

Contribution à la connaissance de l'aléa & évaluation du risque sismique
dans le secteur du Canal de Marseille

CONVENTION DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT PARTAGÉS

ENTRE,

La Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole, dont l'adresse est Les Docks, Atrium 10.7, 10 place Joliette BP48014 13567 Marseille Cedex, représentée par son Président en exercice, Monsieur Eugène CASELLI, dûment autorisé par la délibération XXXXX du XX XXXX 20XX du Conseil de la Communauté Urbaine,

Ci-après désigné par MPM

D'une part,

ET

Le BRGM, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, établissement public de recherche et d'expertise, EPIC, dont le siège se trouve Tour Mirabeau, 39-43 Quai André Citroën, 75379 PARIS cedex 15, représenté par David DESSANDIER, Directeur du Service Géologique Régional PACA, ayant tous pouvoirs à cet effet,

Ci-après désigné par le BRGM

D'autre part,

MPM et le BRGM étant ci-après désignés individuellement et/ou collectivement par la (les) « PARTIE(S) ».

VU

Le Code des Collectivités Territoriales ;

La loi n° 89-653 du 29 juillet 1982 portant réforme de la planification ;

Le décret n° 59-1205 du 23 octobre 1959 modifié relatif à l'organisation administrative et financière du Bureau de Recherches Géologiques et Minières ;

Le décret n°67-12202 du 22 décembre 1967 portant regroupement du Service de la Carte Géologique et du BRGM ;

Le Contrat quadriennal Etat-BRGM 2009-2012 approuvé par le Conseil d'Administration du BRGM le 7 mai 2009 ;

RAPPEL

A – La Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole (MPM) a en charge la compétence eau sur son territoire. Cette compétence consiste à capter des eaux destinées à la production d'eau potable, à les transférer vers des usines de potabilisation, à les traiter puis à redistribuer l'eau potable à chaque consommateur. A ce titre, MPM doit s'assurer de la sécurisation et de la pérennisation de la production d'eau potable sur son territoire à travers les ouvrages de transport et de distribution de l'eau. Dans le cadre de cette compétence, MPM souhaite

réaliser une investigation complète concernant le risque sismique sur le Canal de Marseille et les ouvrages le constituant.

B- Le BRGM est un établissement public à caractère industriel et commercial qui exerce une mission de Service Public, laquelle regroupe des actions d'observation et d'expertise en appui aux politiques publiques, de formation et de transfert des connaissances (Décret 59-1205 du 23 octobre 1959). Le BRGM assure notamment la fonction de Service géologique national, visant à développer les connaissances dans les divers domaines relatifs aux sciences de la terre (dont celui du risque sismique). Dans ce cadre, il intervient notamment en appui scientifique et technique des Services de l'Etat et des collectivités territoriales.

C – MPM et le BRGM souhaitent mener conjointement un programme de Recherche & Développement en vue de l'amélioration de l'état des connaissances relatives de l'aléa sismique et du risque associé auquel est exposé le secteur du Canal de Marseille.

Ils décident par la présente convention, de fixer les termes et conditions par lesquels ils s'associent afin de réaliser ce programme commun.

CECI ETANT RAPPELE, IL EST ARRÊTE ET CONVENU CE QUI SUIV

ARTICLE 1. OBJET

La présente convention a pour objet de définir les termes et conditions par lesquels le BRGM s'engage à réaliser pour son compte et pour le compte de MPM un programme portant sur l'amélioration de la connaissance de l'aléa sismique et le risque associé sur le secteur du Canal de Marseille.

Les actions seront réalisées conjointement par le Service Géologique Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur du BRGM basé à Marseille, avec l'appui technique de l'unité « Risque sismique » du BRGM, basée à Orléans, et par la Direction de l'Eau et de l'Assainissement de MPM.

Le programme des actions est décrit à l'article 4.1 ci-après (phases 1 et 2). Seule la Phase 1 fait l'objet de la présente convention. La Phase 2 fera ultérieurement l'objet de l'établissement d'une seconde convention.

ARTICLE 2. PRISE D'EFFET, DUREE

2.1. PRISE D'EFFET

La présente convention entre en vigueur à compter de sa signature par la dernière des PARTIES.

2.2. DUREE

La durée de la présente Convention est de 8 mois à compter de sa date de prise d'effet, pour les actions prévues en phase 1.

ARTICLE 3. DOCUMENTS CONTRACTUELS

Les PARTIES attestent avoir reçu chacune des pièces ci-après, classées par ordre de préséance :

- A - La présente convention (8 pages)
- B - Annexe I – Proposition technique et financière (12 pages) validées par les PARTIES.

ARTICLE 4. OBLIGATIONS DU BRGM

4.1. PROGRAMME D'ACTION

Le BRGM s'engage à réaliser le programme visant à améliorer l'état des connaissances de l'aléa sismique et d'évaluer le risque associé dans le secteur du Canal de Marseille selon les conditions détaillées dans l'Annexe I visée à l'Article 3.

Le Programme est scindé en deux phases successives :

- Phase 1 : Examen et synthèse des données bibliographiques existantes et évaluation de l'aléa sismique régional ainsi que des effets de site topographiques et du phénomène de liquéfaction sur un périmètre d'étude correspondant aux parcelles sur lesquelles sont implantés le Canal de Marseille et ses ouvrages. Cette phase 1 inclura également la reconnaissance et la prise en compte des failles actives dans le secteur d'étude.
- Phase 2 : Prise en compte des effets de site lithologiques sur le périmètre considéré et étude de la stabilité et de la vulnérabilité au risque sismique d'une liste d'ouvrages détaillée dans l'Annexe I visée à l'Article 3.

Seule la phase 1 est dimensionnée techniquement et financièrement dans l'Annexe I. La phase 2 également décrite dans l'Annexe I ne fait l'objet d'aucun chiffrage à ce stade, son dimensionnement définitif étant fonction des résultats de la première phase.

Les conditions de réalisation de la phase 2 seront discutées entre les PARTIES en fin de phase 1 et devront faire l'objet de l'établissement d'une seconde convention.

4.2. DONNEES DE BASE

Pour mener à bien le Programme, le BRGM utilisera l'ensemble des données en sa possession en qualité de Service Géologique National, ainsi que celles mises à disposition par MPM selon les termes détaillés dans l'article 5 infra. Le BRGM s'engage à limiter son usage des données fournies par MPM au cadre du présent projet.

4.3. PRODUITS LIVRES

Un rapport de synthèse de l'ensemble des travaux réalisés par le BRGM durant les 8 mois d'exécution de la phase 1, sera livré à MPM. Son contenu est détaillé dans l'Annexe I visée à l'Article 3.

4.4. MODALITES D'EXECUTION

Il est rappelé que les résultats du Programme sont issus de l'exploitation de sources d'informations ponctuelles et non systématiques (archives textuelles, plans, banques de données...), en fonction de l'état de la connaissance à un moment donné.

Aussi, le BRGM est soumis de convention expresse à une obligation de moyens étant tenu au seul respect du Cahier des Charges et des règles de l'art. Le BRGM ne saurait donc être tenu pour responsable de toute inexactitude, erreur ou omission dans le contenu des documents remis en exécution de la présente.

MPM s'engage à informer de cette limite de responsabilité les tiers sous-utilisateurs éventuels des informations contenues dans les documents et se portera garant du BRGM en cas de recours exercé par un tiers sous-utilisateur et fondé sur une inexactitude, erreur ou omission dans le contenu des documents, sous réserve de l'absence de faute prouvée du BRGM.

ARTICLE 5. OBLIGATIONS DE MPM

MPM s'engage à communiquer au BRGM, les données, informations et études (plans des ouvrages et rapports d'investigation géotechnique notamment) en sa possession, utiles à la réalisation du Programme visé à l'article 4.1 supra.

En outre, MPM fournira ou organisera l'accès aux documents détenus par la Société des Eaux de Marseille (SEM) en charge de l'exploitation du Canal de Marseille.

ARTICLE 6. FINANCEMENT DU PROGRAMME

Le financement du Programme se limite à sa phase 1. Les conditions de réalisation de la phase 2 dont son financement, seront discutées entre les Parties en fin de phase 1 et devront faire l'objet de l'établissement d'une seconde convention.

Le montant total de la phase 1 est de soixante neuf mille cinq cent euros hors taxes (69 500 € HT). Le tableau ci-après présente la répartition par tache de ce montant total.

Le BRGM prendra à sa charge sur sa dotation de Service Public 25% de ce montant soient dix-sept mille trois cent soixante quinze euros hors taxes (17 375 € HT).

MPM prendra à sa charge les 75% restant soient cinquante deux mille cent vingt cinq euros hors taxes (52 125 € HT).

ARTICLE 7. FACTURATION

Le BRGM étant tenu de réaliser le programme, la part du prix lui revenant ne donnera lieu à aucune facturation.

Il sera facturé à MPM, la part du montant lui revenant visée à l'article 6 supra de 52 125 € HT (62 341.5 € TTC) de la manière suivante :

- 30% à la date de signature de la présente convention ;
- 70% à la date de remise des produits livrés visés à l'article 4.3 supra.

Les factures émises par le BRGM seront payées sous 30 jours à compter de la réception, par chèque ou par virement à l'adresse suivante :

SOCIETE GENERALE
12, rue de la République
BP 1639
45006 ORLEANS CEDEX FRANCE Code Banque 3 0003
Code Guichet : 01540
Compte N° 000 2 00 27 669
Clé : RIB 86

ARTICLE 8. RESPONSABLES DU SUIVI DU PROGRAMME & NOTIFICATION

Sont désignés comme responsables du suivi du Programme :

Pour le BRGM :
Monsieur David DESSANDIER
Directeur Régional PACA
BRGM
117 Avenue de Luminy
B.P. 168
13276 MARSEILLE CEDEX 09
Tel : +33 (0)4 91 17 74 76
Pour MPM :
Monsieur Eugène CASELLI
Président de la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole
Les Docks, Atrium 10.7,

10 place Joliette
BP48014
13567 Marseille Cedex

Toute notification relative à l'interprétation et/ou à l'exécution de la présente convention se fera aux adresses ci-dessus.

ARTICLE 9 – PROPRIETE INTELLECTUELLE

9.1. DROITS ET OBLIGATION DE L'AUTEUR

9.1.1. Droits de l'Auteur

- a) Le BRGM est l'Auteur des documents réalisés en exécution de la présente Convention, et notamment ceux visés en article 4.3 supra.
- b) Le BRGM est titulaire des droits visés aux articles L. 111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle, à savoir des droits patrimoniaux et moraux.

9.1.2. Garantie

- a) Le BRGM garantit qu'il est titulaire des droits de propriété intellectuelle nécessaires à l'exécution de la présente Convention.
- b) Le BRGM s'engage à ne pas évincer MPM des droits de propriété intellectuelle transférés ou mis à disposition et se porte garant de tous les troubles de fait ou de droit qui pourraient empêcher leur pleine et totale utilisation.

9.2. CESSION DES DROITS DE PROPRIETE INTELLECTUELLE

9.2.1. Copropriété des droits patrimoniaux

Le BRGM cède à MPM les droits patrimoniaux qu'il détient sur les documents visés au 4.3 supra de sorte qu'à l'issue de l'exécution de la présente Convention, les PARTIES seront copropriétaires de ces documents et MPM pourra notamment, sans l'autorisation du BRGM :

- Reproduire les documents sur tous supports connus et inconnus, quel que soit le nombre d'exemplaires.
- Représenter pour tout type d'usage les documents.
- Adapter, par perfectionnements, corrections, simplifications, adjonctions, intégration à des systèmes préexistants ou à créer, transcription dans un autre langage informatique ou dans une autre langue et création d'œuvres dérivées pour ses besoins propres.

Cette cession est faite à titre gracieux pour le monde entier et pour une durée égale à la durée des droits du BRGM.

9.2.2. Droits moraux du BRGM

Par application des articles L. 121-1 et suivants du Code de la Propriété intellectuelle, MPM s'engage à respecter les droits moraux du BRGM sur les documents visés au 4.3 supra et notamment s'engage à :

- Ne pas porter atteinte à l'intégrité des documents de sorte qu'il n'y ait ni altération ni déformation des données et interprétations faites par le BRGM ;
- Citer le BRGM en qualité d'Auteur, sur chacune des reproductions ou représentations.

ARTICLE 10. DIFFUSION DES CONNAISSANCES - CONFIDENTIALITE

Compte-tenu du caractère sensible de certaines données fournies par MPM et de certains résultats attendus du Programme, les PARTIES conviennent de restreindre la diffusion des produits livrés visés à l'article 4.3 supra (rapport de synthèse) à leur strict usage interne.

Etant entendu qu'il est tenu dans le cadre de ses missions de service public de rendre accessible les résultats de ses recherches, le BRGM rédigera parallèlement au rapport de synthèse à strict usage interne, un rapport scientifique pour diffusion publique. Ce document fera expressément l'objet d'une validation par MPM avant sa diffusion à l'issue de l'achèvement de la Phase 1 du Programme.

ARTICLE 11. RESPONSABILITE / ASSURANCES

11.1. RESPONSABILITE

Chaque PARTIE est responsable, tant pendant l'exécution de la présente Convention, des prestations et/ou travaux qu'après leur achèvement et/ou leur réception, de tous dommages qu'elle-même, son personnel, son matériel, fournisseurs et/ou prestataires de service, pourraient causer à l'autre PARTIE et/ou à tout autre tiers.

Le BRGM est responsable à l'égard de MPM au titre du présent article, sans que son engagement pécuniaire ne dépasse le montant de sa contribution financière tel qu'indiqué à l'article 6. La présente limite ne pourra être opposée à MPM en cas de faute lourde ou de mauvaise foi du BRGM.

11.2. ASSURANCES

Le BRGM souscrira toutes assurances nécessaires à la garantie :

- Des conséquences pécuniaires découlant des responsabilités indiquées ci-dessus.
- Des dommages matériels ainsi que leurs conséquences immatérielles subies par les biens meubles ou immeubles dont elle est propriétaire, locataire ou gardienne, à quelque titre que ce soit.

ARTICLE 12. RESILIATION ANTICIPEE

Pour l'exécution de la présente Convention, la défaillance s'entend par tout manquement à une obligation substantielle, et lorsqu'il n'aura pas été remédié à ce manquement 15 jours après notification faite à la PARTIE défaillante, par lettre recommandée avec accusé de réception. En cas de défaillance, la PARTIE ayant notifié la défaillance pourra résilier la présente Convention de plein droit, aux torts exclusifs de la PARTIE défaillante.

ARTICLE 13. DROIT APPLICABLE ET REGLEMENT DES LITIGES

La présente Convention est régie par la loi française. En cas d'impossibilité pour les PARTIES de parvenir à un accord amiable dans un délai de 3 semaines suivant notification, le différend sera soumis aux tribunaux compétents du ressort du tribunal administratif de Marseille.

Fait à Marseille en (2) deux exemplaires, le

Pour MPM,
Le Président de la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole

Eugène CASELLI

Pour le BRGM,
Le Directeur du Service Géologique Régional Provence-Alpes-Côte-d'Azur

David DESSANDIER

Contribution à la connaissance de l'aléa & évaluation du risque sismique
dans le secteur du Canal de Marseille

ANNEXE I - PROPOSITION TECHNIQUE ET FINANCIERE

1. Contexte et objectifs

Marseille Provence Métropole (MPM) dispose de la totale compétence eau sur son territoire (18 communes sur une superficie de plus de 60 km²) ainsi que d'une compétence partielle sur 5 communes limitrophes (Aubagne, la Penne-sur-Huveaune, les Pennes-Mirabeau, Martigues et Vitrolles).

A l'heure actuelle, l'alimentation en eau potable est essentiellement assurée par le Canal de Marseille, qui achemine l'eau depuis la Durance, et par le canal de Provence depuis une trentaine d'années, qui apporte l'eau issue du Verdon. Le Canal de Marseille est composé de trois éléments :

- la Branche Mère Amont et ses deux bassins de décantations (Saint-Christophe et Réaltort) ;
- la Branche Mère aval ;
- les Dérivations.

Les types d'ouvrages sont spécifiques et fonction des reliefs rencontrés ou aux aménagements urbains ou de sécurité. Il peuvent être de plusieurs sortes : aqueducs, souterrains ou conduites. Le linéaire cumulé total de l'ensemble des ouvrages constituant le Canal de Marseille est de 170,230 km (source MPM).

L'ensemble de ces ouvrages est situé dans une zone présentant un aléa sismique significatif à l'échelle du territoire métropolitain. Le département des Bouches-du-Rhône est notamment traversé par plusieurs systèmes de failles actives (faille de la Trévaresse, système de failles d'Aix-Eguilles et de la Fare, de Salon-Cavaillon, Aix-Moyenne Durance) à l'origine de séismes passés de forte intensité (cf. Illustration 1).

La Provence a en effet connu le séisme le plus destructeur survenu en France au XXe siècle (séisme de Lambesc du 11 juin 1909, d'intensité épicentrale VIII-IX). Six séismes d'intensité épicentrale VI MSK (25 mars 1783, 5 février 1803, 12 décembre 1846, 10 juillet 1909, 1er mai 1932, 19 février 1984) et un séisme d'intensité épicentrale VI-VII MSK (22 septembre 1909) s'y sont également produits.

Dans ce contexte, MPM s'interroge sur l'exposition au risque sismique des installations relatives au Canal de Marseille. Parallèlement, dans le cadre de sa mission de service public, le BRGM souhaite améliorer sa connaissance du risque sismique sur ce territoire à enjeux.

Les deux parties se proposent donc précisément de réaliser un programme visant à évaluer l'aléa sismique au niveau du secteur du Canal de Marseille, et de déterminer la vulnérabilité aux séismes de certains ouvrages.

Illustration 1 : Localisation du Canal de Marseille (en rouge) et des séismes historiques situés à proximité (intensités supérieures à V-VI). Source SisFrance/BRGM-EDF-IRSN (version 2009).

Ce programme comprendra deux phases successives :

- Phase 1 : Examen et synthèse des données bibliographiques existantes et évaluation de l'aléa sismique régional ainsi que des effets de site topographiques et du phénomène de liquéfaction sur un périmètre d'étude correspondant aux parcelles sur lesquelles sont implantés le Canal de Marseille et ses ouvrages. Cette phase 1 inclura également la reconnaissance et la prise en compte des failles actives dans le secteur d'étude.
- Phase 2 : Prise en compte des effets de site lithologiques sur le périmètre considéré et étude de la stabilité et de la vulnérabilité au risque sismique d'une liste prévisionnelle d'ouvrages, détaillée dans le paragraphe 3 ci-dessous.

Seule la phase 1 est dimensionnée techniquement et financièrement ci-après. La phase 2 est néanmoins décrite également, mais ne fait l'objet d'aucun chiffrage à ce stade, son dimensionnement définitif étant fonction des résultats dont on ne peut présager de la première phase.

2. Contenu technique de la Phase 1

2.1. Inventaires et analyse des données existantes

Il s'agira dans un premier temps de collecter et de synthétiser l'ensemble des données existantes sur la zone d'étude. Les données recherchées sont les suivantes :

- géologiques ;
- géophysiques (mesure de la vitesse des ondes de cisaillement Vs, essais de type crosshole ou downhole/uphole, mesures de bruit de fond...)
- hydrogéologiques (pour connaître les hauteurs de nappe phréatique nécessaires à l'évaluation des potentialités de liquéfaction) ;
- géotechniques, en particulier tous les sondages permettant de caractériser mécaniquement les différentes formations : Pression limite Pl au pressiomètre Ménard, résistance de pointe Qc au pénétromètre statique, résistance dynamique Qd au pénétromètre dynamique, nombre de coups NSPT au Standard Penetration Test. En ce qui concerne les essais au laboratoire, seules sont intéressantes les mesures de compressibilité à l'œdomètre Cc, de cohésion non drainées C_{uu}, de résistance à la compression simple, de granulométrie, de sédimentométrie, de densité relative et de poids volumique humide. En particulier, des maquettes géotechniques seront nécessaires pour la réalisation de l'étude de stabilité du canal sous séisme ;
- sismiques : enregistrements accélérométriques, calculs de spectres tenant compte des conditions de site avec caractéristiques dynamiques retenues.

Un premier inventaire des données disponibles a été réalisé par MPM auprès de la Société des Eaux de Marseille. Celui-ci a permis de dresser sur le périmètre concerné (tracé du Canal de Marseille) :

- une liste des ouvrages : localisation et caractéristiques (dimensions, topographie, types de structures, type de fondations) ;
- une liste des données géologiques et études géotechniques disponibles dans l'environnement des ouvrages ;
- l'intitulé des documents et plans disponibles (et formats disponibles).

L'ensemble de ces données sera consulté et utilisé.

Le BRGM utilisera également la Banque des Données du Sous Sol (BSS) qu'il gère, et intégrera également toutes les études complémentaires disponibles sur la zone (études BRGM, thèses et articles scientifiques...). Cette recherche bénéficiera de l'inventaire réalisé par MPM des études en sa possession.

En complément de cette phase d'inventaire, un travail d'organisation des données est également nécessaire, ainsi qu'un repositionnement sous SIG des ouvrages visés par la présente étude. En particulier, une synthèse géologique sera réalisée couvrant l'ensemble de la zone d'étude.

2.2. Evaluation de l'aléa sismique régional

Le niveau d'aléa sismique régional à retenir, traduit par le mouvement sismique défini au rocher est essentiel pour évaluer les mouvements sismiques tenant compte des conditions de site. En effet, les effets de site lithologiques modifient le mouvement sismique défini au rocher (aléa sismique régional) par les caractéristiques géomécaniques des sites. Par conséquent, la première étape du travail consiste à définir le niveau d'aléa sismique à retenir pour le mouvement sismique de référence au rocher. Selon la classification réglementaire des ouvrages vis-à-vis du risque sismique : ouvrages à risque normal ou ouvrages à risque spécial (articles R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement), deux types d'approches seront menées :

APPROCHE FORFAITAIRE

L'approche forfaitaire est proposée pour tous les ouvrages classés en risque normal. Elle consiste d'abord à repérer la zone sismique dans laquelle se situe l'ouvrage selon le zonage sismique de la France défini aux articles R563-1 à R-563-8 du Code de l'Environnement.

Pour les ouvrages se situant au « rocher affleurant », si ce rocher est « sain », les règles parasismiques actuellement en vigueur (PS 92) seront utilisées pour déterminer le spectre réglementaire à utiliser pour chaque tronçon du tracé, selon la zone de sismicité. Une comparaison avec les spectres au rocher proposés par le Groupe d'Etudes et de Proposition pour la Prévention du risque sismique (GEPP) dans le cadre de la future réglementation parasismique, ainsi qu'avec les spectres obtenus par l'application des règles Eurocodes 8 (EC8) sera effectuée.

APPROCHE DETERMINISTE

L'approche déterministe est proposée pour les barrages de Saint-Christophe et du Réaltort.

Cette méthodologie consiste dans un premier temps à identifier les sources sismiques, par une analyse sismotectonique. Cette partie bénéficiera en particulier des résultats des travaux effectués par le BRGM (Blès et al., 1998) actualisés suite aux travaux de Baroux et al. (2003) et Terrier (2006). D'autre part, cette analyse sera complétée par l'étude de la faille active de la Fare proposée dans la présente proposition technique.

Cette première étape débouche sur la définition des niveaux du SMHV (séisme maximum historiquement vraisemblable) et du SMS (séisme majoré de sécurité) à retenir sur le site. En ce qui concerne les deux barrages identifiés précédemment, et conformément aux recommandations du groupe de travail sur la classification des barrages vis-à-vis des séismes, seul le SMHV sera retenu.

Le calcul des mouvements sismiques de référence, sous la forme de spectres de réponse élastiques utilisables pour les calculs de comportement de l'ouvrage sous sollicitation sismique, est ensuite entrepris pour une condition standard de sol (rocher) en utilisant des méthodes empirico-statistiques. Plusieurs relations récentes appliquées au contexte sismotectonique régional seront utilisées. Elles utilisent la compilation d'accélérogrammes réels obtenus pour des situations représentatives du (ou des) SMHV.

2.3. Evaluation de l'aléa sismique local

Afin d'évaluer le plus précisément possible l'aléa sismique local, il est d'usage de prendre en compte :

- les effets de site géologiques (lithologiques) et topographiques, c'est-à-dire la modification du signal sismique au rocher par les conditions lithologiques et topographiques locales ;
- les effets induits (mouvements de terrain, liquéfaction des sols...) ;
- les déformations de surface potentielles qui pourraient être associées aux ruptures de failles en surface.

Les conditions particulières d'un site par rapport à un autre (topographie, nature et épaisseur des sols meubles, distance et orientation par rapport à la source sismique), peuvent changer radicalement le degré de destruction d'un séisme, même sur des distances très courtes, comme en témoignent tous les séismes destructeurs récents.

La détermination de ces aléas locaux sera menée à une échelle variable selon la quantité d'informations disponibles (en particulier, selon la densité des sondages géotechniques). A titre indicatif, il est envisagé de réaliser une analyse avec une résolution d'une cinquantaine de mètres, sous réserve de la disponibilité de données suffisantes.

Ne disposant pas à la date de signature de la présente convention de synthèse des données disponibles au niveau des ouvrages du Canal de Marseille, et compte-tenu de l'étendue très importante du territoire concerné par l'étude, il n'est pas possible de dimensionner de manière satisfaisante l'ampleur du travail à réaliser pour la prise en compte des effets de site lithologiques. Celui-ci sera dimensionné et réalisé en Phase 2 décrite au paragraphe 3.

- a) Effet de site topographique

Il n'existe actuellement pas, à notre connaissance, de modèle opérationnel permettant une évaluation des amplifications du signal sismique liées à la topographie. Il est donc admis d'utiliser un coefficient forfaitaire, calculé à partir de la pente et de la position par rapport à la crête. Nous proposons, à partir des données topographiques (tel un Modèle Numérique de Terrain avec un pas de 50 mètres), de cartographier les zones d'amplification, à partir des préconisations des PS92 (NF P06-013) reprises dans les EC8 (Annexe A de l'EN 1998-5).

Sur chaque tronçon du tracé, on cherchera, selon la définition du coefficient topographique * des règles PS92, à identifier les zones où ce coefficient est supérieur à 1 et, le cas échéant, la longueur de profil considérée. Ce calcul sera réalisé par traitement automatique du MNT à l'aide du logiciel SUPERTAU développé par le BRGM.

b) Reconnaissance et prise en compte des failles actives

Le Canal de Marseille se situe en Provence occidentale. Cette région, réputée sismiquement et tectoniquement active, est actuellement soumise à un régime compressif, avec une direction NNW-SSE de la contrainte horizontale majeure. Les données de paléosismicité (Terrier, 1991 ; Ghafiri, 1995 ; Gabert ; Chardon & Bellier, 2003 ; Chardon et al., 2005) et les mesures géodésiques (Nocquet, 2002 ; Nocquet et Calais, 2004) indiquent un taux de déformation actuel de l'ordre de 0,01 à 0,1 mm/an (Cushing et al., 2007). Le plus gros séisme survenu en France durant le XX^{ème} siècle (séisme de Lambesc du 11 juin 1909, d'intensité épicentrale VIII-IX) est dû au rejeu d'un chevauchement nord provençal alpin, le chevauchement de La Trévaresse (Baroux et al., 2003), mais d'autres failles sont considérées potentiellement actives. C'est le cas notamment de certaines failles situées aux abords du Canal de Marseille (Illustration 2).

Le système de failles d'Aix-Eguilles concernant le Canal dans sa partie centrale reste encore mal connu. En 2005, le retraitement d'une ligne sismique pétrolière (81SE5b) et son interprétation (Terrier, 2005) ont démontré que la faille supposée de la Fare pourrait correspondre à une des failles frontales du chevauchement d'Aix-Eguilles. Dans le contexte sismotectonique actuel de cette partie de la Provence, il n'est donc pas exclu que les chevauchements d'Aix-Eguilles, mais aussi de la Fare puissent correspondre à des failles actives alpines, du même type que le chevauchement de la Trévaresse. Pour une meilleure évaluation de l'aléa sismique, il apparaît donc très important d'obtenir des informations complémentaires sur la structure de la couverture au niveau de ces deux chevauchements.

Illustration 2 : Carte des failles potentiellement actives à proximité du Canal de Marseille (d'après Terrier, 2006) Pour cela, compte-tenu de la complexité géologique locale (déformations tectoniques et formations géologiques), un travail de recherche est proposé. Il consistera à tout d'abord à améliorer l'analyse des tirs d'origine du profil 81SE5b. Cela afin de voir s'il est possible d'apporter des précisions sur la structure des formations géologiques rencontrées dans les 500 à 1000 premiers mètres de profondeur et ce sur une longueur de profils d'environ 5 km, depuis le forage d'Eguilles 1 jusqu'à l'extrémité sud du profil.

Dans le but de mieux connaître ces accidents tectoniques (chevauchements d'Aix-Eguilles et de la Fare), tant en termes de géométrie structurale (extension en surface, enracinement en profondeur, relation entre les deux failles, présence éventuelle d'autres failles frontales), qu'en termes d'activité néogène (implication des terrains tertiaires dans le mouvement des failles chevauchantes), l'utilisation de la sismique haute réflexion (SHR) peut se révéler très utile. Afin d'évaluer l'intérêt de cette méthode appliquée au contexte géologique étudié (la complexité structurale mais aussi l'absence de contraste lithologique peut influencer notablement sur la qualité d'exploitation des enregistrements), un profil test d'acquisition sismique SHR sera réalisé sur une longueur d'1 km environ. Ce test pourra permettre d'affiner le tracé de la faille sur la portion étudiée et d'étudier la faisabilité d'un profil d'acquisition sur plusieurs kilomètres (tracé optimal, coût de l'acquisition).

c) Mouvements de terrain induits

Les séismes induisent des phénomènes de mouvements de terrain (glissements, chutes de blocs...). Ces mouvements de terrain peuvent être à l'origine de dégâts bien plus importants que ceux provoqués directement par les vibrations du sol. Ce fut par exemple le cas lors du séisme du Salvador de janvier 2001. Les mouvements de terrain ne sont cependant pas exclusivement provoqués par les séismes. Ils peuvent également être engendrés par les fortes pluies et/ou l'action de l'homme.

L'objet de cette partie sera de localiser les zones où pourraient se produire des mouvements de terrain susceptibles d'affecter les ouvrages et canaux, en se limitant aux mouvements de terrain dus aux instabilités de versant.

Pour cela, l'étude bénéficiera des résultats de la cartographie régionale de l'aléa mouvement de terrain réalisée sur la zone en 2007 (Rivet & al., 2007). A partir des cartes géologiques au 1/50 000 et d'un recensement des mouvements de terrain et des cavités naturelles ou anthropiques présentes sur la zone, des cartes d'aléa à l'échelle du 1/100 000 ont été réalisées pour les phénomènes d'instabilités rocheuses, glissements de terrain,

affaissements et effondrements. Ces résultats pourront être complétés par les données existantes et disponibles en possession de MPM.

Le travail d'expertise centré sur le tracé du canal proposé à une échelle plus précise consiste à :

- établir une typologie sommaire des mouvements de terrain affectant les terrains effectivement concernés par le tracé avec définition notamment des facteurs de prédisposition des terrains à l'apparition des événements (susceptibilité des faciès géologiques) et de déclenchement des phénomènes. Cette analyse portera a priori sur les événements de type glissements de terrain, chutes de bloc (éboulements rocheux) et effondrements (sur cavités) ;
- évaluer de façon préliminaire pour les faciès traversés les problèmes de stabilité (instabilité) pressentis.

L'étude de la stabilité du canal face aux mouvements de terrain induits sera réalisée dans la phase 2. La qualité des résultats étant conditionnée par une bonne connaissance de la forme du canal et des conditions géomécaniques des formations géologiques, ces dernières ne pouvant être évaluées qu'à l'issue de l'examen et de la synthèse des données existantes (tâche décrite précédemment au 2.1).

d) Potentialité de liquéfaction

De façon générale, on appelle liquéfaction le processus de transformation d'une substance solide, en un liquide. Pour un sol pulvérulent saturé et sous séisme, la transformation de l'état solide à l'état liquide se fait par augmentation de la pression interstitielle sous chargement cyclique. Elle a pour conséquence une diminution des contraintes effectives régnant dans le sol et donc une diminution de sa résistance au cisaillement qui, à l'état ultime, peut devenir nulle. Pour déterminer complètement les potentialités de liquéfaction, il faudrait examiner :

- la susceptibilité qualitative (critères d'identification des règles PS 92) ;
- la susceptibilité quantitative de SEED ;
- l'opportunité (contexte sismique et hydrogéologique) ;
- le coefficient de sécurité à la liquéfaction ;
- les potentialités de liquéfaction.

Du fait de la configuration géologique de la zone d'étude qui ne présente pas a priori de risque important de liquéfaction, il est proposé de procéder à une étude qualitative. Pour cela, on propose d'identifier essentiellement les zones a priori susceptibles de liquéfaction, en utilisant les éléments géologiques disponibles.

3. Contenu technique prévisionnel de la phase 2

3.1 Prise en compte des effets de site lithologiques

Un effet de site lithologique (ou géologique) résulte de la modification locale du signal sismique par les formations géologiques superficielles. Il est dû au piégeage des ondes dans une couche superficielle molle à fort contraste de vitesses avec la couche sous-jacente (substratum sismique). Ces effets de site peuvent être caractérisés soit de manière spécifique par la définition d'une colonne de sol et le calcul de sa fonction de transfert, soit de manière forfaitaire à l'aide d'une classification basée sur la vitesse de propagations des ondes sismiques dans le sol.

Pour ce faire, il est nécessaire de disposer de suffisamment de données géologiques, géophysiques et géotechniques afin d'identifier les caractéristiques géomécaniques des sols. Ne disposant pas à la date de signature de la présente convention de synthèse de ces données au niveau des ouvrages du Canal de Marseille, et compte-tenu de l'étendue très importante du territoire concerné par l'étude, il n'est pas possible de dimensionner de manière satisfaisante l'ampleur du travail à réaliser pour la prise en compte des effets de site lithologiques. En effet, en fonction de la quantité de données disponibles pour le projet, des campagnes complémentaires d'acquisition de mesures géophysiques et géotechniques pourront être nécessaires. Celles-ci pourront être définies à l'issue de la synthèse géologique réalisée lors de la phase 1.

A titre informatif, la démarche retenue pour la prise en compte des effets de site lithologiques au niveau des installations du Canal de Marseille est présentée ci-dessous. Deux approches seront réalisées, différentes selon la classification réglementaire des ouvrages face au risque sismique (ouvrages à risque normal ou ouvrage à risque spécial).

APPROCHE FORFAITAIRE

Dans un premier temps, il s'agit d'identifier les ouvrages à risque normal situés sur des formations meubles susceptibles de générer des effets de site lithologiques, c'est-à-dire des modifications du signal sismique au rocher. Pour cela, le type de sol en présence doit être déterminé. Cette détermination de la catégorie de sol sera réalisée à l'aide des études géotechniques comprenant les sondages et essais en laboratoire disponibles.

L'évaluation de l'aléa local par l'approche forfaitaire sera établie selon la classification de sols définie dans les PS92.

La classification du sol à l'aplomb du site permet de définir les spectres de réponse élastique forfaitaires adaptés au site considéré.

Par ailleurs, les spectres normalisés des règles PS 92 sont souvent mal adaptés aux spécificités locales et seront également modifiés prochainement en se basant sur les règles européennes des EC8. Aussi est-il envisageable d'appliquer la démarche forfaitaire avec les spectres de l'annexe nationale des EC8 (selon la zone de sismicité déterminée en regard du nouveau zonage sismique de la France), sous réserve de disponibilité des mouvements sismiques récents associés à ces spectres. A défaut, les mouvements sismiques proposés par le GEPP pourraient également être utilisés comme préfiguration de la future réglementation.

□ APPROCHE SPECIFIQUE

L'approche spécifique est proposée pour les barrages de Saint-Christophe et du Réaltort. Elle consiste, à partir de la connaissance de la géométrie et des propriétés mécaniques des sols constituant le site, à calculer la réponse d'une succession de couches horizontales à la sollicitation sismique définie initialement au rocher. La méthode est basée sur l'hypothèse d'une propagation verticale d'ondes de cisaillement provenant de la formation rocheuse sous-jacente.

3.2 Etude de la stabilité des canaux ouverts aux séismes

Des simulations numériques de stabilité de talus à l'aide du logiciel TALREN seront réalisées sur l'ensemble des canaux ouverts constitutifs du canal, hors aqueducs qui feront l'objet d'une analyse particulière. Ces simulations nécessitent de disposer d'une bonne connaissance de la forme des canaux et des conditions géomécaniques des formations géologiques en place (vues en coupe de type maquettes géotechniques), leur réalisation est conditionnée par la disponibilité de données en quantité suffisante.

Le modèle de calcul utilisé est basé sur la méthode à l'équilibre limite aussi dénommée méthode des tranches et ses variantes, « méthode de Fellenius », « méthode de Bishop » ou « méthode des perturbations », ou sur l'approche cinématique de la théorie du calcul à la rupture. Il permet de vérifier la stabilité de l'ouvrage en conditions statiques et sous conditions sismiques. A partir de la géométrie et de paramètres géomécaniques, ce logiciel peut déterminer la stabilité ou non d'un talus. Il prend en compte les surcharges, le renforcement de l'ouvrage, les conditions hydrauliques, et l'accélération sismique.

Pour cette étude, nous proposons de réaliser un profil par zone homogène, i.e. une zone de l'ouvrage présentant la même géométrie et les mêmes paramètres géomécaniques et sismiques. Ainsi, plusieurs profils types pourront être traités en fonction des configurations rencontrées le long du tracé des canaux ouverts. Le nombre de profils type à étudier en Phase 2 sera quantifié dans la nouvelle convention restant à établir.

3.3 Etude de la stabilité des aqueducs aux séismes

La longueur cumulée des aqueducs s'étend sur plus de 2 km linéaires. L'analyse détaillée de la résistance des aqueducs aux séismes nécessite de disposer de données précises quant à leur structure (plan, typologie...). Ainsi le travail à réaliser pourra être correctement dimensionné après examen des données existantes relatives aux aqueducs réalisés dans la phase 1.

La démarche retenue pour l'analyse de résistance des aqueducs aux séismes est présentée ci-dessous.

□ VULNERABILITE DES AQUEDUCS

L'évaluation de la sûreté des constructions vis-à-vis du risque sismique selon les normes européennes a évolué considérablement ces dernières années. On peut distinguer trois types d'analyses : (1) la méthode pseudo-statique pour laquelle les forces appliquées sont déterminées à partir des spectres de réponse, (2) les méthodes basées sur les déplacements de la structure qui prennent en compte le comportement non-linéaire des matériaux (push-over) et (3) les méthodes qui utilisent comme agression sismique des accélérogrammes (« time-history analyses »).

L'analyse des ouvrages existants nécessite la mise en œuvre d'au moins une des trois méthodes mentionnées ci-dessus. Pour l'étude des aqueducs, on propose l'application de la démarche suivante :

- 1) Pour les ouvrages récents, créer un modèle numérique simplifié (2D ou 3D) de l'ouvrage ;
- 2) Réaliser une analyse modale pour déterminer les modes propres de vibration et les facteurs de participation modaux. Cette analyse pourra être validée par des mesures de bruit de fond ;
- 3) Réaliser une analyse « push-over » pour déterminer le spectre de capacité de l'ouvrage, de manière à le comparer au spectre de réponse ;
- 4) Réaliser une analyse temporelle en utilisant un accélérogramme réel ou synthétique.

3.4 Etude de la stabilité d'autres types d'ouvrages aux séismes

D'autres types d'ouvrages (souterrains, siphons, prise d'eau, réservoirs, usines de traitement, bâtiments et bassins) associés au Canal de Marseille pourront également faire l'objet d'une étude de stabilité aux séismes, dans le cadre de la phase 2 du programme.

Les conditions de faisabilité de l'estimation de la vulnérabilité de chaque type d'ouvrage seront étudiées sur la base de l'état de l'art et de l'examen des plans et documents disponibles, permettant ensuite d'établir précisément la liste des ouvrages objets d'une étude de stabilité.

4. Conditions de réalisation de la Phase 1

4.1. Comité de pilotage et réunions

Un Comité de Pilotage sera mis en place, constitué de représentants du BRGM, de MPM ainsi que de tout organisme que MPM souhaitera voir associé à ce travail.

Une réunion de lancement, présentant le plan de travail et permettant de dresser un premier inventaire des données disponibles, ainsi qu'une réunion de restitution des résultats seront organisées.

En outre, une réunion intermédiaire se tiendra à l'issue de la tâche d'inventaire et d'analyse des données existantes, dans l'objectif d'affiner le programme de la Phase 2 du Programme, incluant le cas échéant des investigations complémentaires (campagnes géophysique notamment).

Des contacts réguliers seront par ailleurs maintenus tout le long du projet pour couvrir les aspects techniques et informer MPM des éventuelles difficultés rencontrées à chaque étape.

4.2. Chronogramme de la phase 1

La durée totale de la phase 1 est estimée à 8 mois. Le chronogramme prévisionnel est détaillée ci-après.

	8 mois							
Taches de la phase 1	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Inventaire et analyse des données existantes								
Synthèse documentaire								
Synthèse géologique								
2. Aléa sismique régional								
Approche forfaitaire								
Approche déterministe								
3. Aléa sismique local								
Effets de site topographique								
Reconnaissance des failles actives								
Mouvements de terrain induits								
Potentialité de liquéfaction								
4. Réunions	X			X			X	
5. Rapport de synthèse et couches d'information géographiques à usage interne (+ rapport scientifique pour diffusion publique)								X

4.3. Produits livrés

Les produits livrés issus de cette recherche seront constitués :

- d'un rapport détaillé reprenant les étapes de réalisation, la synthèse générale à l'échelle du territoire de MPM, des cartes de zooms sur les secteurs retenus ;
- de couches d'informations géographiques (fichiers numériques de type vecteurs) insérables dans un Système d'Informations Géographiques (remis au format Mapinfo ou équivalent, compatible avec les outils SIG utilisés par MPM).

5. Montant et financement de la phase 1

Le montant total de la phase 1 est de soixante neuf mille cinq cent euros hors taxes (69 500 € HT). Le tableau ci-après présente la répartition par tache de ce montant total.

Le BRGM prendra à sa charge sur sa dotation de Service Public 25% de ce montant soient dix-sept mille trois cent soixante quinze euros hors taxes (17 375 € HT).

MPM prendra à sa charge les 75% restant soient cinquante deux mille cent vingt cinq euros hors taxes (52 125 € HT).

Phase 1 Prix HT (€)

Inventaire et analyse des données existantes	16 000.00	
Synthèse documentaire	9 000.00	
Synthèse géologique	7 000.00	
Aléa sismique régional	5 000.00	
Approche forfaitaire	2 000.00	
Approche déterministe	3 000.00	
Aléa sismique local	38 500.00	
Effets de site topographique	2 000.00	
Reconnaissance des failles actives	30 000.00	
Mouvements de terrain induits	3 500.00	
Potentialité de liquéfaction	3 000.00	
Rédaction et édition d'un rapport, participation à réunions, frais de missions-déplacement		10 000.00
Total H.T.	69 500.00	
TVA 19.6 %	13 622.00	
Total T.T.C.	83 122.00	

Phase 2 Prix HT (€)

Effet de site lithologiques	Non déterminé
Stabilité des canaux ouverts aux séismes	Non déterminé
Stabilité des aqueducs aux séismes	Non déterminé
Stabilité d'autres types d'ouvrages aux séismes	Non déterminé

□ □