depuis près d'un siècle et demi ;
- Enjeux géochimiques et environnementaux (et notamment ceux en lien avec le potentiel d'émission vers les eaux des composés renfermés dans les matériaux constitutifs du

crassier) : nature et composition chimique des matériaux, ainsi que leur comportement à long terme, caractérisé par une mobilité très limitée de tous les composés identifiés ;

- Enjeux sanitaires avec un impact non significatif de l'envol des poussières depuis le crassier dans sa configuration actuelle, non protégée des vents (études ATMOSUD 2017 et 2019-2020), ainsi que sur le milieu marin (eau, sédiments et oursins investigués en 2017 dans le cadre de l'Interprétation de l'Etat des Milieux (IEM) (rapport ERG ENVIRONNEMENT référencé 17LES038Aa/43044 en date 24/04/2020)) ;
- Enjeux géotechniques et notamment la stabilité générale du massif de déchets / résidus et son reprofilage ;
- Des enjeux climatiques et de l'exposition de la base du crassier à l'érosion maritime. L'érosion marine provoque une instabilité légère en pied de talus du massif, ayant conduit à la création de la plage artificielle ; du DPM et de la nécessité de protection du trait de côte vis-à-vis de l'érosion maritime ;
- Des enjeux esthétiques (intégration paysagère) et sociologiques, en tenant compte de l'aspect général et visuel des dépôts qui dégradent le paysage environnant et ne permettent pas un accès qualitatif à la mer pour les riverains et le public. A l'heure actuelle l'accès à la mer est interdit et le crassier constitue une nuisance visuelle pour les habitations situées en bord de mer ;
- Des enjeux sociétaux par la reconstruction d'un cœur de village, d'une connexion entre la colline et la mer et d'une plateforme belvédère pour ouvrir le panorama vers la mer et les îles.

Le projet de réhabilitation de la parcelle B doit tenir compte de l'ensemble de ces composantes et enjeux structurants, en retenant un scénario de gestion qui soit le plus en adéquation avec le contexte (même s'il ne permet pas totalement de répondre à toutes les composantes) et qui constitue un optimum technico-économique viable avec le projet de requalification, élaboré sur les bases des intentions de la Ville de Marseille et les souhaits exprimés par les riverains.

Les scénarios et variantes étudiées par ERG ENVIRONNEMENT dans le rapport [1] concernant le devenir du crassier dans le projet global d'aménagement du site Legré Mante sont les suivants :

- **Scénario 0** : purge de l'intégralité du crassier existant et orientation en filière(s) autorisée(s) des 41 600 m³ de matériaux de remblais le constituant.
- **Scénario 1** : purge partielle des remblais industriels profonds qui constituent la pollution concentrée en arsenic et plomb sur la parcelle B décliné en 1) Scénario 1a : purge et orientation en filière(s) de traitement autorisée(s) de l'ensemble des matériaux puis reprofilage et confinement du massif pour sa mise en sécurité 2) Scénario 1b : purge et orientation en filière(s) de traitement autorisée(s) des matériaux de remblais industriels, stockage et réemploi du volume de remblais de démolition et chimie qui ont dû être terrassés pour accéder aux remblais industriels de fonderie puis reprofilage et confinement du massif pour sa mise en sécurité.
- **Scénario 2** : Maitrise des pollutions par un confinement après reprofilage pour mise en stabilité du massif avec deux variantes possibles 1) Scénario 2a : positionnement de l'enrochement de protection du massif hors emprise du DPM (avec ou sans prise en compte du DPM retenu par la DDTM) 2) Scénario 2b : positionnement de l'enrochement de protection du massif sur le DPM.

Ces scénarios de mesures de gestion de la parcelle B et de son crassier visent 1) la suppression des voies de transfert (majoritairement par envois des poussières) et des voies d'exposition (recouvrement du massif et de la plage artificielle), 2) la mise en stabilité du crassier et sa protection vis-à-vis des phénomènes d'érosion marine, et 3) la suppression des contraintes visuelles (aménagement en place) et la création d'un accès à la mer (descente depuis la place du Belvédère et accès par ponton).

Etudes de faisabilité et de traitabilité réalisées et Plan de Conception des Travaux (PCT)

Le Plan de Conception de Travaux a pour objectifs de :

- Présenter et interpréter les essais pilotes et études spécifiques déployées, y compris les éléments de connexe (comme les aspects géotechniques et la gestion des nuisances en phase travaux) ;
- Définir la faisabilité des scénarios de gestion et mesures étudiés au PG ;
- Mettre à jour, le cas échéant, des éléments déjà présents dans le PG (notamment le bilan coûts-avantages, l'ARR prédictive, les modalités de contrôle et de surveillance et les restrictions d'usage) ;
- Définir, parmi les scénarios de gestion précédemment étudiés, la proposition de la solution à mettre en œuvre pour les travaux et la dimensionner (y compris définir les modalités des travaux de terrassement / envol des poussières et de gestion des poussières).

Dans ce cadre, des études de faisabilité et de retraitement, ainsi que des études connexes (géotechniques, ...) d'avant-projet se sont avérées nécessaires au titre du PCT, conformément à la méthodologie nationale en matière de gestion des sites et sols pollués, afin de valider les alternatives retenues dans le PG sur des considérations théoriques :

Sur la parcelle B : Étude de faisabilité pour la protection du crassier par **enrochements** vis-à-vis du phénomène d'érosion marine, complétée par une étude géotechnique portant sur la **stabilité et la réhabilitation du remblai de crassier** en vue de la réalisation d'une esplanade (place du Belvédère). Enfin, une étude a été conduite pour identifier une solution de confinement du massif ;

Sur les parcelles A et C : les études et essais réalisés sont les suivants :

- **Essais au laboratoire de stabilisation / solidification (S/S)** des sols impactés par les métaux des zones de pollution reconnues concentrées (*rapport REMEA. Ancienne usine Legré-Mante. Stabilisation de sols pollués aux métaux lourds. Essais en laboratoire. Rapport référencé REMEA_ERG_LegreMante_RapportEssaisEnLaboratoire_270320_vC. Version C de mars 2020*, placé en annexe 7.1 du rapport [1]) ; il s'agit d'un test « pilote » réalisé par essais en laboratoire pour valider la faisabilité de la technique de traitement par S/S et définir l'aptitude de remise en œuvre les matériaux stabilisés (ouvrabilité) en fonction des dosages et performance environnementales ;
- **Etude de mise en œuvre, de faisabilité et de renforcement, de maintien et de transformation des ouvrages historiques (cheminée rampante, carneaux)** (*rapport REMEA. Renforcement, maintien et transformation de structures pour utilisation en stockage. Mémoire explicatif. Freyssinet France- Région sud-est. Rapport TP0247 du 20/02/20* placé en annexe 7.2 du rapport [1]). Il s'agit d'un diagnostic structurel de

l'ouvrage pour évaluer la faisabilité d'un remplissage par les matériaux ayant été traités par S/S (ci-avant) vis-à-vis de la structure de l'ouvrage (cheminée rampante) ;

- Parallèlement, des études de gestion des sources de pollution concentrées en hydrocarbures, cyanures et mercure (purge des sources de sols et conservation en mémoire de la qualité résiduelle) ont été réalisées ainsi qu'une étude de gestion des pollutions diffuses en ETMM par **confinement et phytostabilisation** ;

Sur l'ensemble des parcelles : Etude des mesures de gestion et de maîtrise des émissions poussières en phase de travaux et de terrassement.

Ces études ont toutes été menées par des tiers indépendants experts dans leurs domaines et reconnus.

Conclusions sur les variantes retenues. Processus de mise en œuvre opérationnelle des mesures de gestion envisagé

Aucune mise à jour de l'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) n'est requise dans le cadre du PCT. L'Analyse des Risques Résiduels (ARR) sur la base de la connaissance de l'état des milieux connue à ce stade conclue à une compatibilité de l'état des milieux avec les usages projetés pour le risque par inhalation dans les bâtiments de plain-pied projetés au droit des parcelles A et C. Par ailleurs, la mise en place des mesures de gestion et les dispositions constructives retenues dans le PCT permettront de supprimer les voies de transfert et d'exposition sur l'ensemble des trois parcelles A, B et C. Le projet de redéveloppement de cette ancienne friche industrielle et les mesures de gestion retenues assurent la compatibilité sanitaire avec les usages projetés.

Les mesures de gestion retenues dans le cadre du redéveloppement du site sont les suivantes :

Parcelles A et C :

Les principaux résultats à l'issue des essais de S/S sur les sols impactés par les métaux des zones de pollution concentrées mettent en évidence que : 1) Les teneurs en arsenic et plomb lixiviables des échantillons restent sous les seuils de quantification et sont donc conformes aux critères chimiques fixés (critères de l'arrêté du 12/12/2014) ; 2) D'un point de vue géotechnique, les résistances à la compression mesurées après 7 ou 28 jours de maturation des formulations F2 et F3 sont comprises entre 5,9 et 17,7 MPa, validant largement une utilisation peu portante du sol ; 3) Un dosage d'environ 150 kg de liant hydraulique par mètre cube de sol (formulation F2) semble suffisant pour une stabilisation chimique et géotechnique des sols du site suivant les usages proposés et sous condition de mise en œuvre dans les règles de l'art.

Les matériaux stabilisés apparaissent conformes chimiquement et physiquement avec une mise en œuvre dans les ouvrages historiques existants sur site. La stabilisation/solidification peut être retenue d'un point de vue purement chimique pour la gestion des terres excavées sur les parcelles A et C.

Concernant les ouvrages enterrés historiques (cheminée rampante et carneaux), les solutions 1) de confortement de ces infrastructures par du béton projeté, 2) l'ancrage dans la roche encaissante, 3) tout comme le retrait et la gestion selon des filières ad hoc des encroutements riches en métaux lourds à l'intrados de la cheminée rampante, n'ont pas été retenues (compte tenu du BCA, de l'absence d'aménagement prévu au droit de ces infrastructures et de l'absence d'impact des matériaux constitutifs sur les eaux souterraines). **La**

seule mesure de gestion envisagée est la condamnation des accès à l'aide de grilles en fer forgé. Par ailleurs, afin de confiner les dépôts, les trous et dégradations ponctuelles de la voûte seront obturés manuellement à l'aide de béton, dont la couleur sera identique à celle du carneau (nécessitant des planches d'essais préalables).

La mise en œuvre du PG sur les parcelles A et C comprendra les phases suivantes :

- phase préliminaire de purge et d'élimination en filières des sources sols concentrées (de surface) ;
- travaux de terrassement pour l'aménagement du site selon trois phases successives, en lien avec le niveau de pollution des sols avec optimisation des travaux par la réalisation en flux tendu des terrassements et réemplois des déblais sur site ;
- prédimensionnement des travaux, intégrant les mesures de gestion des poussières en phase travaux (arroser les zones traitées, asperger les pistes, brumiser les zones en activité, limiter les surfaces ouvertes avec utilisation quotidienne de liant cellulosique, bâcher les camions (pour éviter les envolements), limiter les vitesses de circulation des engins et les distances parcourues, laver les roues des engins et phaser les travaux en fonction des conditions de vent) ;
- mise en œuvre de la mesure constructive de recouvrement des espaces de pleine terre par une épaisseur de 0,5 m de terre saine compactée ;
- gestion des eaux météoriques en phase travaux.

Parcelle B :

Compte tenu de ce qui précède, **la solution retenue est celle de la maîtrise des pollutions concentrées, par stabilisation géotechnique et confinement pérenne non étanche du crassier.**

***Nota :** la rédaction du PCT peut laisser penser que le dispositif choisi est étanche compte tenu des annexes décrivant précisément un tel dispositif étanche et en regard de l'absence de description détaillée d'un dispositif non étanche.*

La conception de travaux proposée permet l'aménagement et l'usage futur de la parcelle en place publique, avec pour les usagers un accès à la mer. Les opérations et mesures de gestion prévues pour la parcelle B se déclinent comme suit :

- travaux de reprofilage par des opérations de terrassement par phase, intégrant les mesures de gestion des envols de poussières en phase travaux (citées ci-avant) avec optimisation des travaux par la réalisation simultanée des terrassements en déblais et des terrassements en remblais à partir des matériaux extraits, de manière à limiter le stockage des déblais sur site, et ainsi les contraintes liées à la gestion de ces matériaux stockés avant leur réutilisation ;
- mise en sécurité pérenne par confinement du massif ;
- mise en place d'un enrochement de protection à la base du crassier contre l'érosion marine ;

- gestion des eaux météoriques en phase travaux.

Programme général de surveillance et communication :

- un suivi de la qualité de l'air sera réalisé avant, pendant et après les travaux. Il sera défini avec ATMOSUD sur la base de la surveillance « *point zéro avant chantier* » menée entre septembre 2019 et septembre 2020 : communication à l'Administration du suivi avec points d'arrêt, mesures correctives d'urgence et éventuels plans d'actions correctives ;
- un suivi de la qualité des eaux souterraines sera réalisé pendant les travaux et après ceux-ci, au moyen des trois ouvrages piézométriques existants au droit du site ;
- communication des résultats des surveillances effectuées sur les milieux en phase travaux vers un comité de suivi ad hoc durant le chantier, composé de trois collègues à parité pour débattre de la gestion de chantier (avancement des travaux et points marquants avec les représentants des CIQ, la MOE/MOA et associations (FNE, etc.).

Le budget total estimatif de l'ensemble de ces mesures de gestion et de monitoring s'élève à 10 900 k€ - 11 800 k€ H.T.

1.3.3. Conclusions et préconisations d'ERG ENVIRONNEMENT concernant le Plan de gestion actualisé et sa mise en œuvre opérationnelle

Les essais en laboratoire et études connexes valident la faisabilité des hypothèses retenues au PG sur les **parcelles A et C**, ce qui conduit à ne pas remettre en question le BCA établi au PG. Seule l'option de mise en sécurité de la cheminée rampante par remplissage des ouvrages historiques avec des matériaux préalablement stabilisés/solidifiés a été invalidée par les études connexes. Une solution de mise en sécurité par purge manuelle des encroutements et condamnation des accès est retenue pour ses qualités de simplicité de mise en œuvre, de pérennité et d'efficacité.

Concernant la **parcelle B et son crassier**, l'absence de risques environnementaux au droit du crassier a été confirmée par une analyse approfondie des données analytiques existantes. De plus, des études de faisabilité complémentaires ont été menées afin de permettre le redéveloppement de cette parcelle en place publique avec accès à la mer (évolution du projet par rapport au PG initial d'octobre 2018). Celles-ci ont conduit à la conception d'un ouvrage stable et protégé de l'érosion garantissant la mise en sécurité pérenne par confinement non étanche du volume de crassier en place.

L'étude des nuisances en phase chantier (envol de poussières en lien avec les opérations de terrassement sur les parcelles B, C et A), conduit à retenir la vitesse de 50 km/h de vent comme seuil en phase travaux et a permis de définir les mesures de gestion des envols de poussières associés. Les mesures de gestion des poussières en phase travaux ont en outre été validées par l'EQRS qui a été réalisée sur la base de la modélisation exhaustive de l'impact chronique de l'ensemble du chantier toutes conditions météorologiques confondues (données ATMOSUD et METEOFRACTANCE intégrées).

Des servitudes et des restrictions d'usages devront être mises en place pour garantir la conservation en mémoire de la pollution résiduelle sur site et des mesures constructives en découlant. Enfin, les études de conceptions et réglementaires nécessaires à la mise en œuvre opérationnelle des mesures de gestion validées par le présent PCT et retenues au stade AVP devront être menées.

2. Avis du BRGM en première lecture du PCT

2.1. AVIS GENERAL A LA LECTURE DU PCT

La tierce expertise a été menée par phase en accord avec Ginkgo et la DREAL PACA autour de **trois thèmes prioritaires soulevés par la DREAL PACA au cours de la tierce-expertise**, à savoir la **stabilité géotechnique** et la **pérennité du crassier** face au changement climatique (montée des eaux de la Méditerranée), et enfin le **volet pollution**. Trois notes exposant l'avis du BRGM correspondant à ces trois thèmes ont été remises à Ginkgo. Elles ont été accompagnées d'une réunion par thématique avec le tiers-expert, Ginkgo et ses conseils (ERG ENVIRONNEMENT, OCEANIDE), et la DREAL PACA.

Les paragraphes suivants reprennent les principales conclusions des trois notes/avis citées ci-avant qui sont données dans leur intégralité en annexes du rapport (annexe A : avis sur stabilité ; annexe B : avis sur enrochement ; annexe C : avis sur le volet pollution SSP).

2.1.1. Sur la stabilité et le dispositif de confinement du crassier parcelle B

Concernant la stabilité :

Les calculs ont été réalisés selon une méthode adaptée, et avec un outil (GEOSTAB) usuel pour ce type d'étude. Ils aboutissent à la conclusion que, quelle que soit la situation de calcul (stabilité locale ou globale, en travaux ou définitive), la stabilité du profil étudié est acquise.

Pour le profil étudié, et en l'état actuel du projet, ces **conclusions sont globalement pertinentes, et la stabilité semble effectivement acquise à court et long termes**. Toutefois, l'étude de stabilité ne porte que sur un unique profil du seul talus nord-ouest. Or, le projet prévoit également un reprofilage en remblais du talus nord. Les remblais seront édifiés en terre renforcée par des géosynthétiques. Des bâtiments étant présents au pied du talus nord, il est essentiel de s'assurer de **la bonne stabilité de cet ouvrage dès la phase de conception, pour plusieurs profils pénalisants**. De même, il conviendrait de **compléter l'étude de stabilité du talus nord par des calculs sur au moins deux profils complémentaires**. La géométrie du massif (y compris couches internes) et les paramètres de cisaillement des matériaux demandent également à être affinés lors de la phase de conception. Il semblerait de plus pertinent, compte tenu de la finalité des ouvrages et de la situation sismique du site, de réaliser des calculs en tenant compte des **conditions sismiques, au-moins à titre de vérification**.

Enfin, le dispositif de couverture n'est pas abordé dans l'étude de stabilité. S'il n'est pas, a priori, de nature à déstabiliser le massif, ce dispositif est composé de plusieurs couches, dont certaines très peu frottantes (géomembrane). **La stabilité propre de la couverture (glissement plan) doit donc être évaluée en phase de conception**, et peut impliquer des modifications de la géométrie des talus (pentes, longueurs de rampants, largeur des risbermes) afin d'être acquise.

Concernant le dispositif de confinement du crassier :

Le dispositif envisagé n'est pas décrit dans les documents expertisés, et fera l'objet d'une conception dans les phases ultérieures du projet. **A ce stade**, le BRGM considère comme **pertinente** la mise en place d'une structure de couverture de type **étanche (rappel : la rédaction du PCT peut laisser penser que le dispositif choisi est étanche compte tenu des annexes**

décrivant précisément un tel dispositif étanche et en regard par contre de l'absence de description détaillée d'un dispositif non étanche).

2.1.2. Sur l'ouvrage de protection en pied de crassier

Concernant les calculs de houles et de niveaux d'eau pour le dimensionnement de l'ouvrage, les **incertitudes ne sont pas assez (voire pas) prises en compte** et certaines valeurs utilisées sont **obsolètes** (élévation du niveau de la mer liée au changement climatique notamment). Cette partie de l'étude demande à être actualisée avec à minima la prise en compte d'une marge d'erreur/sécurité.

Les méthodes utilisées pour le dimensionnement de la protection du pied de talus étant directement liées à la hauteur de la houle, et compte tenu de l'avis ci-dessus (4.a), la souille et l'enrochement devront **a priori** faire l'objet **d'un redimensionnement**.

Le choix d'une **butée de pied** (cas 1) **est pertinent** et nécessaire pour protéger la carapace des éventuels effets de fond (à vérifier dans le cas d'eaux peu profondes). L'analyse multicritère qui distingue **l'alternative 2** est quant à elle bien **adaptée aux enjeux du projet**.

2.1.3. Sur les aspects environnement/pollution

Les choix techniques concernant le réaménagement des parcelles A, B, C selon le projet immobilier et urbanistique présenté dans le rapport ABO ERG ENVIRONNEMENT n°47777, 17/09/2021 et leur compatibilité avec l'état des sols et des milieux, **sont globalement valides et conformes**.

Toutefois, à la lecture du document transmis pour avis, le BRGM a identifié quelques points et incertitudes constituant des **défauts de lisibilité et d'explications fragilisant certains argumentaires** qui sont détaillés ci-après.

De plus dans ce volet environnemental, une attention particulière est accordée à l'influence du site du crassier de la parcelle B sur les eaux souterraines, dont la présence ou l'absence influe sur le choix de la typologie – **étanche ou perméable** – de la future couverture du crassier reprofilé.

3. Avis final du BRGM après réponses

3.1. AVIS FINAL SUR LA STABILITE ET LE DISPOSITIF DE CONFINEMENT DU CRASSIER PARCELLE B

Ginkgo et son conseil ERG ENVIRONNEMENT ont remis deux notes en réponse au 1^{er} avis du BRGM ; voir la réponse sur la stabilité en annexe D et les précisions sur le dispositif de confinement annexe E.

Avis final du BRGM concernant la stabilité du crassier :

Les calculs ont été réalisés selon une **méthode adaptée**, et avec un outil (GEOSTAB) usuel pour ce type d'étude. Ils aboutissent à la conclusion que, quelle que soit la situation de calcul (stabilité locale ou globale, en travaux ou définitive), la stabilité du profil étudié est acquise.

Pour le profil étudié, et en l'état actuel du projet, ces conclusions sont globalement **pertinentes, et la stabilité semble effectivement acquise à court et long termes.**

Toutefois, l'étude de stabilité ne porte que sur un unique profil du seul talus nord-ouest. Or, le projet prévoit également un reprofilage en remblais du talus nord. Les remblais seront édifiés en terre renforcée. Des bâtiments étant présents au pied du talus nord, il est essentiel de s'assurer de la bonne stabilité de cet ouvrage dès la phase de conception, **pour plusieurs profils pénalisants.**

De même, il conviendrait de compléter l'étude de stabilité du talus nord par **des calculs sur au-moins deux profils complémentaires.** La géométrie du massif (y compris couches internes) et les paramètres de cisaillement des matériaux demandent également à être **affinés lors de la phase de conception.**

Il semblerait de plus pertinent, compte tenu de la finalité des ouvrages et de la situation sismique du site, de **réaliser des calculs en tenant compte des conditions sismiques, au-moins à titre de vérification.**

Enfin, le dispositif de couverture n'est pas abordé dans l'étude de stabilité. S'il n'est pas, a priori de nature à déstabiliser le massif, ce dispositif est composé de plusieurs couches, dont certaines très peu « frottantes » (géotextile). La **stabilité propre de la couverture** en talus (glissement plan) doit donc être **évaluée en phase de conception**, et peut impliquer des modifications de la géométrie des talus (pentes, longueurs de rampants) afin d'être acquise.

Avis final du BRGM concernant le dispositif de confinement du crassier :

A ce stade du projet, et compte tenu des précisions données en réponse et de l'analyse du volet pollution du PCT (voir paragraphe 3.3.3 du présent rapport), le BRGM considère comme **pertinent le dispositif de confinement envisagé** par Ginkgo sur le crassier de la parcelle B. Il s'agit d'un dispositif mixte, favorisant l'étanchéité sur les zones horizontales ou sub-horizontales et le ruissellement sur les zones pentues.

Le BRGM tient à attirer l'attention de Ginkgo sur les points suivants :

- la phase PRO devra comprendre un dimensionnement du géosynthétique accroche-terre et des ancrages des géosynthétiques ;

- le dispositif de gestion des eaux météoriques des surfaces horizontales (esplanade et bermes) devra garantir, d'une part, l'absence d'infiltrations vers ces ancrages et, d'autre part, empêcher les eaux de l'esplanade et des bermes de ruisseler sur les talus (pentes vers l'intérieur de l'ouvrage) afin de limiter l'érosion ;
- un suivi et un entretien régulier devra être mis en place afin de s'assurer, d'une part, de la bonne tenue de la terre végétale en talus et, d'autre part, de l'absence de stagnations d'eaux au droit des ancrages, notamment à la jonction berme/talus.

3.2. AVIS FINAL SUR L'OUVRAGE DE PROTECTION EN PIED DE CRASSIER

Les réponses relatives aux incertitudes et obsolescence de valeurs relevés lors du 1er avis BRGM ont été apportées par OCEANIDE (cf. annexe F).

Les éléments dimensionnant sont validés à ce stade d'étude d'avant-projet (AVP).

Le choix d'une **butée de pied** (cas 1) **est pertinent** et nécessaire pour protéger la carapace des éventuels effets de fond (à vérifier dans le cas d'eaux peu profondes). L'analyse multicritère qui distingue l'**alternative 2** est quant à elle bien **adaptée aux enjeux du projet**.

De même que pour la carapace, la butée de pied devra être stable, c'est pourquoi il faudra s'assurer de la stabilité de la fondation afin de limiter les potentiels tassements et utiliser le même type d'enrochement que la carapace. En pratique, il est toutefois préférable de réduire la taille des enrochements. Cependant, il ne faut pas couvrir la butée d'un enrochement constitué de blocs trop petits pour éviter d'éventuels colmatages, inclusions à l'intérieur de la carapace voire même, dans le cas extrême, un arrachement de la butée sous l'action de la houle si son poids est trop faible.

L'approche d'Hudson est adaptée à l'étude, puisqu'elle peut être utilisée pour le dimensionnement des carapaces, qui est l'élément le plus sensible à l'attaque de la houle, en eau peu profonde et pour une houle déferlante. Toutefois, il existe une formule empirique pour évaluer la masse médiane minimum des blocs de la butée de pied qui est présentée dans le livre Ouvrages de protection contre la houle (Daniel Caminade - Edition Techniques de l'ingénieur traité construction 1995). Afin de calculer cette masse, il faut estimer la hauteur d'eau au-dessus de la butée. A l'aide de données répertoriées dans le Rock Manual (CIRIA - *Manual for the use of rock in hydraulic engineering or Rock Manual* 1995), on remarque que plus la butée est élevée, moins la stabilité est assurée : on se rapproche alors d'un dimensionnement de berme. En revanche, lorsque la butée est proche du fond, la stabilité est assurée. Les mêmes formules que pour la carapace devront être utilisées pour déterminer la largeur minimale de la butée, le diamètre médian nominal des blocs et le nombre de blocs par m². Le rapport de pré-dimensionnement devra répondre au choix de la méthode de calcul utilisée pour le dimensionnement de la butée de pied.

3.3. AVIS FINAL SUR LES ASPECTS ENVIRONNEMENT/POLLUTION

Les **réponses** relatives aux défauts de lisibilité et d'explications fragilisant certains argumentaires relevés lors du premier avis BRGM sur le volet SSP (Sites et Sols Pollués) **ont été apportées** le 24/03/2022 par ERG ENVIRONNEMENT dans le document présenté ici en annexe G.

De plus, la DREAL PACA a demandé en réunion du 24 mars 2022 que le BRGM se prononce plus spécifiquement sur les mesures de gestion visant la cheminée rampante et l'usage de la phytoremédiation pour gérer les pollutions métalliques diffuses hors emprise du réaménagement.

Cheminée rampante :

En l'absence d'aménagement projeté au droit des structures historiques enterrées (cheminée) sur les parcelles C et A, la mesure de gestion procédant par le comblement n'a pas été retenue par ERG ENVIRONNEMENT. Les mesures de gestion retenues sont de deux ordres :

- Solutions classiques de mise en sécurité de l'ouvrage sur son linéaire aérien. Il est prévu d'en interdire le libre accès ; les entrées seront condamnées à l'aide de grilles en fer. Afin de confiner l'intérieur de la structure, les trous et dégradations ponctuelles de la voûte seront obturés manuellement à l'aide de béton ;
- Purge par démolition mécanique des enduits et mortiers pollués et leur élimination en filière autorisée ou stabilisation physique au sol en grave ciment. Cette purge des encroutements sur la portion aérienne de 60 m de long nécessitera un temps de trois mois de travaux pour un coût de travaux estimé de 225 à 255 k€ HT.

Cette approche permet de supprimer d'éventuels usages opportunistes des structures enterrées et toutes possibilités d'exposition et de contact avec des matériaux pollués initialement situés à l'intrados de la cheminée. **Sur les plans environnementaux, cette approche est pertinente et proportionnée aux enjeux du réaménagement du site de La Madrague, parcelles A et C. Le BRGM donne un avis favorable.**

Phytoremédiation :

Le projet de réaménagement s'applique dans sa nature et sa conception à respecter l'objectif « zéro artificialisation nette ». C'est dans ce cadre qu'une solution de phytoremédiation a été retenue dans le PG puis le PCT, pour la gestion des pollutions diffuses en éléments traces métalliques et métalloïdes (ETMM) dans les sols de surface au droit de la parcelle A (hors projet de réaménagement). Elle s'appuie sur le principe de la phytostabilisation. Cette gestion s'inscrit dans une cohérence avec les mesures de gestion actuellement en cours sur l'emprise du Parc des Calanques, en lien avec les activités historiques du site voisin de l'Escalette. Le projet exposé par ERG est motivé par des objectifs de restauration écologique visant à la fois la conservation de la biodiversité locale, la réduction des transferts des ETMM via les racines, la refonctionnalisation des sols. Cette solution a été retenue au PCT avec la clôture pérenne de la zone concernée (pour en interdire l'accès), à vocation de barrière végétale mais également de jardin botanique pédagogique. Sa mise en œuvre opérationnelle s'appuiera sur des études et recherches menées en concertation avec Aix Marseille Université et la Ville de Marseille. Cette opération est prévue sur une période de septembre 2022 à août 2025 pour un montant pour le Maître d'Ouvrage de 230 k€ HT. Les autres solutions techniques permettant de gérer à grande échelle des pollutions métalliques diffuses (faibles teneurs sur une aire géographique étendue) apparaissent économiquement réductrices et contre-productives sur les plans environnement et biodiversité (décapage des sols de surface et orientation des terres vers des filières appropriées). La technologie par phytoremédiation (et en particulier la phytostabilisation et la phytoextraction) ont fait leurs preuves dans la gestion des pollutions par les ETMM des sols de surface de site d'extraction de métaux et des sites industriels de raffinage et transformation. **Le BRGM donne un avis favorable à ce choix technique exposé par ERG ENVIRONNEMENT dans son PCT.**

4. Conclusion par rapport à la demande de la DREAL

La DREAL PACA, par le courrier du 9 mars 2021 (D-2021-MRS-086) adressé au gérant de la SOCIETE FRANÇAISE DES PRODUITS TARTRIQUES MANTE SFPTM (représenté par le fond de dépollution Ginkgo), à soulever les points spécifiques qui sont repris ci-dessous avec les réponses apportées par la TE :

- Se prononcer sur la pertinence des résultats et la validité des schémas conceptuels du Plan de Gestion au regard des aménagements et travaux de réhabilitation envisagés :
 - Les mesures de gestion proposées par le pétitionnaire sont valides, conformes, et proportionnées aux enjeux au regard des usages futurs (projet de réaménagement) et de l'état des milieux (schéma conceptuel) ; le BRGM juge le degré de connaissance de l'état des milieux suffisant pour fiabiliser les mesures de gestion proposées (en phase chantier et pour les usages futurs).
- Se prononcer sur l'adéquation entre les mesures de gestion proposées et la situation sanitaire ou environnementale :
 - L'analyse critique du PCT et les réponses apportées lors de cette TE (voir chapitre 3) relève l'adéquation entre les mesures de gestion envisagées et les enjeux au stade d'étude avant-projet (AVP).
- Réaliser une analyse critique concernant les mesures de gestion prévues au niveau du crassier de la parcelle B (notamment le positionnement de l'ouvrage de confortement), des ouvrages historiques, des pollutions ETM (Eléments Trace Métalliques) diffuses (recouvrement de 50 cm et filet avertisseur notamment) et du sud de la parcelle A (phytostabilisation et phytoremédiation) :
 - L'analyse critique du PCT et les réponses apportées lors de cette TE (voir chapitre 3) relève l'adéquation entre les mesures de gestion envisagées et les enjeux au stade d'étude avant-projet (AVP).
- Emettre un avis sur la pérennité et les maintenances obligatoires des ouvrages envisagés :
 - Le BRGM donne un avis favorable aux dispositifs de maintenance proposés pour garantir la pérennité donnée pour ce type d'ouvrages projetés sous réserve des mises en œuvre préconisées selon les règles de l'art.
- Emettre un avis sur l'efficacité des mesures de gestion prévues pour couper les vecteurs de diffusion vers l'environnement et les personnes :
 - L'analyse critique du PCT et les réponses apportées lors de cette TE (voir chapitre 3) relève l'adéquation entre les mesures de gestion envisagées et les enjeux au stade d'étude avant-projet (AVP).

- Réaliser une analyse critique spécifique « poussières » sur l'étude menée par le porteur de projet et les mesures de gestion de ces « poussières » envisagées en phase chantier :
 - Les études relatives aux envols de poussières en phase chantier et leurs impacts potentiels sur les parcelles riveraines attenantes au projet de réaménagement sont adaptées aux enjeux, à la problématique posée et sont valides et conformes.
- Réaliser une analyse critique des EQRS en phase chantier et après travaux pour ce qui concerne les sources, polluants et aires de diffusion retenus :
 - L'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaire démontre la compatibilité de l'état des milieux avec les usages, en phase chantier comme après les travaux. Cette approche, volontairement conservatrice et sécuritaire, est valide et conforme.
- Compte tenu des dernières évolutions du projet de réhabilitation, se positionner sur la nécessité d'amender les Plans de Gestion et de Conception des Travaux :
 - Le Plan de Gestion (PG) et le Plan de Conception des Travaux (PCT) proposés sont valides et conformes au regard de la connaissance de l'état des milieux et du réaménagement projetés (usages futurs). PG et PCT n'appellent à ce stade ni amendements, ni compléments d'études.
- Compte tenu des dernières évolutions du projet de réhabilitation, se prononcer sur les diagnostics de la qualité des milieux et si oui sur quels aspects :
 - Le degré de connaissance de l'état des milieux est jugé proportionné aux enjeux et suffisant pour fiabiliser les mesures de gestion proposés (en phase chantier et pour les usages futurs) décrites dans le PG et le PCT.
- Se prononcer sur la pertinence des scénarios retenus, des pondérations et notations définies ainsi que le Bilan Coûts/Avantages (BCA). Il se prononcera par ailleurs sur la nécessité de définir des scénarios spécifiques et un BCA dédié au crassier présent sur la parcelle B :
 - Les scénarios retenus par le pétitionnaire s'avèrent pertinents et le BCA transparent, valide et conforme (sur les critères de notation et les pondérations employées).
- Se prononcer sur la pertinence de la surveillance environnementale prévue en cours et post chantier :
 - Les mesures et programmes de surveillance environnemental syn- et post-travaux sont pertinents, adaptés au contexte et valides et conformes.