

Géologie du canyon de Cassidaigne (Cassis, Bouches-du-Rhône)

Geology of the Cassidaigne canyon (Cassis, Bouches-du-Rhône)

Aurélien TASSY¹

Michel VILLENEUVE²

François FOURNIER³

Jean BORGOMANO³

Géologie de la France, n° 1, 2022, p. 1-10, 9 fig.

Mots-clés : Canyon sous-marin, Messinien, Miocène, Pliocène, Marge-Ligure, Calanques, strati-sismique, Plongées scientifiques, Déchets d'alumine.

Keywords: *Off-shore canyon, Messinian, Miocene, Pliocene, Liguria margin, Calanques, Seismic-stratigraphy, Diving experiments, Alumina waste.*

Résumé

Le canyon de Cassidaigne, localisé au large de Cassis, est l'un des plus profonds de la Méditerranée nord-occidentale. Il est célèbre aussi bien par les études scientifiques et technologiques qui lui ont été consacrées que par les polémiques environnementales qu'il a suscitées, relatives au rejet des « boues rouges » de l'usine d'alumine de Gardanne. En revanche, son cadre géologique est peu connu du public bien qu'ayant fait l'objet de missions de sismique marine, de dragages et de plongées dès les années 1960. De nouvelles missions d'acquisition sismique et de carottages effectuées depuis 2007 ont permis de préciser son origine et son fonctionnement dans son cadre régional. Le canyon de Cassidaigne qui, contrairement à la plupart des autres canyons méditerranéens, n'est connecté à aucun cours d'eau en amont sur le continent, a été connecté, par le passé, au paléo-canyon de Bandol situé sur son flanc Est. Ce dernier est aujourd'hui totalement comblé par d'épais dépôts sédimentaires d'âge plio-quadernaire. Son incision au Messinien a été probablement contrôlée par trois cours d'eau côtiers : la Reppe, le Grand Vallat et le « paléo-Gapeau », avant sa capture vers l'Est au cours du Quadernaire, au large d'Hyères. C'est l'évolution du canyon de Cassidaigne au cours des différents épisodes géologiques, depuis le Miocène supérieur jusqu'à nos jours, qui fait l'objet de la présente publication.

Abstract

The Cassidaigne canyon, located off the Cassis harbour close to Marseille, is one of the deepest canyon on the northern Mediterranean sea margin. This canyon is well-known owing to the deep-diving technological experiments performed in it and also as the site of evacuation of "bauxitic muds" from the Gardanne alumina factory. However, its geological framework remained poorly known. New seismic and dredging investigations performed during several oceanic cruises since 2007, allows us to better understand the origin and history of this canyon. Nowadays, it is not connected to a continental stream, but by the Pliocene it was connected to the

Bandol canyon located on its eastern side. This Bandol canyon was filled up by Plio-Quadernary sediments. The origin of the Cassidaigne canyon is linked to the "Late Miocene Messinian crisis" which resulted in the formation of numerous canyons and karsts on the Mediterranean sea margins. The early Pliocene transgressions filled the "rias" until the end of the Pliocene. The evolution of this famous canyon is the topic of this current paper.

1. Introduction

Le canyon de Cassidaigne, situé au large de Cassis (Bouches-du-Rhône), a fait couler beaucoup d'encre comme site d'expérimentation scientifique mais aussi comme objet de polémiques écologiques avec le déversement des « boues rouges » de l'usine d'alumine de Gardanne, depuis 1966. Par contre, son cadre géologique et son évolution dans les périodes anciennes ont été rarement évoqués faute de données géologiques significatives. La présente note vise à combler cet oubli. Elle s'appuie sur des données de géologie marine récentes et peu connues du grand public (Tassy, 2012 ; Tassy *et al.*, 2014 ; Fournier *et al.*, 2016 ; Villeneuve *et al.*, 2018). Ces données montrent que la formation de ce canyon est liée à la Crise de Salinité Messinienne. Entre 6 et 2 Ma, la région méditerranéenne a été le siège de bouleversements géographiques de grande ampleur en relation avec la baisse brutale du niveau marin au Messinien, d'environ 1 500 m sous le niveau marin actuel. Les impacts morphologiques et sédimentaires furent catastrophiques à l'échelle du bassin méditerranéen et de ses marges (cf. Clauzon *et al.*, 1996). À Terre et sur les

¹ Akkodis, 4 rue Jules Ferry, 64000 Pau, aurelie.borgomano@modis.com

² OSU Pytheas, 3, place Victor Hugo 13331, Marseille, Cedex 03, Michel.villeneuve65@gmail.com

³ Aix Marseille Univ, CNRS, IRD, INRAE, CEREGE, 3, place Victor Hugo, 13331, Marseille, cedex 03

marges, c'est le phénomène d'érosion fluviale qui fut dominant avec pour conséquence la formation d'une discordance de ravinement fortement prononcée, appelée « surface d'érosion messénienne » (Ryan et Cita, 1978) prolongée par des canyons au droit des fleuves : les canyons messiniens (Clauzon 1973, 1978, 1982). La remise en eau, au début du Pliocène, marqua l'achèvement de la crise messinienne à 5,46 Ma (Bache *et al.*, 2011). À ce stade de la remise en eau, les marges du bassin, préalablement érodées, offraient un large espace disponible à la sédimentation. Il en résulta une transgression généralisée sur les marges et confinée à terre sur de très longues distances dans les canyons messiniens, qui furent ennoyés pour former des rias, avant d'être colmatés par les dépôts sédimentaires au cours du Pliocène. C'est l'histoire géologique d'un de ces canyons, celui de Cassidaigne, que les profils sismiques et les dragages effectués au cours de différentes campagnes « à la mer », et notamment celles réalisées entre 2007 et 2011, nous permettent de reconstituer.

2. Localisation

Le canyon de Cassidaigne qui se situe à 7 km au large de Cassis et des sources sous-marines karstiques de Port-Miou et Bestouan (figure 1) fait partie du Parc National des Calanques. Il est orienté NNE-SSW et a une longueur d'environ 10 km et une largeur moyenne de 5 km. Il sépare le banc des Blauquières, à l'Est, du plateau continental marseillais, à l'ouest.

3. Historique

La profondeur et la singularité du canyon de Cassidaigne ont attiré l'intérêt des scientifiques, aussi bien des biologistes que des géologues, qui y ont mené des missions de sismique marine, de dragages et de plongées, dès les années 1960. Les premiers travaux marins sur la géologie ont été menés par le Musée Océanographique de Monaco (Bourcart, 1960 ; Leenhardt *et al.*, 1969) et les premiers dragages sur cette zone ont été décrits par C. Froget (1966, 1967, 1974), puis J.-J. Blanc et M. Blanc-Vernet (1966) et J.-J. Blanc *et al.* (1992). Les missions marines réalisées dans les années 1980-1990 par TOTAL et l'Ifremer (Me-Sea, Bellaiche *et al.*, 1991), puis entre 2007 et 2011 par le Laboratoire de Géologie des Systèmes et Réservoirs Carbonatés de l'Université de Provence (Aix-Marseille Université) en collaboration avec l'INSU et le BRGM (Missions MARSOLIG en 2008, MAST5913 de 2007 à 2009 et CASSEIS I & II en 2009 et 2011 à bord du R/V Téthys II) ont complété les données sismiques ainsi que l'échantillonnage du plateau continental sous-marin. L'environnement géologique autour de la grotte Cosquer et la géomorphologie marine au large des Calanques ont été décrites grâce aux plongées sous-marines réalisées dans les années 1990 (Collina-Girard, 1996, 1999). Ce canyon a aussi fait l'objet de recherches sur la faune profonde de Méditerranée par l'Agence des aires marines protégées qui a exploré

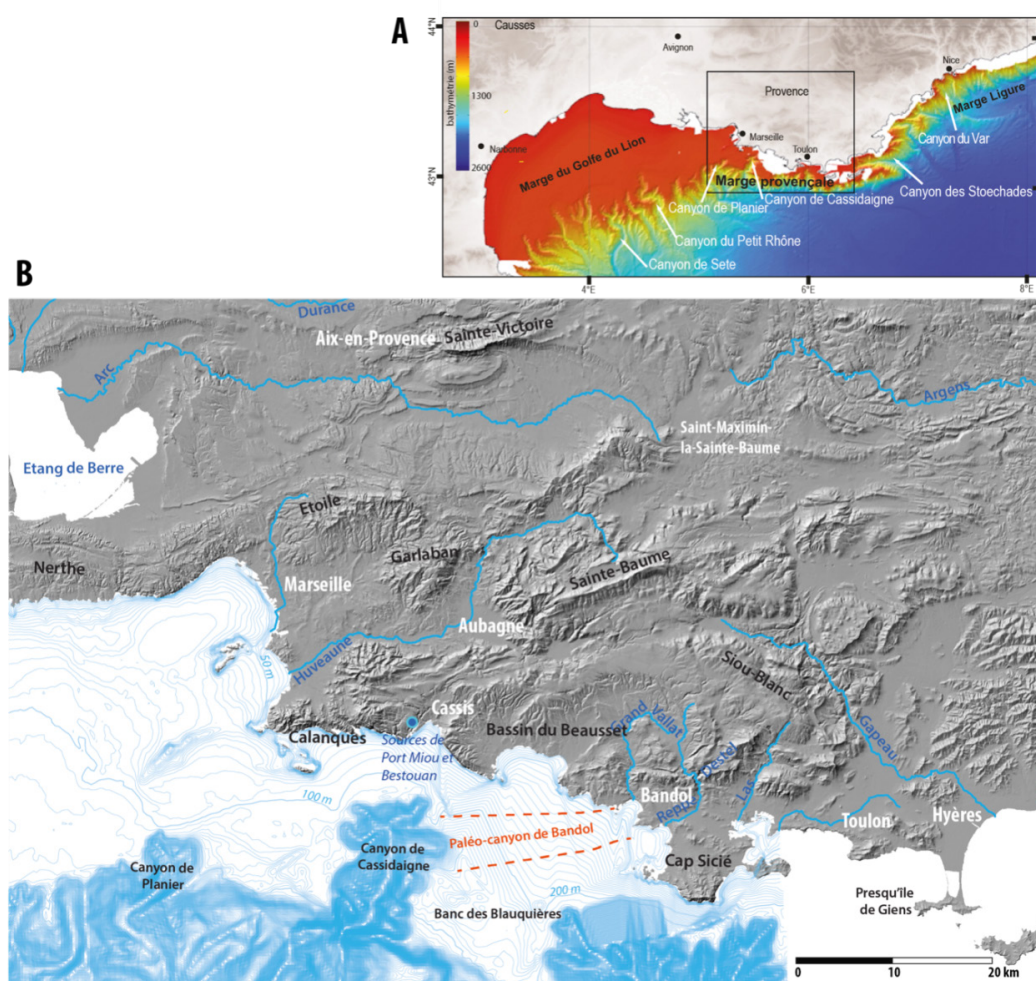


Figure 1 : A - Localisation de la marge provençale entre la marge du Golfe du Lion à l'ouest et la marge ligure à l'est. B - Représentation des cours d'eau majeurs (bleu) et reliefs à terre (noir) et en mer (bleu). Le canyon de Cassidaigne, orienté NNE-SSW, se trouve au sud de Cassis. Le paléo-canyon de Bandol, invisible en bathymétrie, est localisé en tirets rouges.

Figure 1: A - Location of the Provence margin between the Lion Gulf to the west and the Ligurian margin to the east. B - Morphological scheme of the Marseille-Toulon area with location of the offshore canyons and main terrestrial rivers (blue lines).

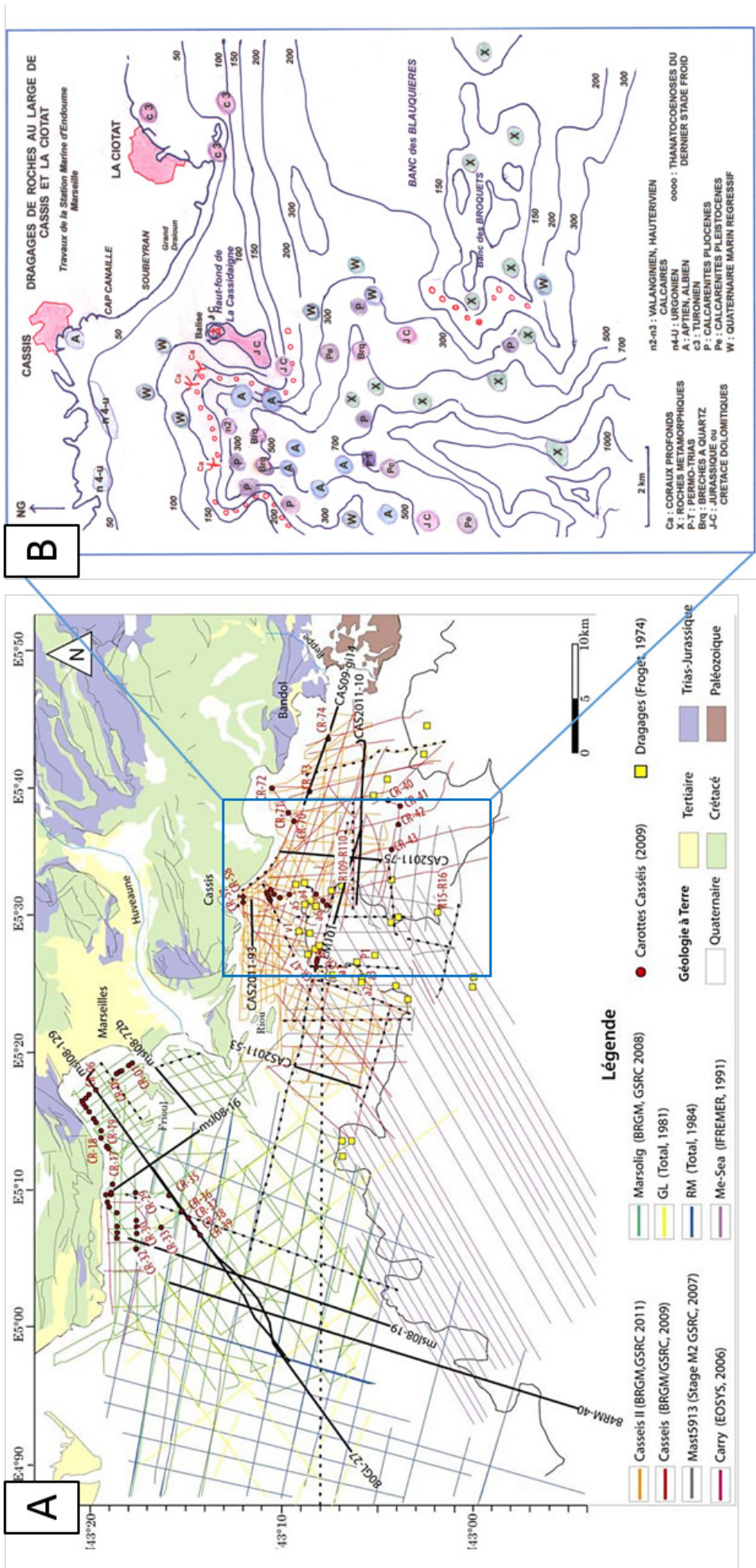


Figure 2 : Localisation des profils de sismique, des dragages et des carottes réalisés sur la marge provençale entre 1974 et 2011. A - À terre : carte géologique simplifiée. B - Localisation des principaux dragages et âge des échantillons dans le canyon de Cassidaigne (Blanc, 2010).

Figure 2: Location of seismic profiles, dredges and core-drills performed on the provençal platform between 1974 and 2011. A - Location of seismic profiles and rock samples collected on sea bottom (Tassy et al., 2014). B - Location of main dredges with ages of collected samples (Blanc, 2010).

tous les canyons de la côte méditerranéenne de France, entre 2010 et 2016 (Med-Sea-Can). La partie amont de ce canyon appelée « fosse de Cassidaigne » a attiré l'attention des explorateurs par sa profondeur remarquable, par son aspect morphologique en « vase clos » ainsi que par son absence apparente de courants érosifs. C'est ainsi que la « fosse de Cassidaigne » est devenue un lieu d'expérimentation pour les plongées profondes et notamment celles du programme Hydra VIII de la Comex, réalisé en 1988 et qui détient le record du monde de plongée individuelle avec -534 m.

La figure 2 illustre la base de données utilisée dans cet article, incluant les profils de sismique réflexion ainsi que les dragages et carottages prélevés dans et en périphérie du canyon de Cassidaigne, et qui ont permis le calibrage des unités sismique.

4. Morphologie et Géologie

Avec une profondeur de 200 m en amont et de 1 300 m en aval, le canyon de Cassidaigne est l'un des plus profonds du pourtour Méditerranéen. Sa morphologie et sa structure géologique sont détaillées en figure 3, grâce aux données

de bathymétrie haute résolution et à l'analyse des profils de sismique et des carottages et dragages (Tassy, 2012 ; Tassy *et al.*, 2014). Les figures 3A et 3B montrent une déviation du canyon au niveau d'une faille E-W vers l'aval avec une digitation des cours d'eau en amont. Trois parties se distinguent : 1/ la partie amont dite « fosse de Cassidaigne », incisée entre 120 m et 1 000 m de profondeur, située entre les latitudes 43°9' et 43°2', 2/ le goulet d'étranglement haut de 140 m à la latitude 43°2' et enfin 3/ la plaine abyssale vers l'aval de 1 000 à 2 300 m de profondeur. La figure 3C montre la carte géologique du canyon. La partie amont est située dans l'unité géologique du massif des « Calanques » avec des formations carbonatées principalement d'âge crétacé inférieur. La tête du canyon de Cassidaigne est creusée principalement dans les marnes aptiennes (en vert clair), qui peuvent être couramment déstabilisées par des glissements gravitaires. Localement, la tête du canyon incise le calcaire urgonien (vert). Le canyon de Cassidaigne est limité au nord par les failles NW-SE qui se prolongent à terre dans le massif des Calanques. Le canyon de Bandol est incisé à la limite entre les écailles calcaires de Bandol d'âge jurassique et trias (bleu et violet) et l'unité d'âge paléozoïque (socle hercynien et sédiments permo-

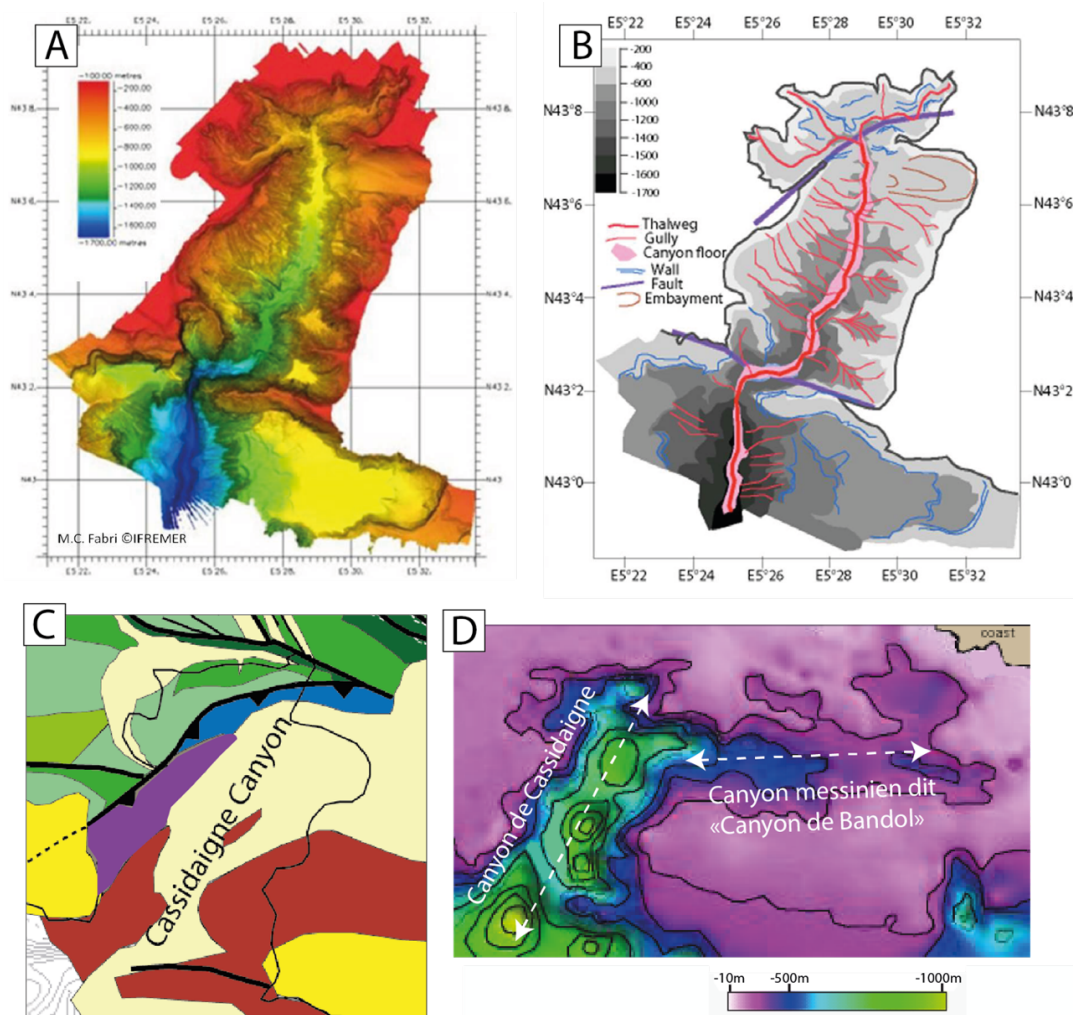


Figure 3 : Morphologie et géologie du canyon de Cassidaigne. A - Bathymétrie haute résolution (Source : M.-C. Fabri, Ifremer) ; B - Schéma géomorphologique réalisé d'après la bathymétrie haute résolution ; C - Carte géologique ; D - Géomorphologie sismique des canyons de Cassidaigne et de Bandol, au Messinien (modifié d'après Tassy *et al.*, 2014).

Figure 3: Morphology and geology of the Cassidaigne canyon, A - Bathymetry (M.-C. Fabri, Ifremer); B - Morphology; C - Geological scheme; D - Geomorphology of the Cassidaigne and Bandol canyons (modified from Tassy *et al.*, 2014).

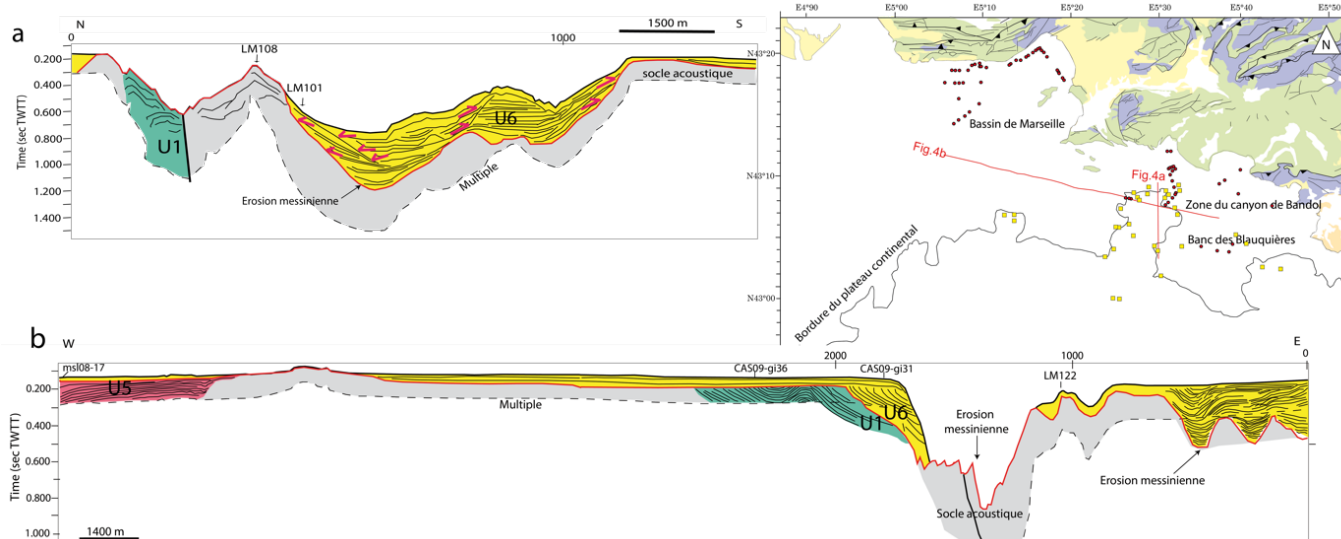


Figure 4 : a - Interprétation du profil sismique LM122 orienté N-S le long de la bordure Est du canyon de Cassidaigne. b : Interprétation du profil LM108 orienté WNW-ESE et recoupant le canyon de Cassidaigne dans sa partie amont (Tassy et al., 2014).

Figure 4: a - Seismic profile LM122 on the eastern margin of the Cassidaigne canyon. b - Seismic profile LM108 to the north of the Cassidaigne canyon (Tassy et al., 2014).

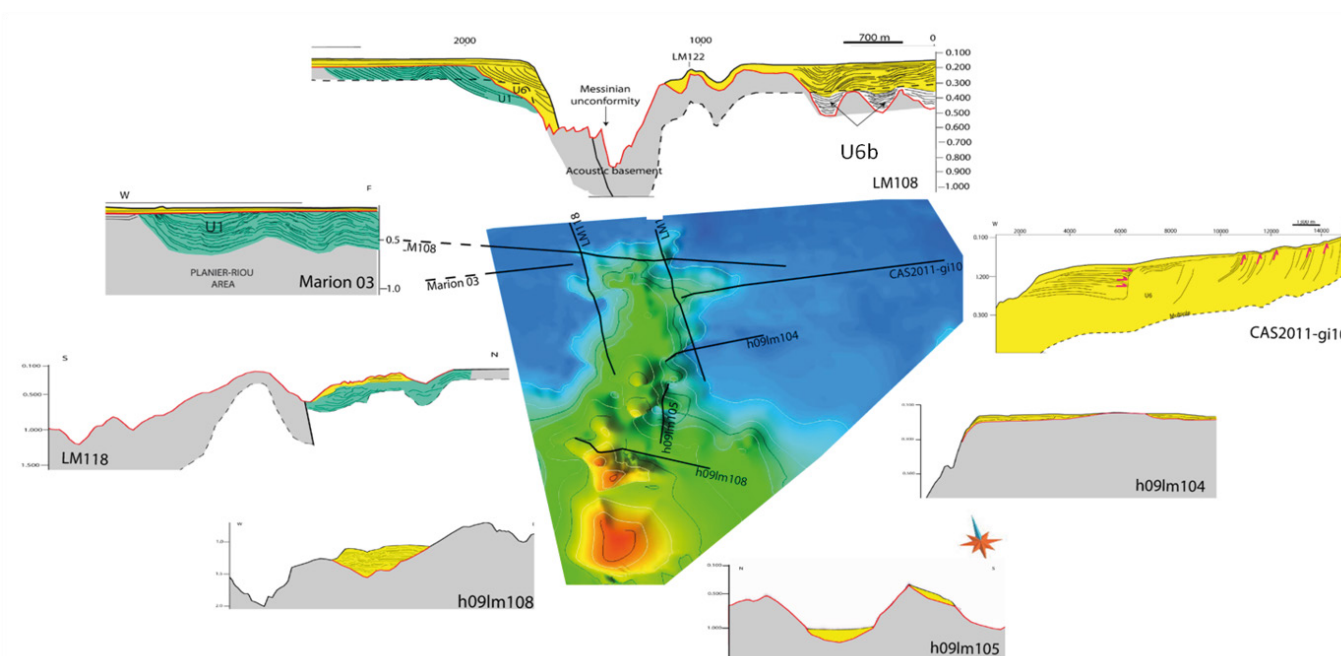


Figure 5 : Schémas interprétatifs des profils sismiques réalisés autour du canyon de Cassidaigne (Tassy, 2012).

Figure 5: Interpretation of seismic profiles located around the Cassidaigne canyon (Tassy, 2012).

triasiques, en rouge). La figure 3D montre qu'au Messinien (Miocène supérieur) le canyon de Cassidaigne était connecté à un canyon EW aujourd'hui invisible en bathymétrie, le canyon de Bandol.

Sur les profils sismiques, le canyon de Cassidaigne se marque par une large échancrure (figures 4a et 4b). La surface d'érosion messinienne (en rouge) est recouverte par des dépôts plio-quaternaires (en jaune) présents sur les deux épaulements du canyon, mais pas au fond de ce dernier.

Les interprétations sismiques autour de ce canyon (figure 5) montrent les dépôts plio-quaternaires recouvrant les flancs du canyon mais pas son centre (ligne LM 108), illustrant la nature toujours érosive du fond du canyon, qui sert de zone de transit aux sédiments du plateau continental qui vont se déposer en aval, dans la plaine abyssale. Les sédiments sont particulièrement épais (jusqu'à 500 m) dans le canyon de Bandol (lignes LM108 et CAS2011-gi10) qu'ils obstruent complètement.

La figure 6 représente le remplissage plio-quaternaire des canyons de Cassidaigne et de Bandol. La figure 6A correspond à une vue 3D de l'incision messinienne des canyons avec le remplissage sédimentaire d'âge plio-quaternaire tel qu'il est actuellement (en jaune sur la figure 6A).

Le paléo-canyon de Bandol, orienté E-W, se déversait dans le canyon de Cassidaigne situé à son aval et de direction méridienne. Le canyon de Bandol est aujourd'hui entièrement comblé par les sédiments post-messinien alors que, dans le canyon de Cassidaigne, les dépôts sont moins épais, confinés dans des zones épargnées par les déstabilisations gravitaires, sur les bordures de l'axe principal du thalweg. Les flancs instables du canyon de Cassidaigne sont le siège de mouvements gravitaires et des loupes d'arrachement apparaissent localement dans la partie NW de la tête du canyon, creusée dans des roches tendres (les marnes aptiennes).

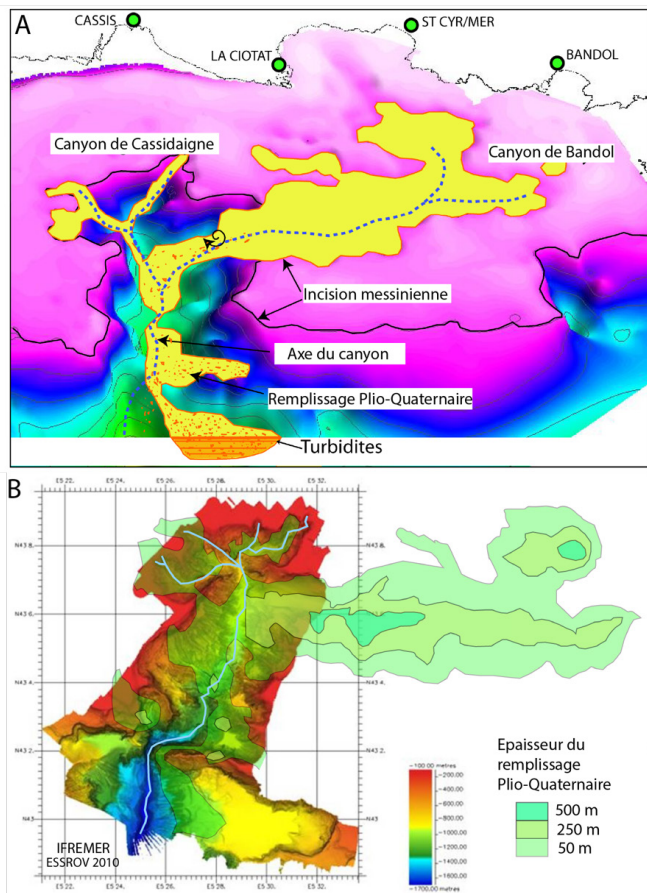


Figure 6 : Érosion messinienne et remplissage plio-quaternaire dans les canyons de Cassidaigne et de Bandol, surimposés à la bathymétrie messinienne en 3D. A - Localisation des dépôts plio-quaternaires (en jaune) au-dessus des incisions des canyons messiniens ; B - Carte de l'épaisseur des dépôts plio-quaternaires dans les canyons surimposés à la bathymétrie actuelle du canyon de Cassidaigne. (Tassy *et al.*, 2014).

Figure 6 : Messinian erosional stage and Plio-quaternary filling in the Cassidaigne and Bandol canyons. A - Location of the Plio-quaternary deposits (in yellow colour); B - Thickness of the Plio-quaternary deposits (Tassy *et al.*, 2014).

La figure 6B montre l'épaisseur de ces dépôts sédimentaires plio-quaternaires. Ils atteignent 500 m dans le canyon de Bandol, alors que dans le canyon de Cassidaigne, ils dépassent rarement les 50 m, en raison des courants érosifs qui les transfèrent à l'aval par gravité, mais également de l'absence de réseau fluvial en amont de Cassidaigne et de la nature calcaire des affleurements côtiers des Calanques (à l'ouest de Cassis) qui ne sont pas propices à un export sédimentaire important. Au contraire, dans la région amont du canyon de Bandol, les cours d'eau côtiers drainent plus de roches détritiques et argileuses (marnes du bassin du Beausset, conglomérats oligocènes à Bandol, socle hercynien du Cap Sicié ...), susceptibles d'être exportées à la mer.

La partie supérieure des sédiments du canyon de Bandol correspond à une sédimentation carbonatée in situ, c'est-à-dire qu'elle ne provient pas de l'érosion du continent mais s'est formée sur place. Il s'agit de calcarénites et calcirudites à algues rouges datées du Pliocène par les échantillons de dragages de C. Froget (1974). Le remplissage du canyon de Bandol correspond ainsi à une sédimentation mixte carbonatée et silicoclastique.

5. Évolution du canyon de Cassidaigne

La liaison entre les deux canyons dès le Messinien pose la question de l'origine du canyon de Cassidaigne et donc du paléo-réseau hydrographique provençal au Messinien. Selon l'hypothèse de A. Tassy *et al.* (2014) les cours d'eau varois du « paléo-Gapeau », de la Reppe, du Destel et du Grand Vallat alimentaient le canyon de Bandol qui lui-même se jetait dans le canyon de Cassidaigne (figure 7). Le canyon de Cassidaigne et le canyon de Bandol peuvent être considérés comme deux segments d'un même canyon (le canyon de « Bandol-Cassidaigne »). Leur évolution morpho-

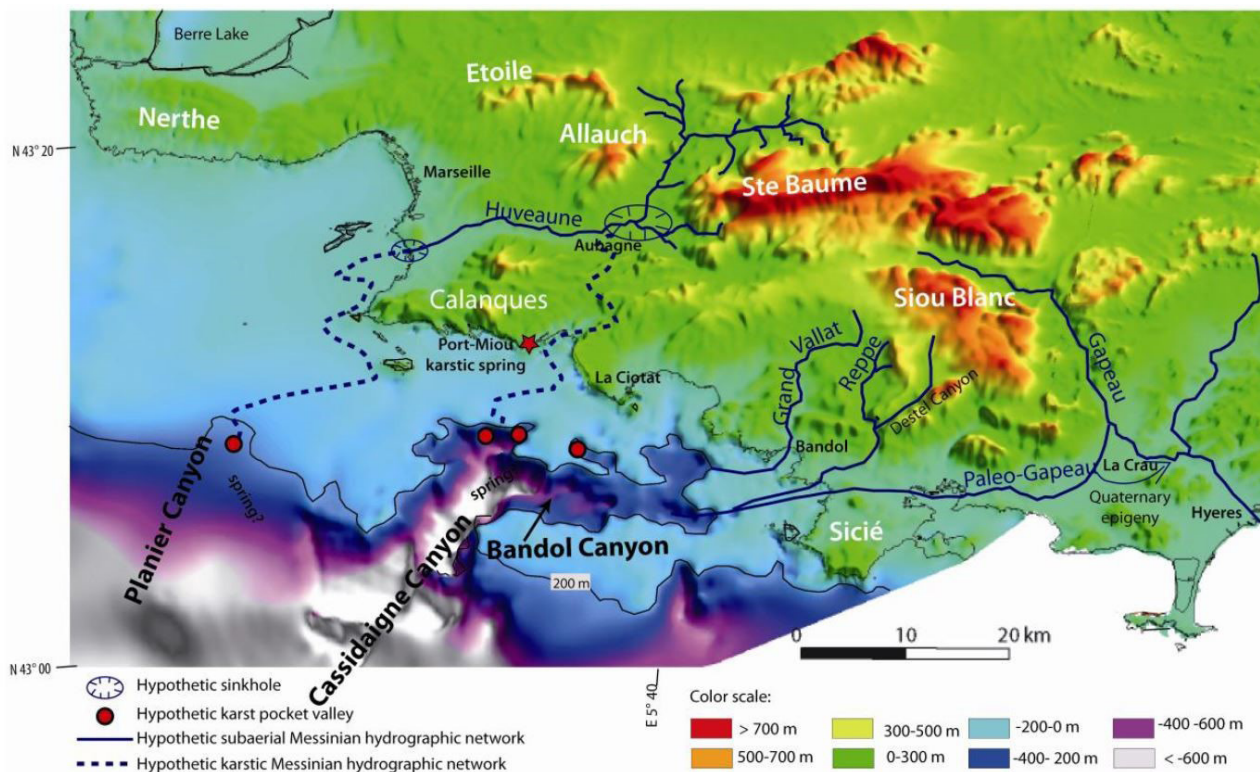


Figure 7 : Hypothèse sur le paléo-réseau hydrographique au Messinien. En mer, la bathymétrie représentée correspond à la période messinienne (Tassy *et al.*, 2014).

Figure 7: Hypothesis on the Messinian paleo-network (Tassy *et al.*, 2014).

sédimentaire étant génétiquement liée, le paléo-réseau hydrographique responsable de la majeure partie du creusement du canyon doit être recherché à l'Est (en amont du canyon de Bandol) et non au nord (en amont du canyon de Cassidaigne). Le Gapeau est le fleuve côtier le plus important de cette localité, drainant les massifs sud-est de la Sainte-Baume et nord-est du Siou-Blanc, avec un débit moyen de 1 300 l/s. Un cours d'eau de cette dimension, associé aux trois autres petits fleuves côtiers a pu permettre l'incision du canyon de Bandol, d'autant plus que d'après C. Journot (1948), l'embouchure du Gapeau se situait dans la rade de Toulon, au Pliocène, directement à l'amont du canyon de Bandol, et pouvait l'alimenter en sédiments. À la fin du Quaternaire, le Gapeau a migré vers l'Est par épigénie au niveau de la Crau, et se jette depuis lors dans la rade de Hyères (figure 7).

Dans le bassin de Marseille, l'absence d'incision messinienne au large de l'Huveaune, et au contraire la présence d'une surface absolument plane, constitue un paradoxe géomorphologique important de la marge provençale. Deux hypothèses ont été proposées par A. Tassy *et al.* (2014) pour l'expliquer. La première est qu'au Messinien l'Huveaune n'avait pas la même physiographie et a pu être capturée dans une perte karstique au niveau du poljé d'Aubagne avant de s'écouler à travers un réseau karstique en direction des réseaux de Port-Miou et Bestouan et du canyon de Cassidaigne au sud, dont l'extrémité nord a pu fonctionner en reculée karstique puisque localement, la tête du canyon incise le calcaire urgonien. Une connexion karstique entre le conduit de Port-Miou et le canyon de Cassidaigne serait possible à condition que les failles et les calcaires argileux situés en amont ne constituent pas de barrière hydraulique. La deuxième hypothèse est que l'Huveaune messinienne empruntait bien le bassin de Marseille et aurait été capturée dans le karst du plateau continental décrit par J. Collina-Girard (1999) avant de ressurgir au niveau du canyon de Planier vers le sud-ouest.

6. Évolution géologique régionale

L'évolution du canyon de Cassidaigne s'inscrit dans l'évolution régionale de la Provence depuis le Miocène. Des restaurations de la paléo-topographie provençale de la terre à la mer du Tortonien à l'Holocène ont été réalisées dans un modèle 3D (Tassy, 2012). Des indications paléogéographiques telles que les paléo-rivages, canyons et cours d'eau sont proposées pour chaque étape géologique de la restauration (figure 8).

Au Tortonien : la mer Miocène envahit les zones basses et seuls émergent les principaux massifs comme l'Étoile ou la Sainte-Baume. Des traces de cette transgression sont encore visibles dans certains karsts (Masse, 1971 ; Philip *et al.*, 1975 ; Daoudi, 2009).

Au Messinien : la Crise de salinité Messinienne (figure 8A) entraîne l'exhumation complète de la marge, la mise en place de cours d'eau qui permettent l'incision des canyons de Bandol et Cassidaigne, et le développement d'un karst profond contrôlé par le niveau de base abaissé. Le canyon de Cassidaigne est incisé par l'Huveaune qui pourrait alors traverser les gorges du Douard situées au sud d'Aubagne. Un karst profond drainant la Sainte-Baume et la partie occidentale de l'Unité du Beausset, connecté au réseau inférieur de la grotte de Port-Miou, pourrait émerger, 1 000 m au-dessus de son niveau de base, dans la partie amont du canyon de Cassidaigne. Il serait confiné par des structures géologiques défavorables à la karstification situées juste au sud (marnes aptiennes et chevauchement des écaillles de Bandol). Le canyon de Bandol, de direction E-W est incisé par les cours d'eau mineurs drainant le cœur de l'Unité du Beausset (la Reppe, le Destel, le Grand Vallat) et du paléo-Gapeau, qui draine à la fois le bassin du Beausset au NW et le massif métamorphique au SE.

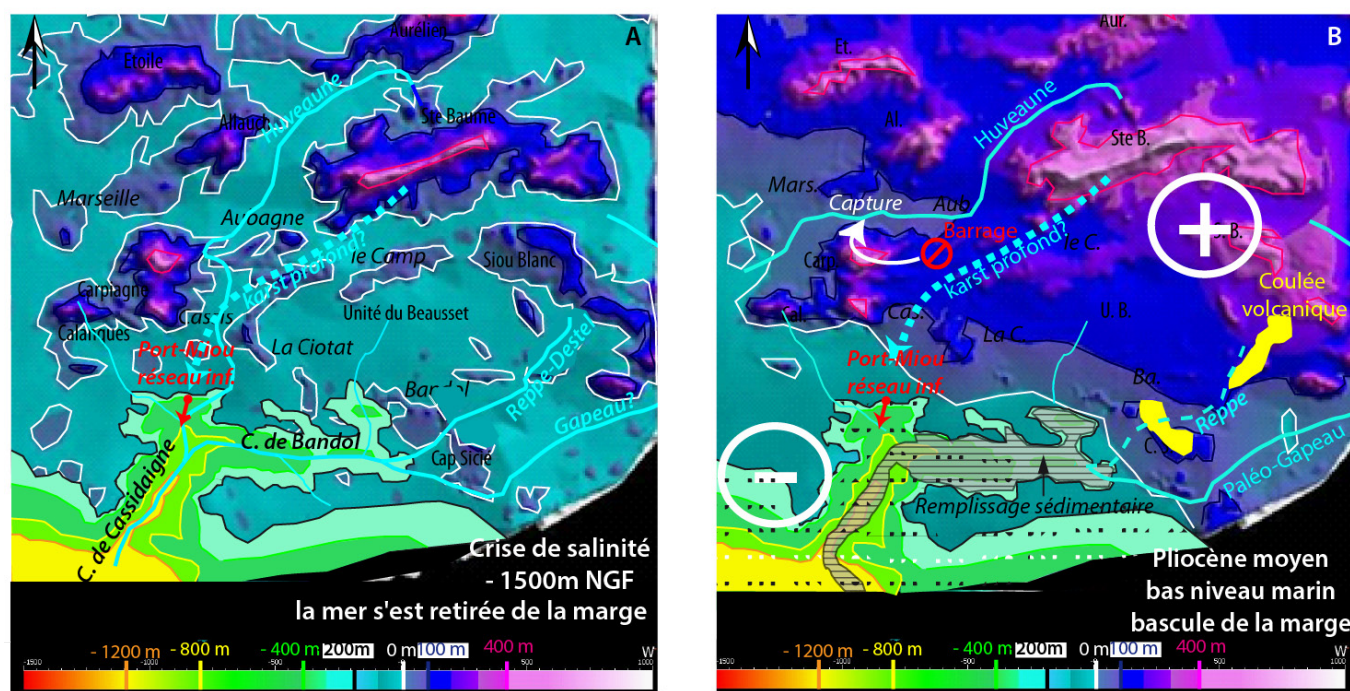


Figure 8 : Paléogéographies de la Provence au Messinien (A) et au Pliocène moyen (B). L'échelle de couleur pour chaque figure indique des altitudes par rapport au zéro marin actuel. Sur la figure 8B, les pointillés noirs représentent la mer, les hachures horizontales noires dans les canyons représentent le remplissage sédimentaire. Le plus et le moins représentent les mouvements verticaux de la marge qui bascule vers le SW (Tassy, 2012).

Figure 8: Paleogeographical evolution of Provence during Messinian (A) and Middle Pliocene (B). Altitudes are indicated related to the current marine level. Symbols + and - in figure 8B, indicate the vertical uplift or drowning.

Au Pliocène moyen (figure 8B) : un rebond isostatique entraîne le soulèvement de la marge tandis que la remontée de la mer envahit progressivement les canyons messiniens. Les canyons sont remplis par les sédiments et les fleuves changent de cours notamment à cause du volcanisme (le cours de la Reppe est barré par la coulée volcanique d'Evenos) ou de la tectonique (le soulèvement des massifs au nord de Cassis entraîne un barrage topographique contraignant l'Huveaune à changer son cours en direction de la rade de Marseille). Le Gapeau a migré plus tard vers la rade d'Hyères à l'Est (Journot, 1948).

7. Les activités anthropiques dans la « fosse de Cassidaigne »

En raison de sa grande profondeur, sa proximité des côtes et sa structure en vase clos, la fosse de Cassidaigne intéressa d'abord les pêcheurs qui y trouvaient des espèces de poissons différentes de celles du plateau continental, puis les botanistes et les biologistes marins qui y trouvaient des espèces de zones profondes. Ensuite, les spécialistes des plongées profondes de J.-Y. Cousteau à G. Delauze (sites d'Hydra VIII et de la Comex) y ont mené plusieurs expériences scientifiques et technologiques.

La principale polémique environnementale sur le canyon de Cassidaigne concerne le déversement des « boues rouges » issues de l'usine d'alumine de Gardanne. Ces effluents sont acheminés dans le canyon de Cassidaigne par une conduite

de 47 km de long, de Gardanne à Cassis et de 7 km de long de Cassis au canyon de Cassidaigne où ils sont déversés à une profondeur de 320 m. C'est ainsi que depuis plus de 50 ans, 35 millions de tonnes de boues rouges ont été déversées dans ce canyon. Ces effluents contiennent principalement du fer ferrique (49 000 t) et des produits de transformation de la bauxite en alumine non « métallurgique » (c'est dire non destiné à la fabrication d'aluminium) tels que de la soude. Cette transformation de la bauxite en alumine par le procédé « Bayer » laisse aussi des produits toxiques tels que de l'arsenic (0,33 t), du mercure, de l'oxyde de titane (17 000 t), du chrome (321 t), du zinc (15 t), du plomb (13 t), du cuivre et du nickel (7 t) et un peu d'uranium. Par comparaison les « boues rouges » de Gardanne entreposées au nord de Marseille indiquent une radioactivité faible. Étant donné la faible quantité de dépôts sédimentés dans le canyon de Cassidaigne, les 35 millions de tonnes de « boues rouges » déversées ont été certainement transportées au large par les courants qui balayent le canyon. La figure 9 montre la diffusion de ces produits sur la marge continentale provençale. La figure 9b montre la conduite des boues rouges à sa sortie dans le canyon et la répartition du titane sur la marge continentale. On peut reconstituer le « panache » de diffusion au droit du canyon de Cassidaigne qui se distingue nettement du « bruit de fond » du Titane (en vert d'eau). Ces figures montrent aussi que le courant ligure qui balaye d'est en ouest la marge provençale n'a pas évacué ces produits vers le golfe du Lion.

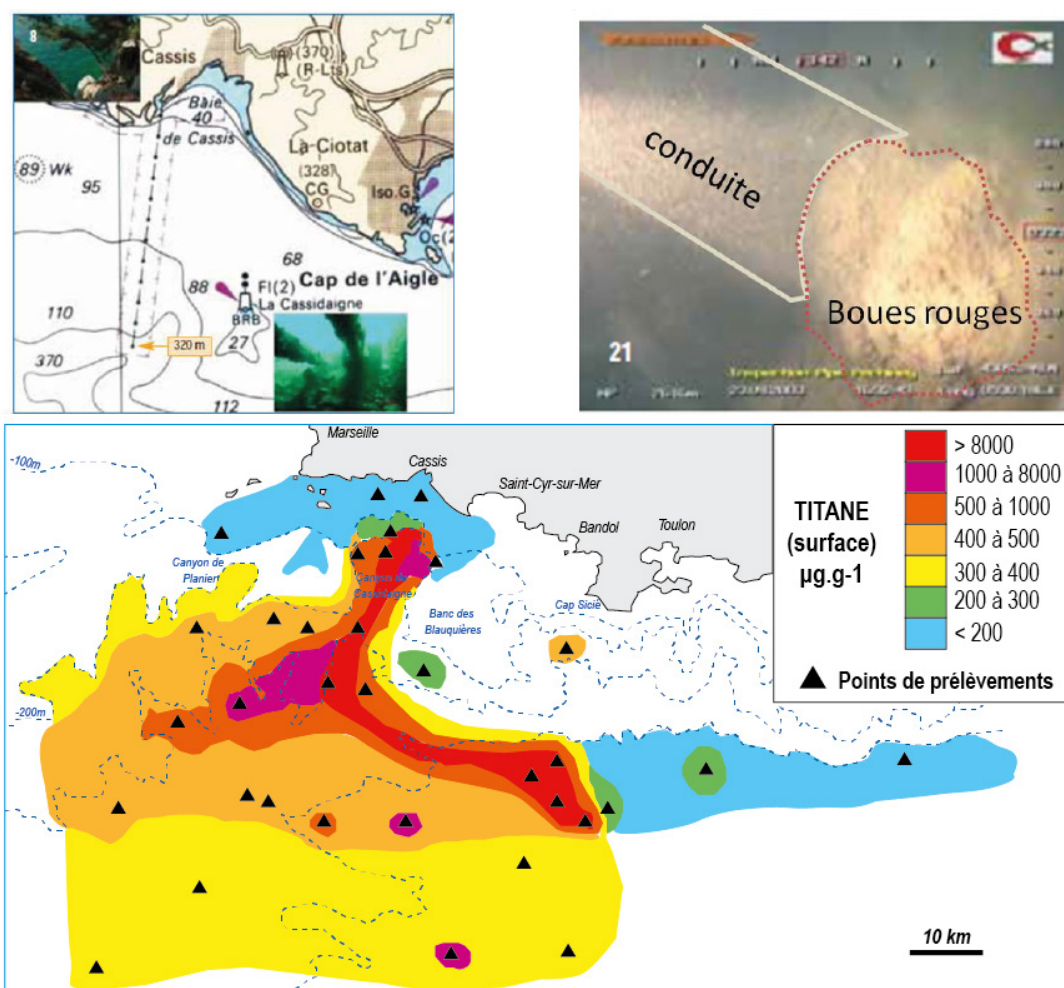


Figure 9 : Diffusion des effluents sur la marge provençale et répartition du Titane au large de Cassis (Arnoux et Stora, 2003).

Figure 9: Titane distribution related to flow sediments dispersion, out of the Cassidaigne canyon (Arnoux and Stora, 2003).

8. Conclusions

Une conclusion majeure que l'on peut tirer de l'étude géologique de ce canyon de Cassidaigne, est que, contrairement à des canyons voisins, il ne retient pas les sédiments, qui sont évacués par les courants gravitaires dans l'axe du canyon. D'autre part, l'amont du canyon de Cassidaigne montre une forte composante E-W au Messinien, qui correspond au canyon de Bandol. Ce canyon, actuellement comblé, est connecté au flanc Est du canyon de Cassidaigne. Leurs évolutions morpho-sédimentaires sont génétiquement liées. Leur origine est liée à l'incision des cours d'eau varois du Gapeau, de la Reppe, du Destel et du Grand Vallat, en amont du canyon de Bandol, ainsi que par un phénomène de reculée karstique localisé au niveau de la tête nord-ouest du canyon de Cassidaigne, et connecté au réseau karstique messinien profond des sources sous-marines de Cassis.

Dans tous les cas, la fosse de Cassidaigne (la partie nord du Canyon) a attiré l'attention des océanographes qui en ont fait un lieu d'expérimentation notamment pour le développement des technologies pour les plongées sous-marines (site Hydra VIII de la Comex). Mais, malheureusement il a aussi attiré l'intérêt des industriels qui y ont trouvé un lieu discret à l'époque, pour y déverser des déchets industriels comme les « boues rouges » de l'usine d'alumine de Gardanne. D'un simple point de vue géologique, ce canyon qui est à cheval sur deux unités géologiques majeures de la Provence, est une fenêtre ouverte sur le prolongement en mer des structures provençales.

Remerciements

Nous tenons à remercier les équipages et les capitaines du N.O. « Tethys » qui ont permis les acquisitions de sismique et de dragage, au cours des missions CASSEIS.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arnoux A., Stora G.** (2003) - Analyses granulométriques et chimiques des sédiments prélevés dans la zone de rejet des boues résiduelles de l'industrie de l'aluminium (Campagne Alpecast 2 sept-oct 2002), Comité de suivi scientifique résidus de Bauxite Aluminium. Péchiney.
- Bellaiche G., Mascle J., Recq M.** (1991) - Interprétation géologique des profils sismiques réalisés au sud du massif des Maures. C. R. Acad. Sc., Paris, 272, sér. D, 1960-1963.
- Blanc J.-J.** (2010) - Explorations sous-marines : les karsts et les surfaces d'érosion au large de la Provence occidentale. *Karstologia*, 55, 27-38.
- Blanc J.-J., Degiovanni C., Poydenot F., Roux M.-P., Weydert P.** (1992) - Les escarpements sous-marins de la marge continentale de la Provence (SO du Banc des Blauquières aux canyons de Sicié). *Étude géomorphologique. Géol. Méditer.* ; 19, 1 : 3-17.
- Blanc J.-J., Blanc-Vernet. M.** (1966) - Affleurements sous-marins du Barrémien et de l'Aptien dans la baie de Cassis, C. R. Acad. Sc. Paris, t. 262, 1398-1399.
- Bourcart J.** (1960) - Carte topographique du fond de la Méditerranée occidentale. *Bull. Musée Océan. Monaco*, t. 1163, 20 p.
- Clauzon G.** (1978) - The Messinian Var canyon (Provence, Southern France). *Paleogeographic implications. Marine Geol.*, 27, 3/4, 231-246.
- Clauzon G.** (1973) - The eustatic hypothesis and the pre-Pliocene cutting of the Rhône valley. In : W.B.F. Ryan and K.J. Hsü (Editors), *Initial Report of the Deep Sea Drilling Project*, Washington, t. XIII, part.2, 1251-1256.
- Clauzon G.** (1982) - Le canyon messinien du Rhône : une preuve décisive du " Desiccated deep-basin model " [Hsu, Cita, Ryan, 1973]. *Bull. Soc. géol. France*, 24, 3, 597-610.
- Clauzon G., Suc J.-P., Gautier F., Berger, A., Loutre M.-F.** (1996) - Alternate interpretation of the Messinian salinity crisis: Controversy resolved? *Geology*, 24, (4), 363-366.
- Collina-Girard J.** (1996) - Préhistoire et karst littoral : La grotte Cosquer et les Calanques marseillaises (Bouches-du-Rhône, France). *Karstologia*, 27, 27-40.
- Collina-Girard J.** (1999) - Réseaux de vallées et prospection sismique : relation et implications structurales sur le plateau continental (Marseille, Bouches-du-Rhône, France). C. R. Acad. Sci. Paris, II, 329, 357-362.
- Daoudi B.** (2009) - Formations « post-urgoniennes » dans deux dépressions du massif des Calanques (de Marseille à Cassis). *Mémoire de Master 1*, Université de Provence, Marseille, 35 p.
- Fournier F., Tassy A., Thinon I., Munch P., Cornée J.-J., Borgomano J., Léonide P., Beslier M.-O., Fournillon A., Gorini C., Oudet J., Rabineau M., Sage F., Toullec R.** (2016) - Pre-Pliocene tectonostratigraphic framework of the Provence continental shelf (eastern Gulf of Lion, SE France). *Bull. Soc. Géol. France*, 187, 4-5, 187-215.

Froget C. (1966) - Découvertes de formations quaternaires sous-marines au banc du Veyron (Baie de Marseille). C. R. Acad. Sc. Paris, 263, 1352-1354.

Froget C. (1967) - Découvertes d'affleurements quaternaires anciens sur le Précontinent provençal au large de l'île de Riou. C. R. Acad. Sci. Paris, (D), 264, 2, 212-214.

Froget C. (1974) - Essai sur la géologie du pré continent de la Provence occidentale, Thèse de doctorat, Univ. Aix-Marseille, 219 p.

Journot C. (1948) - Le couloir périphérique des Maures. In: Annales de Géographie., t. 57, n°306. pp. 109-118. doi :10.3406/ geo.1948.12225.

Leenhardt O., Pierrot S., Rebuffatti A., Sabatier H. (1969) - Étude sismique de la zone de Planier (Bouches du Rhône). Revue de l'Institut Français du Pétrole, XXIV, 11, 261-1287.

Masse J.-P. (1971) - Présence de remplissages marins dans les cavités karstiques à la barre de Rognac (Les Pennes-Mirabeau-B.-du-Rh.). Bulletin du Muséum d'Histoire Naturelle de Marseille, XXXI.

Philip J., Anglada R., Rousset C., Tronchetti G. (1975) - Sur la découverte d'un nouveau témoin de la transgression miocène en Basse Provence occidentale. Implications paléogéographiques. C. R. Acad. Sc. Paris, 280, D, 411-414.

Ryan W.B.F., Cita M.B. (1978) - The nature and distribution of Messinian erosional surfaces; indicators of a several-kilometer-deep Mediterranean in the Miocene. Marine Geol., 27, 3-4, 193-230.

Tassy A. (2012) - Karsts côtiers et canyons sous-marins de la marge provençale au Cénozoïque : contrôle géodynamique, eustatique, hydrologique et structural. Thèse de l'Université d'Aix-Marseille, 2012, 414 p.

Tassy A., Fournier F., Munch P., Borgomano J., Thinon I., Fabri M.-C., Rabineau M., Arfib B., Begot J., Beslier M.-O., Cornée J.-J., Fournillon F., Gorini C., Guennoc P., Lénide P., Oudet J., Paquet F., Sage F., Toullec R. (2014) - Discovery of Messinian Canyons and new seismic stratigraphic model, Offshore Provence (SE France): Implications for the hydrographic network reconstruction. Marine and Petroleum Geology, 57, 25-50.

Villeneuve M. (coord.) *et al.* (2018) - Mémoire explicatif. Carte géol. France (1/50 000), feuille Aubagne-Marseille, 3ème édition (1044). Orléans : BRGM, 333 p. Carte géologique par Laville P., Monteau R., Villeneuve M. *et al.*, Géologie de la France, 3.