
Fédération de Recherche ECCOREV n° 3098



CNRS/Aix Marseille Université

Europôle Méditerranéen de l'Arbois
Bâtiment Laennec
13545 Aix en Provence cedex 4

Direction : Nicolas Roche
Nicolas.roche@univ-amu.fr

Administration : Joëlle Cavaliéri
Tél : 06 66 03 84 72
Joelle.cavaliéri@univ-amu.fr

Site internet : <http://www.eccorev.fr/>

Journée Restitution de l'Appel d'Offre Interne 2021
Mercredi 23 octobre 2024
Aix en Provence Technopole de l'Arbois

Fiche-Résumé

Titre :

ADRASTISC : Analyses de la Déformation Récente, de l'Aléa Sismique et du risque Tectonique par Imagerie Sismique des Canyons
--

Porteur du projet :

Olivier Bellier (CEREGE) et Marc Cushing (IRSN)

Participants :

Participants :

CEREGE : O. Bellier, J. Fleury, JC. Hippolyte.

IRSN : M. Cushing, H. Jomard. C. Gélis.

ISTeP, Sorbonne Université : D. Do Couto, J.P. Suc (émérite), J.-L. Rubino (chercheur associé) et N Bagayoko (MII)

LAMPEA : V. Ollivier

L. Mocochain, géologue indépendant, spécialiste du Karst.

H. Camus, géologue indépendant, spécialiste du Karst.

Laboratoires et Partenaires impliqués :
CEREGE, IRSN, ISTeP, LAMPEA

Principaux résultats :

Introduction :

Evaluer l'aléa sismique nécessite, en particulier, d'identifier les failles potentiellement actives, de caractériser leur taux de déplacement ce qui permet, in fine, d'évaluer la période de retour d'événements rares mais potentiellement significatifs en termes de mouvement sismique. La propagation des ondes sismiques dans des milieux à géométrie complexe et présentant des variations rhéologiques significatives (vitesses des ondes de cisaillement dans les couches géologiques) est également une composante importante de l'évaluation de l'aléa sismique car de telles conditions conduisent à l'allongement de la durée de la vibration sismique et à son amplification. Ce phénomène appelé « effet de site » est propice dans le contexte du canyon messinien du Rhône (géométrie et remplissage). Ainsi, pour évaluer l'aléa sismique dans cette région, il est important de mieux connaître l'activité des failles mais également la structure du canyon et son remplissage.

La basse et moyenne vallée du Rhône est traversée par des réseaux de failles potentiellement actives (e.g. faille de Nîmes, faille des Cévennes, voir la base de données des failles potentiellement actives de l'IRSN - BDFA). L'activité sismique d'une région est la résultante d'une évolution tectonique sur le long terme, voire le très long terme (de l'ordre de la centaine de millions d'années). L'utilisation de marqueurs morphologiques et sédimentaires dont l'âge et la position initiale sont connus et, dans le cas d'un décalage observé, permet de quantifier, voire dater, la cinématique de la faille en jeu. A cet égard, la vallée du Rhône présente de nombreux niveaux repères caractéristiques dont les âges s'échelonnent du Miocène supérieur (10 Ma) à l'Actuel, à commencer par les plus récents : les terrasses quaternaires. Le niveau repère le plus emblématique est sans aucun doute le canyon messinien du Rhône qui se trouve actuellement enfoui sous près de 1000 m de sédiments pliocènes au droit d'Avignon. L'âge isochrone (creusement rapide entre 5,9 Ma et 5,4 Ma) de ce canyon a servi à plusieurs auteurs (Schlupp *et al.*, 2001) pour tenter de quantifier la cinématique de la faille de Nîmes ayant recoupé puis décalé le canyon. D'autres études plus récentes (METECTAS) se sont appuyées sur cette même démarche. Une étude menée en 2004 (Clauzon, Schlupp et Fleury, 2004) a étendu la méthode à plusieurs niveaux repères pour quantifier et dater l'évolution géodynamique de la région Beaucaire-Avignon depuis 6 Ma.

La moyenne vallée du Rhône, et plus spécifiquement la région de Bollène-Pierrelatte est pourvue d'une densité exceptionnelle de niveaux repères néogènes et quaternaires (Mocochain *et al.*, 2009) qui sont par ailleurs très largement sous exploités par les études géologiques récentes et notamment dans le cadre des études tectoniques de la région.

L'acquisition, en 2020, d'un ensemble de profils sismiques quadrillant une zone élargie autour des installations nucléaires de Tricastin offre la possibilité de pouvoir user de tous les niveaux repères disponibles afin 1/ de contraindre la tectonique locale et régionale et 2/ d'imager et de caractériser le remplissage de ce canyon permettant ainsi de pouvoir évaluer les amplifications locales. C'est dans cette perspective que s'inscrit le projet ADRASTIC qui vise à caractériser le remplissage sédimentaire pliocène du canyon messinien du Rhône dans le but d'intégrer cette connaissance aux études d'effets de site. Le projet a financé l'organisation d'un workshop et les déplacements d'une 20^{ème} de chercheurs dans différentes disciplines, avec une visite de terrain permettant d'identifier les différentes surfaces repères liées à la crise de salinité messinienne et qui sont visibles sur le terrain : la surface d'abandon pré-évaporitique, la surface d'érosion messinienne, la transition marin-continental, la surface d'abandon plio-quaternaire. Des missions complémentaires ont également eu pour objet d'identifier des zones d'intérêt et de prélever des échantillons en vue de réaliser des datations (surfaces, éléments karstiques). Les investigations ont permis d'identifier la position altimétrique du marqueur de la transition marin/continental dans différents secteurs non identifiés à ce jour avec notamment la présence de plusieurs encoches littorales autour de Bollène, à 110 et 130 m d'altitude. La réalisation d'une cartographie de ces points de repère clés est en cours et des datations sont envisagées.

Objectifs et résultats :

Dans le cadre du projet de recherche piloté par l'IRSN sur les effets de site dans la propagation et l'amplification des ondes sismiques, une étude a été spécifiquement menée sur la réinterprétation de onze lignes sismiques acquises en 2020 (Master thesis, N. Bagayoko, 2021 ; Do Couto *et al.*, 2024). L'essentiel des résultats acquis consistent en 1/ l'imagerie 3D des canyons messinens du Rhône et de l'Ardèche, 2/ l'interprétation de l'agencement stratigraphique du remplissage des canyons, allant de la Formation à Blocs messinienne qui tapisse localement les flancs abrupts de ces derniers, à la transition marin/continental.

L'état des connaissances de la géométrie du canyon n'était pas encore bien connu jusqu'à présent. A l'aide de reconnaissances géologiques et géomorphologiques en surface, en s'appuyant sur l'interprétation des forages disponibles et en réinterprétant l'ensemble des onze lignes sismiques (NS et EO), cette étude a permis de mettre en évidence 2 canyons principaux à savoir, le canyon du Rhône et de l'Ardèche (la position de ce dernier n'étant pas connue jusqu'alors). La profondeur du canyon rhodanien au niveau du Tricastin reste très incertaine car il manque encore des données (forages) relevant la profondeur exacte de son talweg même si le forage de St Paul trois Châteaux permet de lui conférer une profondeur minimale de 462 m.

Morphologie du canyon

Les résultats de cette étude ont pu mettre en évidence une nouvelle image de la morphologie du canyon dans la région du Tricastin : le paléo Rhône est clairement localisé sur la partie orientale de la plaine et vraisemblablement assez profond (500 – 600 m) et s'encaisse vers le sud entre une « paléo île ou presqu'île » constituée de la série détritique du Crétacé (Albien, Cénomanién) localisée dans le secteur de Lapalud et les contreforts des collines du massif d'Uchaux. Le canyon de l'Ardèche à l'ouest est extrêmement encaissé, ce qui pose la question de son raccord avec son talweg actuel au débouché des gorges de l'Ardèche (Saint-Martin). De petits canyons tributaires sont également visibles sur les profils.

Séquence stratigraphique

Le remplissage du canyon montre 3 à 4 tendances de dépôts sédimentaires à savoir :

- Des niveaux de dépôts détritiques (*mass transport deposits*) provenant directement du produit de démantèlement des bords rocheux du canyon. Ces dépôts recouvrent directement la surface d'érosion messinienne ou bien s'intercalent dans la série pliocène témoignant de l'existence d'instabilités de pente lors de l'inondation pliocène.
- Un niveau d'alternance de dépôts argileux, sableux et marneux liés à la sédimentation marine de Zancéen et/ou Plaisancien.
- Un niveau de dépôts sableux et marneux continental (non visible sur les profils mais localement observé dans les affleurements situés sur le pourtour de la plaine du Tricastin).
- La cartographie permet de compléter la succession altimétrique des marqueurs (surface d'abandon pré-évaporitique, niveau(x) de la transition marin-continental, surface d'abandon plio-quadernaire) au-dessus du remplissage pliocène aujourd'hui résiduel au cœur de la vallée du Tricastin

Tectonique récente

L'analyse des profils sismiques, ne montre pas d'évidence de déformation tectonique marquée post pliocène (à l'échelle de la résolution des profils sismiques) au droit du secteur de Pierrelatte. En revanche, l'examen des faciès sismiques intra-pliocènes au droit du massif d'Uchaux semble montrer l'occurrence de déformations significatives qu'il serait intéressant de confirmer et de caractériser (Do Couto et al., 2024).

Modélisation des effets de site

La caractérisation du remplissage, de la stratigraphie et de la géométrie 3D, ainsi que le retraitement d'un profil sismique ont permis de réaliser un modèle 3D en vitesse qui sert de base pour évaluer de manière numérique les effets d'amplification (effets de site) associé à la géométrie et au remplissage du bassin en complément à la réalisation d'une inversion tomographique réalisée dans le cadre du projet ANR DARE (Lavoué et al., 2023). Les résultats des premières simulations numériques confirment les amplifications mesurées avec les mesures sismologiques in-situ (Gelis et al., 2022).

Publications, congrès :

Publication

DO COUTO D., CUSHING E.M., MOCOCHAIN L., RUBINO J.L., MICQUELIS F., HANOT F., FROMENT B., GÉLIS C., CAMUS M., BAGAYOKO N., BELLIER O., 2024. Reappraisal of the Messinian canyons morphology of the Rhône and Ardèche (Rhône valley): new insights from seismic profiles. *BSGF, Earth Sciences Bulletin*, in press.

Congrès

DO COUTO D., BAGAYOKO N., CUSHING E.M., RUBINO J.L., MOCOCHAIN L., MICQUELIS F., HANOT F., FROMENT B., GÉLIS C., BELLIER O., 2022. Reappraisal of the Messinian canyons morphology and filling of the Rhône and Ardèche (Rhône valley): new insights from seismic profiles and boreholes analysis. XVIIIème Congrès Français de Sédimentologie, 28-30 Septembre 2022, Palais des congrès Brest.

DO COUTO D., CUSHING E.M., RUBINO J.-L., MOCOCHAIN L., MIQUELIS F., HANOT F., GÉLIS C., FROMENT B., BELLIER O., BAGAYOKO N., 2023. Messinian canyons morphology and filling of the Rhône and Ardèche (Rhône valley): new insights from seismic profiles and boreholes analysis. Workshop FREMTEIL « Failles, Ruptures Et Mouvements forts dans la région du Teil: Quelles conséquences pour l'aléa sismique sur le faisceau NE cévenol, CFS », 10-11 Janvier 2023. Viviers.

LAVOUE F., GELIS, C., CHALJUB, E., DE MARTIN, F., GISSELBRECHT, L., STEHLY, L., BOUE, P., PILZ, M., BEAUPRETRE, S., BAGAYOKO, N., DO COUTO, D., CUSHING, E. M., MOIRIAT, D., AND FROMENT, B. (2023). Numerical simulations for site effect estimation in a complex sedimentary basin: a comparison between

different approaches for designing 3D seismic models of the subsurface. In SSA Workshop on Physics-based Ground Motion Modeling, Vancouver (Canada). Seismological Society of America.

MOCOCHAIN at al., Programme des journées techniques et scientifiques IRSN/CEREGE/IsTEP en moyenne vallée du Rhône Du 21 au 23 juillet 2021. Guide du field trip et recueil des présentations lors du workshop.

FROMENT, B., CUSHING, E. M., GELIS ET AL. 2022. First 3D characterization of the Rhône Messinian Canyon in the Tricastin area from complementary geophysical approaches. In 3rd European Conference on Earthquake Engineering & Seismology, Bucharest (Romania).

RAPPORT Master

NANABA BAGAYOKO (2021). Intégration de données de sismique réflexion et de données géologiques dans un modèle structural 3D du canyon Messinien du Rhône : Etude du site de Tricastin. Mémoire de MII de Sorbonne Université. 43 p.

Suite donnée au projet (contrats nationaux, internationaux, bourses de thèse...):

En amont des études géologiques réalisées, un projet ANR ambitieux franco-allemand avait été mis en œuvre visant à réaliser une tomographie sismique du bassin à l'aide d'un réseau DENSE de 400 géophones et un réseau de 50 sismomètres visant à évaluer de manière empirique les effets de site (programme DARE, Froment et al., 2022). Les simulations issues de l'exploitation du modèle de vitesse 3D permettront de les comparer aux valeurs empiriques issues de l'étude sismologique (publication, Lavoué et al., à venir)

A la suite des workshops et réunions de travail qui a ouvert le cercle de réflexion à d'autres collaborateurs.

Un projet Syster – INSU est envisagé. Ce projet concerne la datation des niveaux repères, essentiellement datations par cosmo nucléides qui permettrait de quantifier les taux de déformation long terme (en particulier le décalage de la surface de transition marin continental identifié autour de la faille de Saint Montant).

Une synthèse des mesures HVSR (mesures de bruit H/V) à laquelle ont participé certains participants du groupe à l'échelle du bassin permettra de réaliser une cartographie des fréquences de résonances des formations sédimentaires. Les premières interprétations montrent que la méthode HV n'image pas directement la structure géologique ciblée (canyon) mais permet de « cartographier » la topographie du toit des calcaires urgoniens.