

Méditerranée

Revue géographique des pays méditerranéens / Journal of Mediterranean geography

Paleoenvironment, Geoarchaeology, Historical Geography

2023

Géoarchéologie portuaire de la cité de Cumes (Campanie, Italie)

Harbour Geoarchaeology of Cuma (Campania, Italy)

CHRISTOPHE MORHANGE AND LISE STEFANIUK

Abstracts

Français English

La reconstitution paléo-environnementale obtenue de l'étude bio-sédimentologique des carottages permet d'affirmer que Cumes (région napolitaine, Italie) possédait, grâce à la présence de la lagune de Licola au nord de la cité, un abri côtier susceptible d'être utilisé comme port protégé dès l'époque archaïque. Néanmoins ce dernier devait être difficile d'accès via un grau. La présence de barres d'avant côtes à fleur d'eau rendait l'accès au chenal relativement périlleux. De plus, la migration au cours des siècles de ce dernier a dû également poser un problème délicat d'accessibilité pour les navires. Il faut aussi signaler les problèmes de colmatage accélérée de la lagune et les fluctuations du plan d'eau qui ont dû entraîner une adaptation régulière des structures portuaires et des relocalisations des installations. Les dynamiques géomorphologiques de la région de Cumes expliquent la rapide suprématie des ports proches mais moins contraignants comme Pouzzoles ou Misène aux dépens du médiocre abri côtier de Cumes-Licola. L'importance du bassin lagunaire de Cumes-Licola ne fit donc que décroître au fil des siècles jusqu'à disparaître, entièrement colmaté. À l'époque moderne seules de petites barques de pêche pouvaient encore circuler.

The bio-sedimentological study and paleo-environmental reconstruction of core samples confirm that Cumae, located in the Neapolitan region of Italy, had a coastal shelter inside Licola lagoon to the north of the city. This shelter was likely used as a harbour basin from the archaic period, although it was difficult to access due to a narrow channel and foreshore bars that made navigation perilous. Over the centuries, the channel's migration posed an ongoing challenge for accessibility. In addition, the lagoon suffered from accelerated clogging and fluctuating water levels, which necessitated the regular adaptation of port structures and installation relocation. The geomorphological dynamics of the Cumae region explain why nearby ports such as Pozzuoli, Miseno, and Portus Iulius, which were less restrictive and more easily accessible, quickly gained prominence at the expense of Cumae-Licola's poor coastal shelter. As a result, the importance of Cumae-Licola's lagoon basin decreased over time, ultimately disappearing. In modern times, only small fishing boats could navigate inside the area.



Full text

Cette recherche a été financée par le Centre Jean Bérard de Naples et a bénéficié de la collaboration de collègues que nous remercions pour leurs contributions respectives, tout particulièrement Michel Bats et Jean-Pierre Brun (archéologie et céramologie), Pierre-Frédéric Blanc (géomorphologie), Michel Bourcier (malacologie), Pierre Carbonel (ostracodes), Sylvain Francou (sédimentologie), Françoise Gasse et Christine Pailles (diatomées), Jean-Philippe Goiran (géomorphologie), Joël Le Campion (foraminifères), Marc Pessel et André Revil (géophysique) et Laetitia Vecchi (sédimentologie).

- 1 Le territoire de Cumes, considérée par Strabon comme la doyenne des colonies grecques d'Occident, pose de nombreux problèmes paléogéographiques et géoarchéologiques. Son histoire est relativement bien connue grâce aux sources littéraires, iconographiques et archéologiques, mais ni les unes, ni les autres ne fournissent de précisions quant aux variations des lignes de rivage et du niveau de la mer. Ainsi, on ignore toujours la localisation et l'organisation spatiale du ou des ports antiques.
- 2 Depuis sa fondation, le contexte environnemental forme la toile de fond de l'histoire de Cumes. La réalisation de quatre campagnes de carottages au sud-ouest et au nord du rocher, de deux missions géophysiques et de nombreux sondages archéologiques, a permis de préciser les dynamiques paléo-environnementales depuis environ 4 000 ans, qui infirment les travaux de Schmiedt (1964) et Paget (1968). Nous avons élaboré une nouvelle proposition de localisation du port antique de Cumes dans l'ancienne lagune de Licola (Vecchi *et al.*, 2000 ; Stefaniuk, 2002 ; Stefaniuk *et al.*, 2006 ; Stefaniuk et Morhange, 2010). De nouvelles informations ont aussi pu être obtenues concernant les impacts du développement de la cité sur les milieux de sédimentation, et plus particulièrement sur les rythmes du colmatage sédimentaire de la lagune de Licola. Cet article est une synthèse des études géomorphologiques et sédimentologiques effectuées depuis 1987. Il se base sur la discussion de trois carottages du projet Eubea publiés par Bravi *et al.*, en 2003, ainsi que sur les analyses de treize carottes effectuées par le Centre Jean Bérard et dont les résultats ont été partiellement publiés. Une première campagne de carottages a été effectuée par la société CETE en 1996 (C1 à C9-10) dont l'étude a été réalisée par Goiran (1997), complétée par une seconde campagne de carottages effectuée en 1997 (C1 à C16) au nord et au sud du rocher. Vecchi (1999), Blanc (1999) puis Francou (2000) ont ensuite analysé des carottes prélevées dans la paléo-lagune de Licola et au sud-ouest du rocher de Cumes.

I. Un contexte naturel régional contraignant

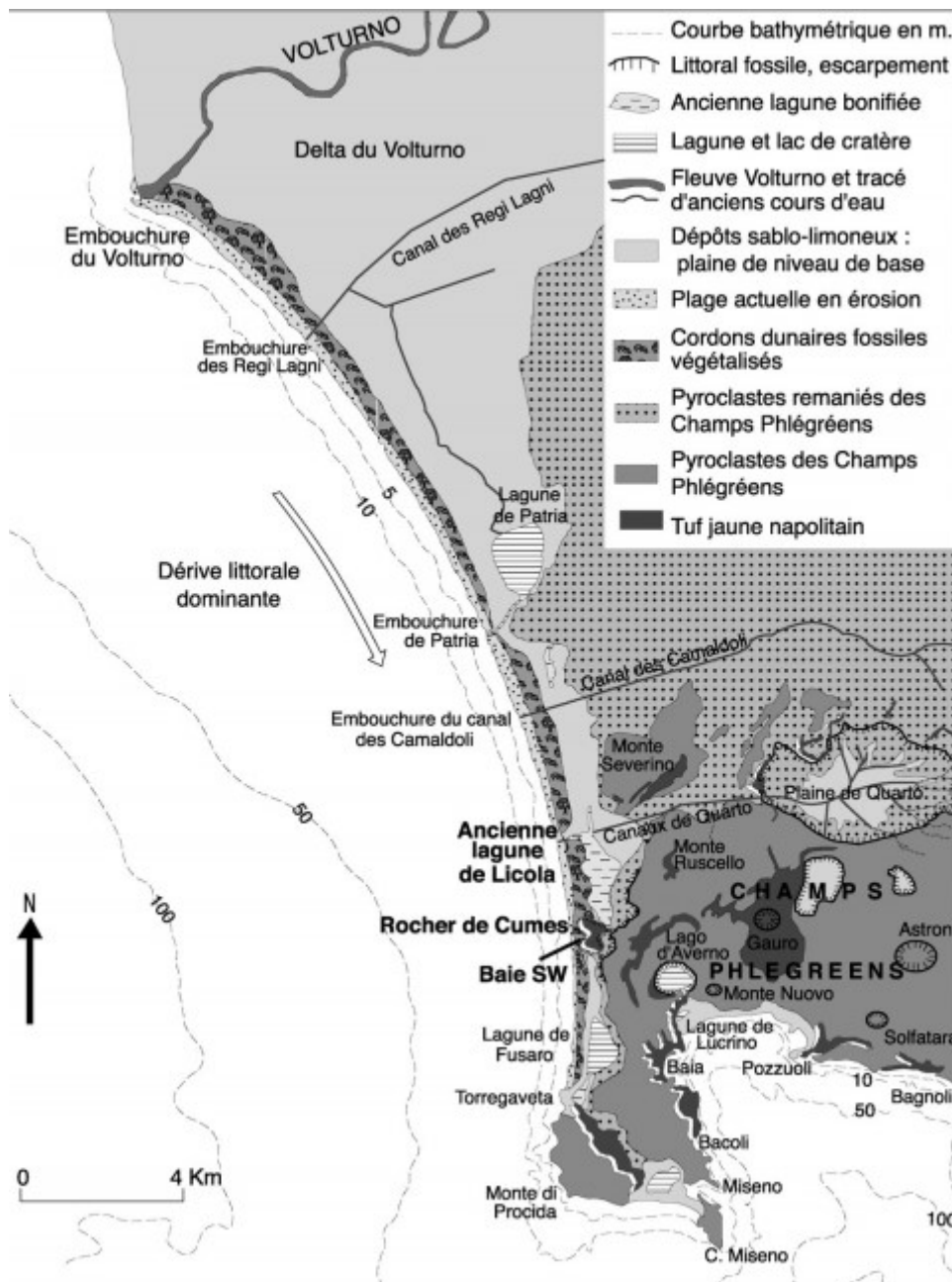
- 3 Au premier abord, le site de Cumes apparaît attrayant pour des colons grecs en quête de nouveaux terroirs agricoles en Méditerranée occidentale aptes à promouvoir un développement économique et commercial. La situation géographique est aussi un atout dans une zone de contacts. À plus grande échelle, le site présentait aussi des avantages. Il s'agit d'un rocher isolé qui est relativement facile à défendre. En revanche, ses plages sont très exposées aux houles et en marge méridionale du delta du Volturno, caractérisé par une progradation d'origine terrigène importante depuis ca. 6 000 ans.



I.1. Contexte géomorphologique

- 4 Située à la limite septentrionale des Champs Phlégréens, (fig. 1) le rocher de Cumes, dôme volcanique de 80 m de haut, témoigne d'une intense activité volcanique qui a commencé depuis près de 40 000 ans. La région des Champs Phlégréens couvre une superficie de 15 000 hectares environ, de Naples à l'île d'Ischia, et se caractérise par une organisation structurale complexe, composée de multiples bouches éruptives. L'activité volcanique et tectonique entraîne une mobilité verticale du substrat et par conséquent des variations relatives du niveau de la mer, fréquentes, rapides et de fortes amplitudes (Morhange *et al.*, 2006).

Figure 1 : Situation de Cumes (Campanie, Italie)



- 5 Les Champs Phlégréens ont enregistré quatre grandes périodes d'activité volcanique (Rosi et Sbrana, 1987). (1) La première phase d'activité (42 000 BP-35 000 ans BP) se singularise par des pointements de lave acide. (2) L'épisode de l'Ignimbrite campanienne (vers 35 000 ans BP) est caractérisé par un dépôt pyroclastique hétérogène. (3) La troisième phase se traduit par une activité volcanique sous-marine dont l'épisode principal est le dépôt du « tufo giallo napoletano » (35 000 BP-11 500 ans BP) suivi de (4) phases éruptives plus récentes avec, dans le secteur occidental, les éruptions des volcans Gauro, Archiaverno, Monte



Ruscello, Baia et Fondi di Baia (10 500 BP-8 000 BP, Di Girolamo *et al.*, 1984) puis celles d'Agnano (4 400 BP), de l'Averno (3 700 BP), de la Solfatare (1198 AD), et enfin du Monte Nuovo (1538 AD).

- 6 Ces épisodes volcaniques ont joué un rôle prépondérant dans l'organisation des paysages géomorphologiques. De la première phase ne subsiste que quelques culots de trachyte résistante, tels que celui du rocher de Cumes. L'Ignimbrite campanienne a surtout fossilisé les paléo-reliefs. Elle a laissé deux types de témoignages dans le modelé actuel : d'une part des formes d'effondrement comme l'immense caldeira de Pouzzoles (Scandone *et al.*, 1991) qui offre de nombreux abris côtiers naturels et d'autre part, des formations tendres de tuf volcaniques. Ces dépôts sont hétérométriques du fait de la brutalité de leur mise en place (scories, lapilli, ponces de tailles variées...). Certaines formations se caractérisent par une quasi-absence de matrice cendreuse (Di Girolamo *et al.*, 1984). Cette caractéristique explique un démantèlement accéléré de ces dépôts par érosion. Le « tufo giallo napoletano » occupe une vaste superficie d'épandage, représentant 80% des affleurements rocheux. Les produits pyroclastiques sont stratifiés et constitués de ponces et de fragments plus ou moins grossiers dispersés dans une matrice cendreuse (Lirer et Munno, 1975), ce qui rend ces affleurements facilement érodables. La porosité des tufs facilite leur désagrégation mécanique granulaire.
- 7 La stabilisation du niveau marin vers 6 000 ans BP (Cinque *et al.*, 1988 ; Vacchi *et al.*, 2016) et les apports sédimentaires importants du Volturno, situé à une vingtaine de kilomètres au nord, favorisent la mise en place d'un delta lobé progradant. La dérive littorale dominante, de direction nord-sud, reprend en charge le matériel sableux qu'il redistribue le long de la côte, entraînant la mise en place précoce d'un cordon dunaire entre le Volturno et Cumes, puis entre Cumes et Monte de Procida plus au sud (Poupet et Harfouche, 2005, (fig. 2). Ce cordon se compose d'un alignement de dunes et de dépressions interdunaires fossiles et végétalisées, qui révèlent une succession de rivages traduisant la progradation pluri--millénaire du trait de côte vers l'ouest (Barra *et al.*, 1996). Le cordon le plus occidental est en érosion depuis le XXe siècle. Enfin, des barres d'avant côte opposent des obstacles sous-marins à la navigation du fait des houles déferlantes liées à la présence de ces hauts fonds.

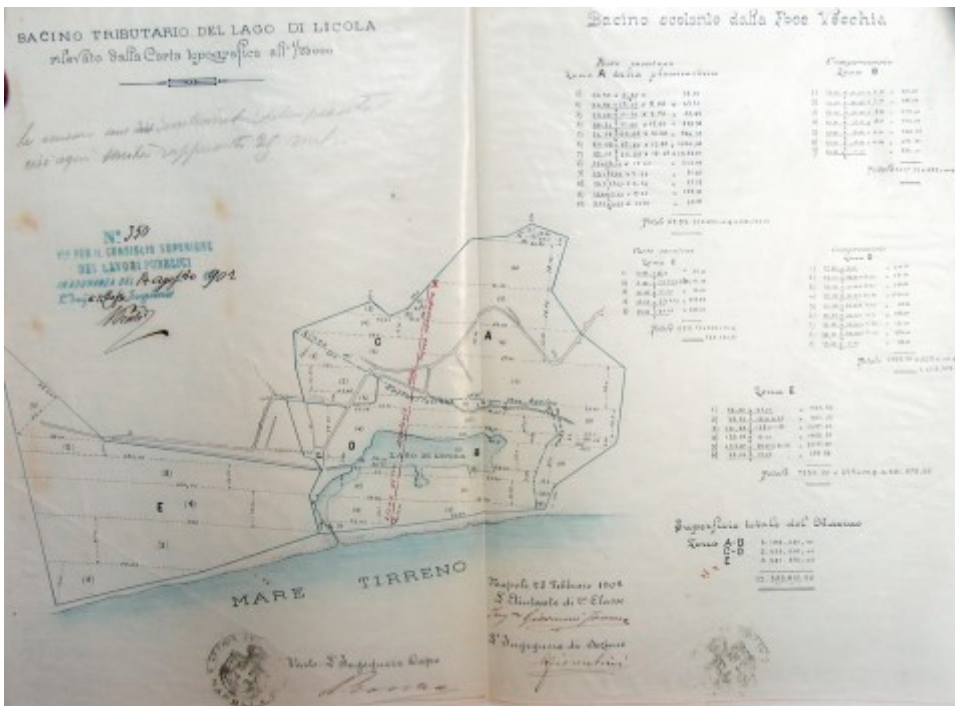
Figure 2 : Site de Cumes





Galerie des cartes géographiques, Musées du Vatican. Le nord est en bas. Milieu du XVIe siècle.

Fig. 4 : Carte de bonification de la lagune de Licola



1902, ACS Roma n° INV 52-27.20

Fig. 5 : Carte topographique de la lagune de Licola

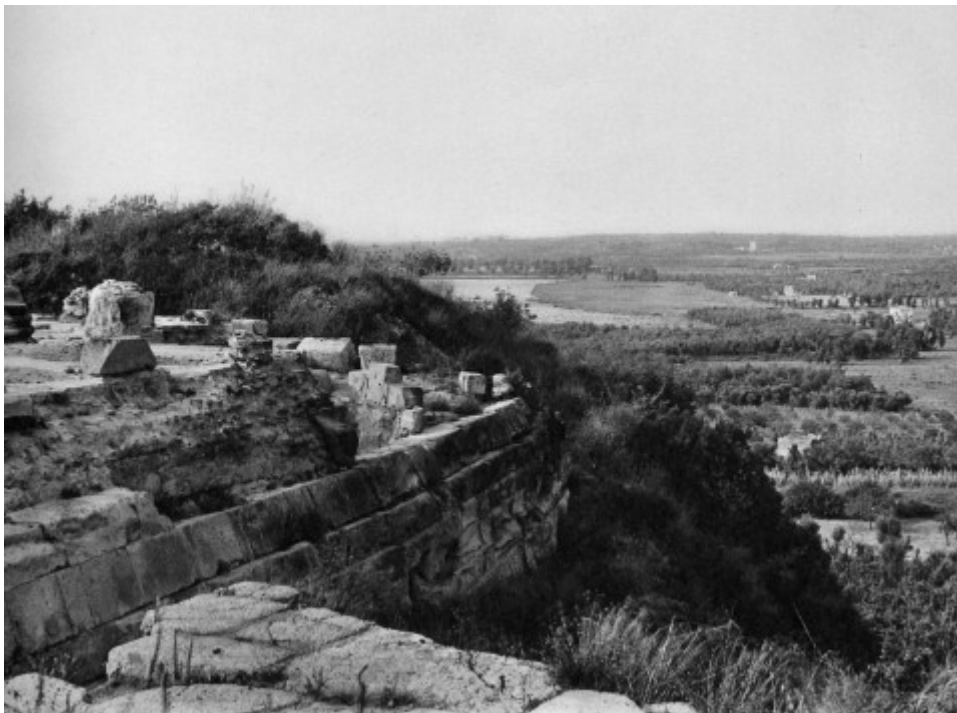




Les hauteurs de colonne d'eau sont inférieures au m. Il s'agit de la dernière étape de colmatage du marécage avant bonification.

1902, ACS Roma n° INV B006

Fig. 6 : Héliogravure de la marge orientale de la lagune de Licola au début du XXe siècle (vers 1912)



In Bérard (1933), *Dans le sillage d'Ulysse - album odysseén* (Colin), cliché F. Boissonnas.

I.2. Les variables climatiques de la morphogenèse actuelle

- ⁹ La région napolitaine bénéficie d'un climat typiquement méditerranéen, aux températures douces (température moyenne maximale : 20,8 °C, température moyenne minimale : 11,0 °C, minimum absolu : -3,9 °C, station de Napoli-Capodichino) grâce au rôle modérateur de la mer et à sa position méridionale (40°N). Le régime pluviométrique est caractérisé par une importante sécheresse estivale (seulement 60 mm de précipitations en trois mois à Naples) ponctuée de

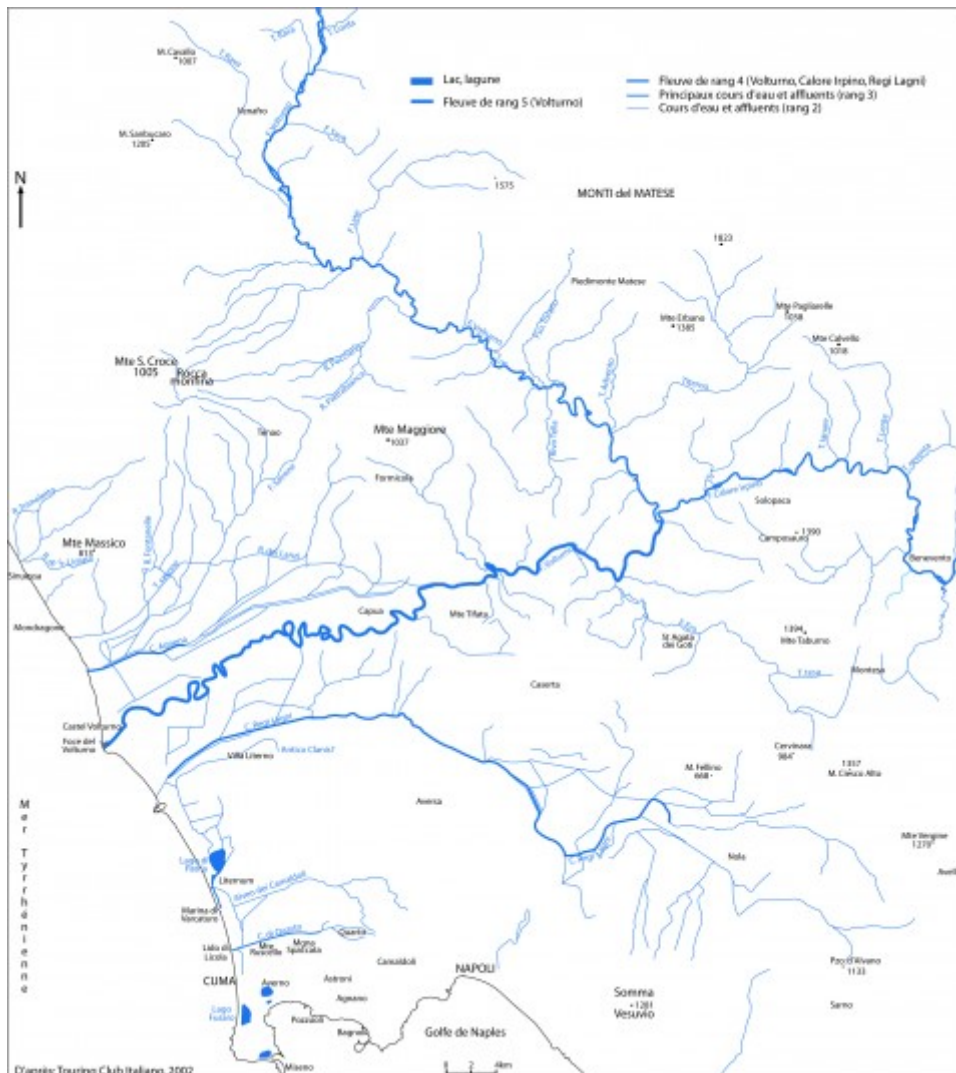


précipitations irrégulières et violentes, et deux saisons pluvieuses en automne et en hiver. Les précipitations, relativement abondantes (entre 875 mm à Naples et 1 050 mm à Caserta) du fait de la proximité de la chaîne Apennine, induisent une importante érosion physico-chimique du substrat, d'autant plus que les pentes des édifices volcaniques sont raides. Une importante quantité de matériel meuble et tendre est ainsi remobilisable, à l'origine d'une évolution rapide des versants.

1.3. Les variables hydrologiques

10 Outre les facteurs sus-mentionnés, l'évolution des fleuves a des conséquences géomorphologiques directes sur la mobilité des paysages de Cumes du fait de l'importance des apports sédimentaires. Le fleuve Volturno, d'une longueur totale de 175 km, prend sa source au pied des Abruzzes. Il possède un bassin versant relativement raide (2 238 m à la source) et vaste (5560 km²), d'autant plus si l'on ajoute les eaux de son principal affluent, le Calore Irpino, qui draine environ 3 060 km² en amont de Salerno (fig. 7) ; Onorati, 1998).

Figure 7 : Réseau hydrologique de la Campanie méridionale



11 La proximité des montagnes renforce sa compétence (débit moyen annuel : 103 m³s⁻¹; Surian et Rinaldi, 2003) par la fonte des neiges et par des précipitations abondantes (environ 1 150 mm/an à Isernia sur le Volturno et 1 300 mm/an à Avellino sur le Calore Irpino (Walter *et al.*, 1964). Ce fleuve peut donc transporter un stock de matériel détritique considérable (1,4 million de tonnes par an en moyenne pour la charge turbide, Bellotti, 2000). Abalsamo (1994) décrit un régime hydraulique assez régulier, mais les crues peuvent atteindre un débit de 1800m³s⁻¹



(Surian et Rinaldi, 2003). Dans la partie aval du Volturno, entre les massifs volcaniques du Monte S. Croce au nord et les Champs Phlégréens au sud, les sédiments holocènes recouvrent la plaine sur une épaisseur qui peut atteindre 40 m au centre du delta (Romano *et al.*, 1994).

12 Pour atteindre son embouchure, le Volturno traverse des terrains relativement variés. Il parcourt tout d'abord les reliefs carbonatés des Apennins, du Matese au nord et les monts Picentini au sud, puis les massifs du Massico, du Monte Maggiore, du Sarno et du Monte Lattari qui entourent la vaste dépression tectonique de la plaine nord campanienne. Le Volturno finit sa course dans les épandages volcaniques du Monte S. Croce au nord et du Monte Spaccata et des Champs Phlégréens au sud. La charge en carbonates (autour de 15 % de CaCO₃ dans les sédiments au débouché du Volturno, Pennetta *et al.*, 1998) et en quartz s'avère relativement importante. La composition minéralogique du fleuve (mesure en aval de Capoue ; Gandolfi et Paganelli, 1984) se répartit entre les quartz (25 %), les feldspaths (10 %), les fragments de roches volcaniques (15 %) et les carbonates (25 %). La présence de carbonates permet d'individualiser les stocks de sédiments issus du Volturno, auxquels s'ajoutent des minéraux primaires: augite, calcite, biotite et des minéraux altérés: smectite, vermiculite, illite, kaolinite, chlorite et autres ponces volcaniques (Devivo *et al.*, 2001) des stocks provenant des Champs Phlégréens (essentiellement sanidines, pyroxènes, biotites, ponces...). Les données de Gandolfi et Paganelli (1984) sur la composition minéralogique des plages entre le débouché du Volturno et Monte di Procida montrent une décroissance des pourcentages de quartz entre le débouché (~40 %) et le promontoire de Procida (~20 %) au profit des minéraux d'origine volcanique qui croissent à plus de 20 % à Monte di Procida. Les pourcentages de carbonates restent stables avec des valeurs autour de 28 %. Ces valeurs témoignent du remaniement par la dérive littorale des sables fluviaux avec un gradient décroissant nord-sud des quartz et un enrichissement en minéraux volcaniques acides provenant des Champs Phlégréens.

13 Les divagations du Volturno lors de fortes crues, tendent à décaler toujours plus au sud son embouchure (Cocco *et al.*, 1984). Des paléo-méandres sont encore visibles dans le paysage comme sur les cartes topographiques anciennes. Ce style fluvial méandrique s'explique par des phénomènes classiques de capture et par une pente topographique particulièrement faible. Ces méandres traduisent une vitesse réduite des eaux et une charge sédimentaire composée de sédiments fins (sables, limons, argiles). La migration du lit mineur vers le sud traduit l'influence des nombreux affluents de rive droite, provenant du secteur du Monte S. Croce, qui construisent d'importants cônes de déjection coalescents qui repoussent progressivement le lit du Volturno vers le sud. Aujourd'hui le système hydrographique présente de nombreux chenaux et travaux d'endiguement et de bonification (fig. 7).

I.4. Dynamiques littorales

14 Dans le cas du Volturno, l'alluvionnement l'emporte sur la dérive littorale dominante nord-sud, au niveau de l'embouchure, puisqu'il construit un lobe deltaïque arqué, révélateur de l'influence des vagues et de l'érosion en cours (Bellotti, 2000 ; Cocco *et al.*, 1980). L'intensification récente de l'érosion littorale découle de nombreux facteurs comme l'aménagement du lit fluvial par des digues, la création de barrages et la remontée forestière à l'échelle du bassin-versant, limitant la quantité de matière solide transportée. La densité du réseau de pompage et la construction de canaux d'irrigation, parallèles à l'axe fluvial, diminuent aussi les débits liquides et solides du Volturno. Le déficit sédimentaire ainsi créé ne permet plus au cours d'eau d'acheminer les alluvions nécessaires à la pérennisation du delta. Les houles dominantes (70 % des fréquences) sont de direction ouest/nord-ouest. La dérive littorale dominante fragilise le cordon littoral en emportant les sédiments et en



les redistribuant plus au sud, jusqu'au Monte di Procida (Cocco *et al.*, 1984), déterminant ainsi la régularisation de la côte depuis environ 6 000 ans (Barra *et al.*, 1996).

15 Les sédiments pris en charge par la dérive littorale sont entravés par les pointements rocheux volcaniques à Cuma ou à Torre Gaveta. L'accumulation sédimentaire s'avère d'autant plus favorisée qu'elle est associée à des fonds littoraux peu profonds (isobathes -5 m vers 450 m de la côte). En effet, la bathymétrie provoque le déferlement des vagues 20 à 30 m en avant de la ligne de rivage du fait de la présence de barres d'avant-côte. La hauteur de la colonne d'eau au-dessus des barres est très réduite (1 à 2 m, Cocco *et al.*, 1980 et 1982) ce qui limite considérablement l'accessibilité à la côte, la rendant particulièrement dangereuse.

16 Sur la longue durée, la conséquence des apports sédimentaires du Volturno fut l'élaboration d'un large cordon dunaire holocène. On peut remarquer deux générations de systèmes dunaires, parallèles au trait de côte actuel. (1) Des formations héritées qui révèlent une succession de rivages progradant depuis ca. 6000 ans et qui traduisent une stabilisation du niveau marin (Barra *et al.*, 1996). Cette juxtaposition de dunes fossiles végétalisées entrave l'écoulement des petits cours d'eau qui adoptent alors un tracé parallèle à la mer. Cette dynamique côtière favorise l'isolement et le colmatage des dépressions d'arrière-dune sous la forme de lagunes puis de marécages (lagunes de Patria, Licola et de Fusaro). (2) La dune actuelle, élaborée en haut de plage, est en régression active depuis le XXe siècle du fait d'un budget sédimentaire déficitaire et des impacts des tempêtes.

1.5. Conditions morpho-dynamiques du site de Cumès

17 Le rocher de Cumès, 80 mètres de haut, surplombe les dépôts fertiles de la plaine du Volturno au nord. Du haut de l'acropole, le paysage est très diversifié. À l'est, au-delà les massifs de l'Archiaverno percés par l'Arco Felice, entrée monumentale de la ville de Cumès, on accède aux paysages « lunaires » des Champs Phlégréens. À l'ouest, le domaine marin est peu favorable à la navigation, du fait de la présence de hauts-fonds marins. Au nord et au sud, du débouché du Volturno au Monte di Procida, une côte rectiligne et dunaire isole des dépressions d'arrière-dunes, dont celle de Licola aujourd'hui bonifiée (figs 8 et 9 ; Bertarelli, 1922).

Figure 8 : Vue aérienne du rocher de Cumès



Cliché J.-P. Brun

Figure 9 : Vue aérienne du rocher de Cumes en direction du sud

Un relief façonné par le feu

- 18 Le modelé de Cumes est lié à l'histoire volcanique des Champs Phlégréens. Les éruptions les plus fréquentes lors de la première phase volcanique se sont manifestées sous forme de dômes de lave acide et visqueuse, localisés au point d'émission. Le massif rocheux de Cumes correspond donc à un suc. Les affleurements d'ignimbrite campanienne sont localisés sur les versants sud-est et nord du rocher de Cumes. Ils se caractérisent par une structure litée témoignant d'une alternance de matériel pyroclastique diversifié. Ici, cet épisode paroxysmique n'a pas entraîné la destruction et l'ensevelissement complet des pointements de laves préexistants. Les stocks sédimentaires sont caractérisés par une importante hétérogénéité du matériel (ponces, mica, quartz, olivine, cendres, lapilli, blocs et même bombes). Cette diversité granulométrique et minéralogique explique la fragilité de ces formations vis-à-vis de l'érosion. L'épisode du « tufo giallo napoletano » occupe une plus vaste superficie d'épandage, représentant 80 % des roches en place. Les épisodes de la dernière phase volcanique (Agnano 4 400 ans BP et Averno 3 700 ans BP) ont façonné les contreforts orientaux de la dépression de Cumes. Ainsi, différentes formes volcaniques dessinent un hémicycle tourné vers la mer qui individualise un petit bassin-versant.

Un modelé sculpté par la mer

- 19 La transgression post-glaciaire a progressivement érodé la base du relief de Cumes, la transformant en falaise vive vers 6000 ans BP, date de la période de stabilisation holocène du niveau de la mer (Cinque *et al.*, 1988). Cette stabilisation et les importants apports de la dérive littorale, favorisent la mise en place d'un cordon dunaire. Celui-ci mesure au pied du rocher de Cumes près de 300 m de largeur et culmine vers 4 m de haut. La mise en place du cordon est un peu plus ancienne au nord qu'au sud-ouest du rocher. En effet, dès 4 900 ans BP, un cordon dunaire isole la lagune de Licola (Vecchi *et al.*, 2000).



L'étude des formes du littoral actuel de Cumes a été publiée par Poupet et Harfouche (2005) à partir de cartes, de photographies aériennes, d'images

satellites et de prospections sur le terrain. La figure 10 illustre le littoral actuel composé d'une succession de cordons dunaires et de dépressions inter-dunaires. D'est en ouest, on rencontre d'abord une frange littorale composée de plages et de dunes en cours d'érosion. Un sol sableux peu évolué témoigne de la jeunesse des formations. Plus en arrière, un cordon dunaire s'étend sur environ 300 m au nord du rocher et entre 50 m et 150 m au sud. Le sol est moyennement développé, caractérisé par la présence de gastéropodes pulmonés et des taux plus importants de matière organique. Il atteste d'une phase plus ancienne dans la régularisation du littoral. Au nord du rocher, le cordon est donc beaucoup plus large qu'au sud. Cette différence témoigne du rôle d'obstacle joué par le rocher de Cumes dans la dérive littorale des sédiments en direction du sud.

Figure 10 : Esquisse géomorphologique et pédologiques des environs de Cumes



1- Falaise morte taillée dans les tufs gris et le dôme trachytique du Monte di Cuma.

2- Faille limitant l'acropole vers l'est.

3 - Pointement pyroclastique sur lequel est bâti un aménagement antique.

4- Remblais récents.

5- Sables supralittoraux et cordon de dunes mobiles en cours d'érosion, non pédogénisés, associés au sol faiblement développé sur les dépôts sableux des plages et cordons dunaires.



- 6- Sol moyennement développé sur les sables dunaires stabilisés.
 - 7- Sol sableux développé en arrière des cordons dunaires, dans les dépressions intercordons.
 - 8- Sol développé sur les matériaux pyroclastiques et sableux apportés pour la bonification des terres basses de la baie sud-ouest de Cumes et de la lagune bonifiée de Licola.
 - 9- Sol discontinu très peu épais sur matériel pyroclastique et trachytique désagrégé ; régosol sur les versants raides du Monte di Cuma.
 - 10- Sol peu développé sur formations pyroclastiques souvent à l'affleurement, associé à de nombreux étalements de déblais de fouille archéologique.
 - 11- Sol peu évolué de type andosol.
 - 12- Sol bien développé de type andosol, mais peu évolué, sur les colluvions à matrice pyroclastique et ponces, ainsi que sur les remblais recouvrant notamment les structures archéologiques.
- D'après les travaux de Bravi *et al.* (2003), complétés par des levés de terrain réalisés Par Poupet et Harfouche (2005).

21 Si les premiers vestiges archéologiques de Cumes ont été en partie fouillés dès la fin du XIX^e siècle, la localisation et l'organisation d'un éventuel port reste très mal connue. Selon Strabon, il n'y avait pas de port à Cumes même mais dans son territoire. Il s'avérait donc primordial de déterminer les dynamiques littorales et les modelés qui pouvaient expliquer le choix de ce site par les Eubéens. Il était logique, dans un premier temps, d'essayer de retrouver le port dans un des rares milieux potentiellement abrités de la côte : une petite dépression au sud-ouest de l'acropole, où Schmiedt (1964) puis Paget (1968) avaient identifié, par photo-interprétation, des vestiges portuaires attribués à l'Antiquité.

II. Méthodologie

22 Le prélèvement des carottages a été effectué soit par la technique du piston stationnaire, ou par pénétration par rotation. Sur les treize carottages effectués en 1996 et 1997, la profondeur maximale atteinte a été 18,5 m (carotte CVI). Sept carottages ont été analysés avec précision (C2, C3, et C9-C10 pour la mission de 1996 et CIV, CV, CVI pour celle de 1997) ; auxquels il faut ajouter les carottages du programme Eubea (S5, S6, S7 et S8 ; Bravi *et al.*, 2003). Leur étude comparative permet une reconstitution de l'évolution diachronique du littoral. Les seules carottes à avoir atteint le substrat volcanique sont CVI à -15,54 m de profondeur et S5 vers 16 m. Le transect est-ouest des carottages permet de déduire l'existence d'une pente peu prononcée du relief sous-jacent entre les versants en demi-auréole de l'acropole et le littoral actuel.

II.1. Traitement en laboratoire

23 L'étude des échantillons est basée sur l'association de méthodes paléo-environnementales complémentaires comme la caractérisation des litho-faciès, des bio-indicateurs et des informations chronologiques. L'étude granulométrique permet de caractériser les textures. Les indices granulométriques de Folk et Ward (1957) ont été calculés (grain moyen, indices de tri et de symétrie). Ces informations permettent de préciser les milieux de sédimentation (source sédimentaire, remobilisation de stocks, hydrodynamisme, processus de transport...). Une étude morphoscopique des quartz a pu être effectuée sur la carotte CVI. Cet indicateur renseigne sur les milieux de sédimentation (fluvial, lagunaire, étages infra- et supralittoral du domaine marin...), sur les agents de transport (vent, eau...) et l'hydrodynamisme (épisode de tempête, niveau d'énergie). Les macro-restes animaux (Péres et Picard, 1964) ont été déterminés. Seules des informations qualitatives ont pu être fournies étant donné le peu de matériel disponible. Les foraminifères ont été déterminés par S. Bravi de façon semi-quantitative pour les carottes du programme Eubea. Huit échantillons des carottages S6 et S7 ont été comptés (200 à 500 individus) et le pourcentage de chaque espèce a été calculé. Grâce à ces données, un diagramme par préférences



écologiques a pu être élaboré. Ces dernières ont été obtenues à l'aide de différents référentiels (Albani *et al.*, 1998 ; Almogi-Labin *et al.*, 1995 ; Blanc-Vernet, 1969 ; Carboni *et al.*, 2002 ; Debenay *et al.*, 1998 ; Murray, 1971 ; Sgarrella et Moncharmont Zei, 1993). Les carottes CIV et CV ont bénéficié de comptages du nombre d'individus. Les foraminifères de la plage actuelle de Cumes ont été identifiés pour comparaison. Les ostracodes, crustacés généralement adaptés aux milieux calmes, sont malheureusement très rares.

II.2. Référentiels sédimentologiques actuels

- 24 L'analyse d'échantillons prélevés sur la plage actuelle de Cumes montre qu'il est difficile de différencier granulométriquement les étages infralittoral, médiolittoral et supralittoral. La texture globale du sédiment est sensiblement la même (98 % de sables en moyenne), avec une fraction grossière légèrement plus importante dans l'étage infralittoral supérieur (2 à 5 % de ballast). La répartition des sables ne diffère donc pas en fonction de leur position le long du profil de plage. Les sables prélevés sur la dune, sur la haute-plage, dans l'étage médiolittoral et dans l'étage infralittoral supérieur, sont composés de sables moyens (42 à 62 %) et fins (35 à 57 %). Seul le pourcentage de sables grossiers varie en fonction du profil de plage avec des taux d'environ 2 % dans l'étage infralittoral supérieur, 4% pour l'étage médiolittoral et moins de 1 % pour l'étage supralittoral. Le domaine émergé est caractérisé par des sables plutôt très bien triés (grain moyen variant de 0,19 à 0,23 mm).
- 25 La faune actuelle est caractérisée par un mélange de gastéropodes pulmonés (*Theba pisana*, *Conchlicella acuta*, *Helicidae*), d'espèces typiques des milieux dunaires végétalisés (*Lauria cylindracea*, *Pomatias elegans*, *Toltecia pusilla*) et de coquilles marines brisées originaires des étages médiolittoral et supralittoral. La macro-faune de la plage actuelle est typique d'une plage méditerranéenne battue par les vagues. En effet, une faune en place caractéristique des sables fins de haut niveau (*Donax semistriatus* et *trunculus*) est mélangée à d'autres espèces vasicoles (*Parvicardium paucicostatum*), de sables grossiers infralittoraux (*Venus casina*, caractéristique des herbiers à Posidonies). Les espèces des sables fins infralittoraux (de 3m50 à l'étage circalittoral ; *Parvicardium tuberculatum*, *Tellina fabuloides* et *nitida*, *Spisula subtruncata*, *Glycymeris glycymeris*) attestent du rejet des tests remaniés par les tempêtes.
- 26 L'assemblage actuel des foraminifères est dominé par *Ammonia beccarii* et des Miliolidae (*Quinqueloculina cliarensis*, *laevigata*, *rugosa*, *seminulum* et *Triloculina trigonula*, *rotunda*). Elles sont accompagnées d'espèces des herbiers (*Elphidium crispum*, *Nonion boueanum*), des fonds circalittoraux (*Eponides repandus*, *Nonion pompilioides*) et de foraminifères planctoniques (*Globigerina bulloides* par exemple). Les tests sont généralement usés et cassés et parfois colorés par des oxydes de fer.
- 27 La progradation du trait de côte en milieu deltaïque et le colmatage des dépressions d'arrière-cordon est à l'origine de faciès assez typiques (Amorosi et Milli, 2001 ; Bellotti *et al.*, 2004 ; Mastronuzzi et Sanso, 2002...). La construction d'un cordon littoral isolé, à l'intérieur des terres, une lagune plus ou moins saumâtre. Ce milieu se caractérise par des dépôts fins limoneux. La faune est relativement abondante mais peu diversifiée (*Cyprideis torosa* et *Loxoconcha elliptica* principalement). Elle caractérise des eaux euryhalines en fonction des entrées d'eaux douces et des eaux marines. Le taux de matière organique peut être relativement élevé, surtout quand le plan d'eau est de plus en plus protégé et végétalisé (Carboni *et al.*, 2002). Ainsi, l'apparition de sédiments limoneux et à forte teneur en matière organique, superposés à des sables, traduit généralement le passage à un milieu protégé qu'il soit portuaire (Morhange *et al.*, 2003a ; Morhange *et al.*, 2003b) ou lagunaire. Dans le cas de vases portuaires, la faune est souvent caractérisée par des espèces adaptées à une pollution par la matière organique (eg. *Corbula gibba*).

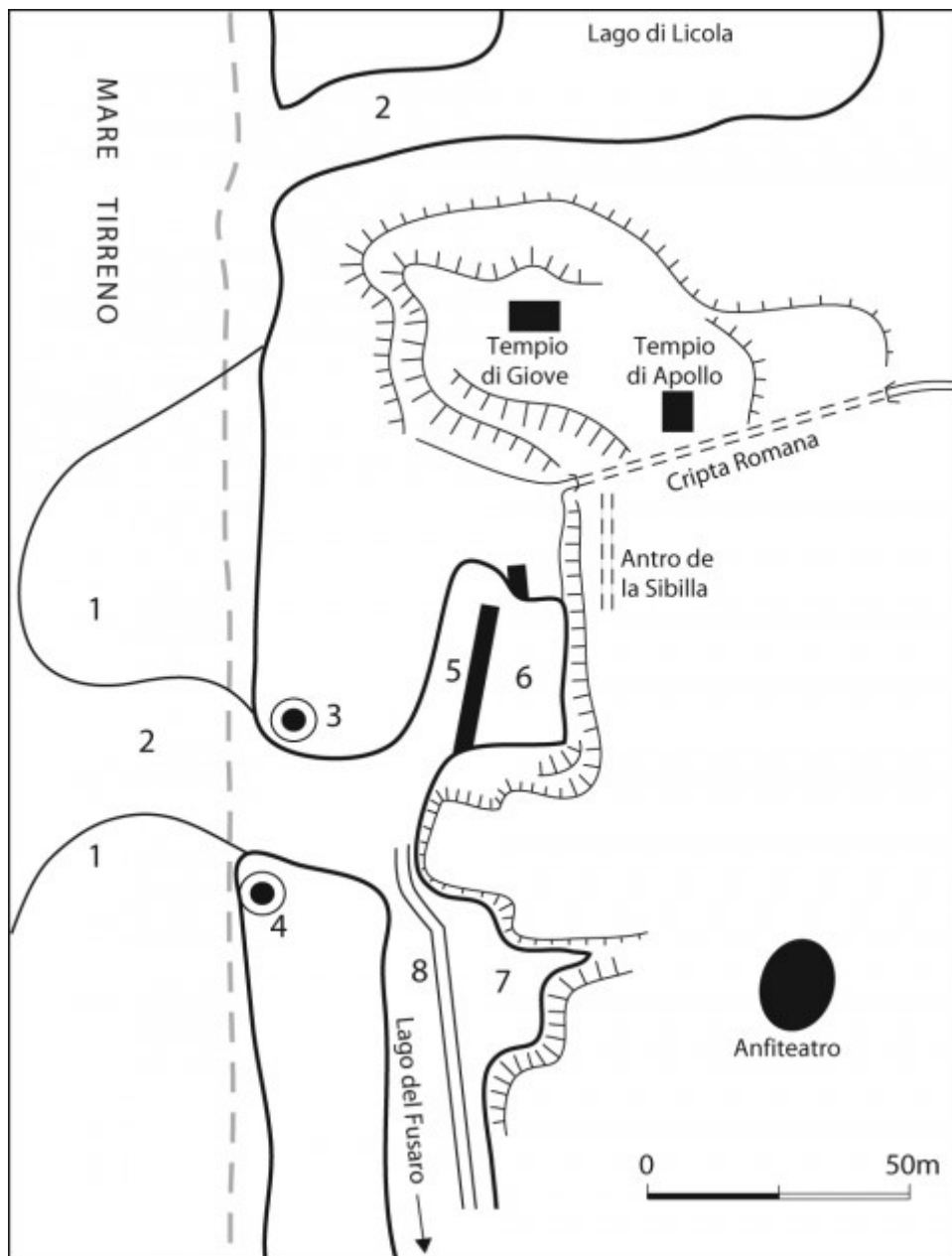


III. Reconstitution des milieux littoraux dans la dépression sud-ouest de Cumes

28 Depuis les travaux de Schmiedt (1964) et de Paget (1968), qui localisent le port romain de Cumes dans la dépression au pied sud-ouest de l'acropole, aucune étude n'a remis en cause ce postulat peu argumenté. La dépression vue du sommet de l'acropole, présente une morphologie à priori favorable pour y localiser un bassin portuaire (fig. 11). Une petite plaine littorale se développe sur approximativement 500 m du nord au sud et 400 m d'est en ouest. Elle est bordée par des falaises mortes en demi-auréole qui protégeait cette anse des courants et houles de NW et de SW (figs 12 et 13). Le programme pluridisciplinaire Eubea (1987-1990) avait semblé confirmer, sans apporter beaucoup d'arguments, les interprétations de Schmiedt et de Paget, comme en témoigne la maquette présentée dans Caputo *et al.*, (1996). Dans le cadre des nouveaux programmes de recherches, la tâche de rechercher les vestiges du port a été attribuée au Centre Jean Bérard. Un programme pluridisciplinaire a donc été élaboré. Les archéologues attendaient des géomorphologues des indications précises sur le milieu de sédimentation afin de localiser judicieusement les sondages archéologiques à effectuer. Il fallait donc d'abord tester l'hypothèse d'un port « protégé » au sud-ouest de la cité et préciser le calage chronologique des dynamiques de colmatage de la dépression.

Figure 11 : Schéma hypothétique du port sud-ouest de Cumes





- 1- Ligne de rivage actuelle.
- 2- Hauts fonds.
- 3- Chenaux ou graus restitués
- 4- Construction interprétée comme un phare
- 5- Traces d'un autre phare ?
- 6- Môle ? (tas d'épierrement).
- 7- Bassin restitué.
- 8- Ancien port de pêche restitué.
- 9- Canal supposé, reliant la lagune de Fusaro à Cumes.

D'après Paget (1968), redessiné par Poupet et Harfouche (2005)

Figure 12 : Vue vers le sud de la dépression sud-ouest de Cumes





Cliché : C. Morhange

Figure 13 : Vue vers le nord de la dépression sud-ouest de Cumes



Cliché : C. Morhange

III.1. Indicateurs granulométriques

- La distribution granulométrique des sédiments permet de comparer les carottes aux prélèvements dans l'actuel. On distingue plusieurs stocks granulométriques :
- Les échantillons les plus sableux correspondent à des plages supralittorales.
- Les prélèvements sableux fins et enrichis en limons traduisent des petits fonds infralittoraux.
- Les échantillons des fonds marins battus par les vagues sont constitués essentiellement de sables hétérométriques.
- Les sédiments sableux grossiers correspondent à des injections de matériel volcanique et bioclastique dues au colluvionnement ou à des laisses de tempêtes.
- Certains échantillons contiennent beaucoup d'artefacts anthropiques,



interprétés comme des remblais ou des colluvions d'origine anthropique. Des pourcentages importants de limons traduisent des décapages des sols et le ruissellement de cendres volcaniques.

- 29 Hormis les sables éoliens et les apports d'origine volcaniques bien dissociés des sables fluvio-marins, les sédiments marins des étages infra-, médio- et supralittoral sont relativement difficiles à différencier. Les critères sont la morphoscopie des quartz (émoisés luisants pour l'étage infra- et médiolittoral, picotés pour l'étage supralittoral) et la répartition granulométrique. Le domaine infralittoral est plutôt caractérisé par une répartition unimodale relativement étalée avec un mode marqué à 0,16 mm, le domaine émergé par une répartition très resserrée sur le mode à 0,2 mm. L'étage médiolittoral se caractérise par un mélange de stocks sableux d'origines diverses. Le taux de ballast, l'aspect roulé des graviers et des coquilles brisées sont également un argument pour individualiser des laisses de tempêtes supralittorales.

III.2. Bioindicateurs

- 30 Afin de corréler les diverses informations faunistiques, il a fallu harmoniser les comptages des foraminifères et des ostracodes prélevés et extrapoler les taux par rapport au sédiment total. Le regroupement des espèces par assemblage a permis de caractériser les différents milieux de sédimentation.
- 31 Les espèces des peuplements algaux et particulièrement des herbiers à posidonies (*Elphidium sp.*, *Rosalina sp.*, *Cibicides sp.*, *Planorbulina mediterraneensis*, *Nubecularia lucifuga*, *Florilus boueanum*, *Glandulina sp.*, *Neoconorbina sp.* pour les foraminifères et *Bittium reticulatum*, *Gibbula sp.*, *Peringia ulvae* et *Haminoea hydatis* pour la macrofaune) nécessitent des eaux claires, brassées et bien oxygénées. Ces peuplements traduisent l'existence d'un milieu marin « ouvert ».
- 32 La présence d'espèces pauvres en individus provenant des milieux sableux ou vaseux du domaine circalittoral (*Planulina ariminensi*, *Textularia sp.*, *Marginulina sp.*, *Pullenia bulloides*, *Lagena sp.*, *Reussella sp.*, Blanc-Vernet, 1969) témoignent d'échanges avec le large. Un tel assemblage indique un environnement parcouru par des courants de fonds. Le mauvais état de conservation de nombreuses coquilles et les fragments de *Bivonia trinquetra*, *Patella sp.*, *Arca sp.*, *Mytilus sp.*, *Chiton sp.*, *Ostrea sp.*, *Mytilaster minimus*, *Cingula sp.* et *Circulus sp.* qui affectionnent les substrats marins durs ou vaseux témoignent également de l'impact des courants et des houles qui remobilisent et mélangent les coquilles.
- 33 Les carottes S6 (C91, C92) et S7 (C128, C119, C116) présentent un niveau caractérisé par une diminution du nombre d'espèces circalittorales, une disparition des miliolites et une suprématie d'*Ammonia beccarii*. La présence d'espèces supportant des dessalures (*Protelphidium sp.* et *paralium*, *Cribronion cuvilleri*, *nonion sp.*, *Buccella frigida var. granulata* pour les foraminifères et *Hydrobia ventrosa* pour la macrofaune) est également notable. Ces indicateurs témoignent d'une fermeture relative du milieu (Blanc-Vernet, 1969 ; Aillaud et Max, 1970). Certains bio-indicateurs restent ambigus. Par exemple, Sgarrella et Moncharmont Zei (1993) décrivent *Ammonia beccarii* comme abondante dans la baie de Naples au sommet de l'étage infralittoral. Blanc-Vernet (1969) explique sa large prédominance dans les sables fins côtiers dépourvus de végétation par des eaux brassées. Debenay *et al.*, (1998) associent *Ammonia beccarii* à la présence d'herbiers et parfois à des sédiments sableux grossiers à fort courant. Au contraire, *Ammonia beccarii tepida* se rencontre dans les fonds sablo-vaseux saumâtres. Ces incertitudes posent des problèmes d'interprétation paléo-environnementale, mais l'absence d'ostracodes, particulièrement fragiles, permet d'écartier l'hypothèse d'un milieu bien protégé.



III.3. Calage chronologique (fig. 14)

Figure 14 : Datations 14C des carottages au sud-ouest du rocher de Cumes

N° Echantillon et carotte	C IV 5-B	C IV 6-B	C IV 10-B	C V 6-B	C V 10-C	C V 12-A	C VI 7-B	C VI 10-B
N° laboratoire	Ly-18001 (GIA-20867)	Ly-1800 (GIA-20865)	Ly-9987	Ly-1228(OXA)	Ly-9966	Ly-9968	Ly-1223(OXA)	Ly-9159
Profondeur en m.	6,4-6,25	7,20-7,40	12,4-12,9	5,7-6,0	10,9-11,15	12,8-13,3	7,30-7,60	9,5-10,15
Date BP	2296±45	2048±70	2365±35	2656±59	3455±35	3579±60	3235±59	2668±30
Rapport isotopique $^{13}C/^{12}C$ (‰)	0,49	1,33	-26,6	0,61	-25,62	-26,23	0,32	-25,37
Date calibrée à 2 sigma d'après la courbe marine ou océanique*	40 BC-158 AD	185-334 AD	1683-1518 BC	403-184 BC	1878-1687 BC	2123-1743 BC	1239-928 BC	1973-1774 BC
Date calibrée à 2 sigma d'après la courbe marine* et corrigée du Delta R de l'eau de mer à Cumes : $\Delta R = 30 \pm 10$ †	197-454 AD	449-739 AD	/	169 BC-181 AD	/	/	944-723 BC	/
Calibration simulée avec une coquille de Naples (GIA 90717) : 135±40 †**	68-354 AD	326-665 AD	/	343-17 BC	/	/	1081-792 BC	/
Calibration simulée avec une coquille de Naples (GIA 90723) : 210±110 †**	27-364 AD	266-824 AD	/	363 BC-195 AD	/	/	1168-520 BC	/
Matériel mesuré	Coquille marine: <i>Donax trunculus</i>	Coquille marine: <i>Donax semistriatus</i>	Matière organique	<i>Donax trunculus</i> et <i>semistriatus</i>	Matière organique	Bois	<i>Tapes decussatus</i>	Matière organique
Facies sédimentaire de niveau daté	Lit de sables moyens fins à débris coquilliers. Un tesson noyé	Lit de sables moyens fins à débris coquilliers et balais	Lit de sables fins à MO superposé à 1 niveau grossier	Lit de balais et sables moyens à coquilles brisées et intactes	Sables moyens à fins obliques et MO	Sables hétérométriques à lits obliques et débris de bois	Lit de sables avec lentilles de vases et petits galets noyés	Matériau grossier hétérométrique dans matrice tendreuse à cristaux et MO
Interprétation paléo-géomorphologique de milieu	Alternance de niveaux sables variés. Etage méditerranéen. Laine de terrapla?	Alternance de niveaux sables fins à débris coquilliers et balais	Positionné à un niveau de terrapla colluvionnée?	Niveau d'occupation sur plage ou laine de terrapla?	Donnée inférieure supérieure avec colmatage des versants	Donnée inférieure supérieure avec colmatage des versants	Etage méditerranéen influencé par des apports éoliens	Etage méditerranéen
Autres éléments de datation de la séquence sédimentaire	Tesson indéterminé. Date plus vieille dans niveau sous-jacent	/	/	Tesson d'époque romaine	Tesson romain et tessons archaïques 1 m plus bas	Débris d'amphore archaïque 30 cm plus bas (VIII ^e av. J.-C. ?)	1 tesson romain attribué à l'âge de Bronzes (?) 1 m plus bas	/
Refus ou approbation de la date	Rejetée car remaniée?	Acceptée comme date possible	Rejetée car remaniée et similaire à d'autres dates dans des niveaux différents en stratigraphie	Acceptée car synchronisée avec les dates archéologiques	Rejetée car plus vieille qu'une date archéologique sous-jacente	Rejetée car plus vieille qu'une date archéologique sous-jacente	Acceptée car synchronisée à CV	Rejetée car similaire à d'autres dates dans des niveaux stratigraphiques différents. Remaniée?

34 De nombreuses datations ont pu être effectuées, mais les résultats obtenus posent parfois des problèmes de cohérence chrono-stratigraphique. En effet, il existe des écarts entre certaines dates 14C et d'autres obtenues sur du matériel archéologique. Les dates sur mobilier archéologique ont été estimées à partir de l'étude des fragments de céramique. L'origine du matériel utilisé pour les datations 14C (techniques AMS et classique) est de deux types : continentale (delta $^{13}C/^{12}C$ proche de -25 ‰) ou marine (delta $^{13}C/^{12}C$ proche de 0 ‰). Toutes les dates effectuées sur du bois et de la matière organique se situent entre 3 300 et 3 500 ans BP et sont vraisemblablement remaniées.

35 En revanche, les datations sur coquilles marines sont relativement fiables, car nous nous sommes assurés que la faune est bien en place dans le sédiment, le biotope de l'espèce étant compatible avec la texture sédimentaire. Toutes les dates ont été effectuées sur des espèces vivant dans les sables infralittoraux (*Donax trunculus*, *Donax semistriatus* et *Tapes decussatus*). Deux types de calibration ont été employés. Nous avons utilisé la courbe marine de calibration (Stuiver *et al.*, 1998) avec un âge réservoir de 400 ans. On a également effectué la datation d'une valve de *Tellina planata* collectée à Cumes par Di Fiore en 1932 (collection malacologique de la Stazione Zoologica "Anton Dohrn" de Naples). La date obtenue est 645±/30 ans BP (Ly-2296OXA), soit un décalage de 245±/30 ans par rapport à l'âge réservoir moyen.

III.4. Évolution paléo-environnementale (figs 15 à 18)

Figure 15 : Localisation des carottes au sud-ouest et au nord du rocher de Cumes



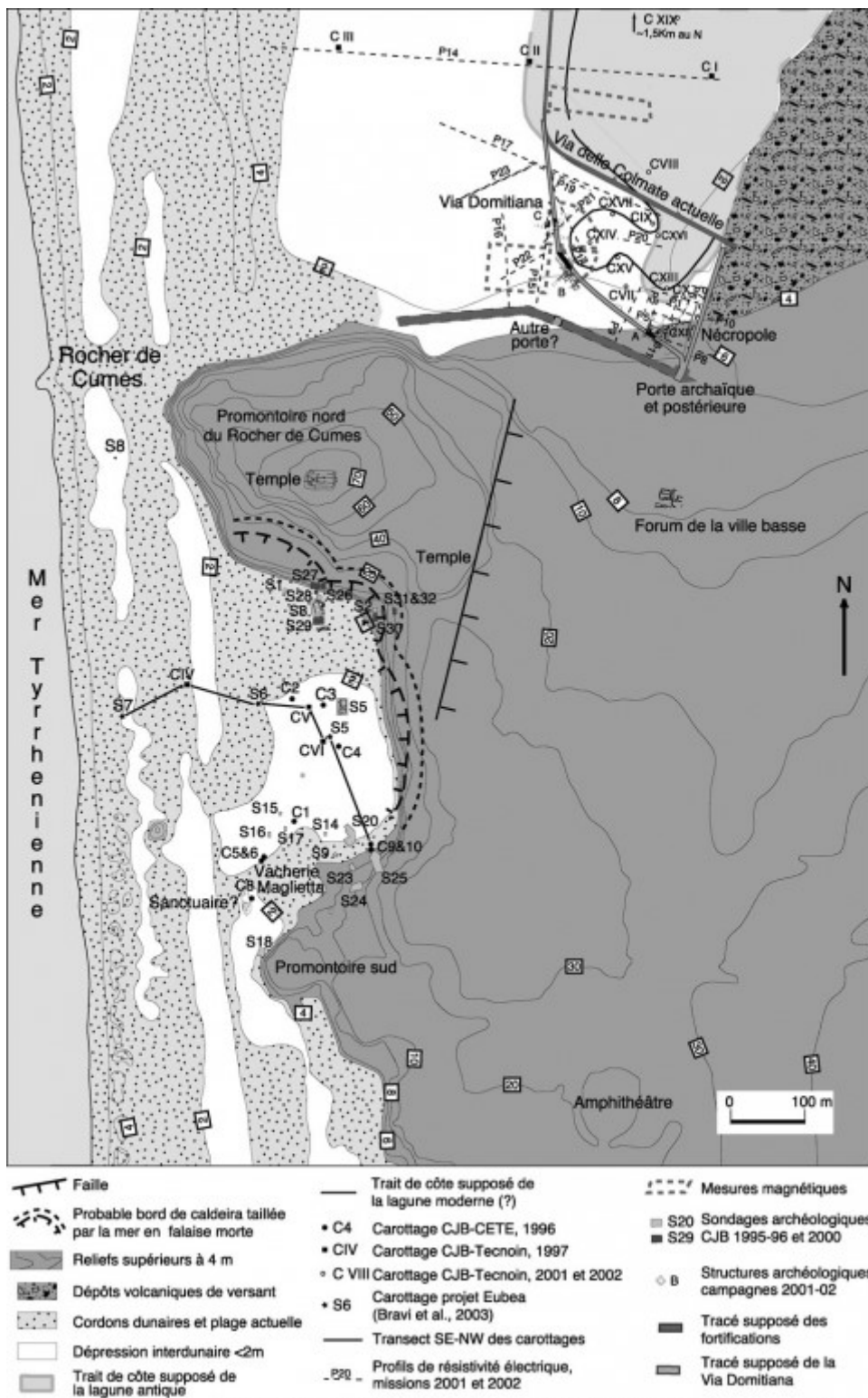


Figure 16 : Carotte FV, dépression sud-ouest de Cumes



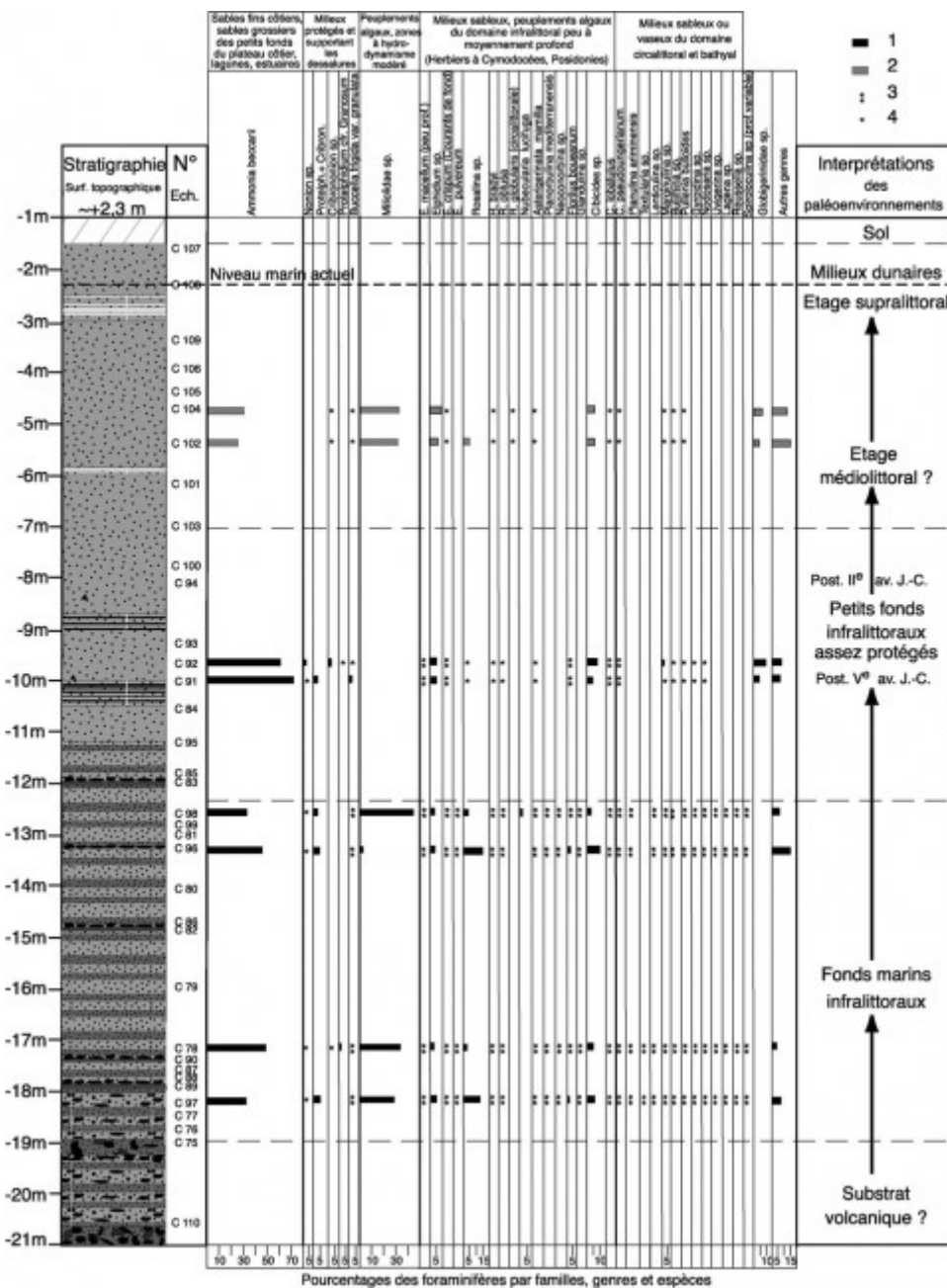
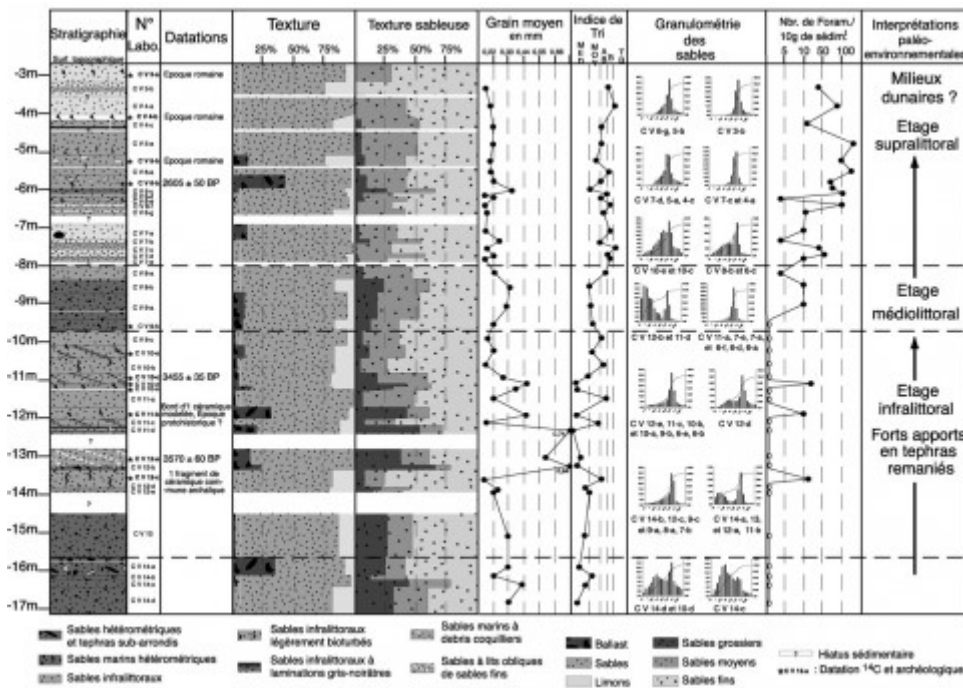


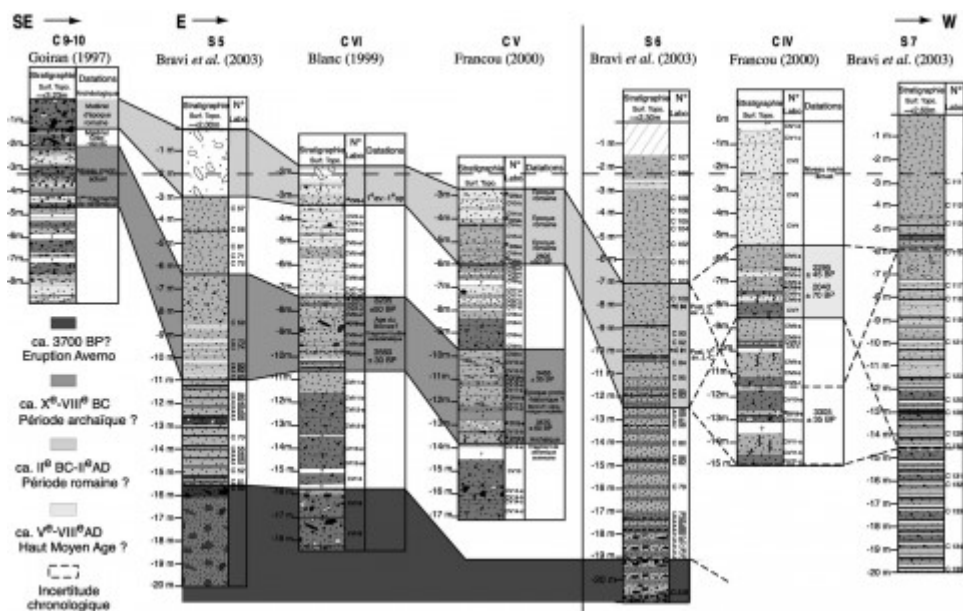
Figure 17 : Carotte S6, dépression sud-ouest de Cumes





(Bravi *et al.*, 2003)

Figure 18 : Comparaison stratigraphique des carottes, dépression sud-ouest de Cumes



36 Cinq principaux milieux de sédimentation peuvent être distingués. À la base, on trouve une unité volcanique très grossière, suivie d'un ensemble de sables marins lités contenant de la matière organique. Ce faciès tend à s'affiner vers la surface. La troisième unité est différente selon la position du carottage par rapport aux versants de Cumes. À proximité du rivage actuel, les sables sont mieux triés avec une quasi absence de faune hormis dans des laisses de tempête. En position distale, la faune évolue vers un milieu plus protégé. Enfin la partie supérieure des carottes est caractérisée par des sables de plage émergée et de dunes, l'ensemble étant plus ou moins anthropisé.

III.4.1. Vers 3700 ans BP, dépôts de l'éruption de l'Averno

37 La base des carottes C VI et S5 se caractérise par des sédiments grossiers (30 % de ponces et minéraux volcaniques anguleux) dans une matrice sableuse (43 %) grossière et stérile. Les cristaux volcaniques sont anguleux, abondants et

caractéristiques des Champs Phlégréens (sanidine, pyroxène, biotite, plagioclase...). La taille du grain moyen (0,69 mm), le tri médiocre (1,54) et l'allure rectiligne de la répartition des sables suggèrent un dépôt en vrac. Il s'agit des dépôts d'une éruption suffisamment proche pour que le tri lors du transport soit médiocre. La dernière éruption préhistorique des Champs Phlégréens est celle de l'Averno vers 3 700 ans BP.

38 Sur cette unité prend place un faciès relativement grossier (34 % à 63 % de ballast) composée de galets de trachyte, de graviers et de sables noirâtres (57 % à 94 %) très hétérométriques. L'important degré d'éroussé des galets et les indices granulométriques (tri médiocre, grain moyen variable de 0,34 à 0,53 mm) traduisent un hydrodynamisme assez compétent. La fraction grossière peut représenter le remaniement des tephres volcaniques provenant des versants, la fraction médiane (mode à 0,16 mm) traduit un apport de sables marins.

39 Seule la carotte S6 contenait de la faune (spicules d'éponges, Monactinellides et Tetractinellides) et des fragments de piquants d'oursins ; caractéristiques de la zone des fonds infralittoraux, entre 6 et 15 m de profondeur (Reineck et Singh, 1973). Outre de rares ostracodes, l'assemblage des foraminifères se compose essentiellement d'*Ammonia beccarii*, de *Miliolidae sp.* et d'espèces de peuplements algaux des milieux sableux infralittoraux (*Rosalina sp.*, *Cibicides sp.*, *Elphidium sp.*, *Florilus boueanum*, *Neoconorbina sp.* La présence de quelques *Protelphidium sp.*, *Cribrononion sp.* et *Buccella frigida var. granulata* traduisent des apports d'eau douce (Murray, 1971). Mais les nombreuses espèces (rares individus) des milieux sableux ou vaseux du domaine circalittoral (*Planulina ariminensis*, *Textularia sp.*, *Marginulina sp.*, *Pullenia bulloides*, *Lagena sp.*, *Reussella sp.* témoignent de fonds parcourus par des courants. Ces différentes caractéristiques évoquent des fonds marins brassés par la houle et les courants qui érodent le rocher de Cumes et remanient les tephres à la base de la falaise. La rareté de la faune, pourrait s'expliquer à la fois par le mode battu des fonds marins et surtout par l'acidité du milieu qui limite la conservation des coquilles.

III.4.2. Fonds marins infralittoraux d'une baie ouverte

40 Ce faciès sableux enregistre à la fois les apports sédimentaires du Volturmo et le remaniement des tephres provenant des versants. Cette unité correspond aux époques protohistorique jusqu'au changement d'ère. La fraction sableuse est majoritaire (entre 98 % et 62 %) avec des passées plus grossières (jusqu'à 50 % de ballast) ou plus fines (jusqu'à 44 % de limons) qui traduisent un hydrodynamisme notable soumis à des injections de matériel de taille variable. Le ballast (14 % à 50 %) se compose de tephres sub-arrondis dans une matrice de sables grossiers, de copeaux de bois et de tessons. La fraction sableuse est constituée de sables moyens et grossiers qui représentent en général de 50 % à 75 % du total, traduisant des modes de transport compétent. L'indice de tri, généralement moyen à médiocre (1,54 et 0,70), témoigne d'un dépôt en vrac. Les histogrammes de répartition des sables rappellent les histogrammes des plages infralittorales actuelles. La morphoscopie EL (Eroussé Luisant) des grains de quartz suggère des sables infralittoraux. Les enrichissements en matériel d'origine volcanique proviennent de l'érosion des sols et des dépôts de versants. On peut exclure des dépôts directs d'une éruption du fait de l'aspect éroussé et altéré des grains et des ponces.

41 On note des lits noirâtres de matière organique de 1 à 5 mm d'épaisseur, composés de copeaux de bois, de charbons, de graines (*Brassica sp.*, *Rubus caesius*, *Sambucus nigra*, *Euphorbia Helioscopica*, *Hypericum sp.*, carottes S6 et S7) mélangés à quelques fibres de Posidonies et de *Corallinoideae* qui attestent de la position infralittorale des dépôts. Le macrobenthos se compose de fragments et de piquants d'oursins, de spicules d'éponges (Monactinellides et Tetractinellides), de rares



squelettes de crustacés décapodes, de Briozoaires et de quelques fragments de vertèbres et écailles de poisson. L'assemblage macrofaunistique témoigne de l'étage infralittoral occupé par les herbiers et parcouru par les houles, avec la présence de *Cardiidae juv.*, *Venedidae sp.*, *Chamelea sp.*, *Donax sp.*, *Glycymeris sp.*, *Tellina sp.*, *Loripes lacteus* et celle de *Bittium reticulatum*, *Gibbula sp.*, *Peringia ulvae* et *Haminoea hydatis* qui traduisent la proximité des herbiers à Posidonies. *Caecum tenue* signale des sables grossiers. Les fragments de *Bivonia trinquetra*, *Patella sp.*, *Arca sp.*, *Mytilus sp.*, *Chiton sp.*, *Ostrea sp.*, *Mytilaster minimus*, *Cingula sp.* et *Circulus sp.*, sont originaires des substrats durs ou vaseux et témoignent de courants qui remobilisent et mélangent les coquilles.

- 42 Les assemblages de foraminifères confirment ces observations. Bravi *et al.*, (2003) notent une importante décroissance du nombre d'individu entre S5, S6 et S7. Les carottes CVI et CV montrent une évolution similaire avec une quasi absence de foraminifères à la base de CVI et de rares individus sous forme de pics pour CV. *Ammonia beccarii*, assez abondant, atteste de petits fonds côtiers sableux. Les nombreuses espèces d'*Elphidium*, *Rosalina*, *Cibicides* et *Nubecularia lucifuga*, *Asterigerinata mamilla*, *Planorbulina mediterraneensis*, *Neoconorbina sp.*, *Florilus boueanum*, *Glandulina sp.* témoignent de la présence d'herbiers à Posidonies qui nécessitent des eaux claires et bien oxygénées. Les Miliolidae sont caractéristiques des peuplements algaux à hydrodynamisme relativement modéré et supportant des dessalures, comme *Nonion sp.*, *Protelphidium granosum*, *Cribronion sp.* et *Buccella frigida var. granulata*. Un nombre important d'espèces originaires de l'étage circalittoral permet de conclure que les fonds marins infralittoraux étaient brassés par les courants et la houle, comme de nos jours au large de Cumes.

III.4.3. Aggradation et progradation des fonds marins

- 43 Selon la position des carottes, à proximité des versants ou plus au large, on distingue deux milieux de sédimentation différents (fig. 18).

A. Fonds marins infralittoraux à l'ouest

- 44 Le premier ensemble concerne surtout les carottes situées à l'ouest et s'étend de 11 m à 7 m de profondeur en S6, 15 m à 8,50 m en CIV, 14,50 à 6 m en S7 et 13 m à 10 m pour S8. Le matériel archéologique (S6) est constitué de fragments de céramiques postérieures au Ve s. av. J.-C. et antérieures au IIe s. av. J.-C. La fraction sableuse est prédominante (>70 % en moyenne) et le ballast est quasi inexistant (<4%) hormis vers -13 m pouvant représenter une injection de colluvions depuis les versants. La part des limons (entre 4 % et 28 %) suggère un milieu de dépôt relativement plus calme. Les pics de limons à 85 % (S7, C126) et 41 % (S7, C120) sont liés à la présence de lits très organiques. Les sables sont dominés par la fraction fine (entre 58 % et 83 %). Ils sont constitués de ponces volcaniques à la base puis de quartz au sommet. La morphoscopie présente principalement des grains émoussés luisants d'origine marine et quelques grains picotés qui signalent des apports éoliens et la proximité du rivage. La forme anguleuse à émoussée des grains témoigne d'un transport local. Le ballast, relativement important témoigne de la proximité d'installations anthropiques. Il se compose de nombreux morceaux de céramique et d'os. Les lits de matière organique contiennent des macrorestes végétaux en relative abondance. Les copeaux ligneux tourbeux ou carbonisés, des fragments de mousses et quelques graines et frustules dont *Sambucus nigra*, *Euphorbia helioscopia*, *Rubus caesius* et *Brassica sp* indiquent la proximité de champs ou de surfaces boisées dont les sols ont pu être érodés et remaniés par ruissellement.

- 45 L'analyse du macrobenthos indique une réduction drastique du nombre d'individu et d'espèces par rapport aux unités sous-jacentes. On trouve de rares spicules d'éponges dont *Cliona*, quelques plaques de balanes, quelques ostracodes indéterminés, des piquants d'oursins et de rares restes de poissons. Des fragment de



Bivonia trinqueta, *Glycymeris sp.*, *Tapes decussatus*, *Donax sp.*, *Cardiidae*, *Mytilaster minimus* et *Ostrea sp.* sont les témoins de l'étage infralittoral et de rares *Hydrobia ventrosa* de la dessalure des eaux à proximité du rivage. L'aspect très brisé et la rareté des coquilles témoignent d'un mode battu typique des fonds littoraux peu profonds proches de la zone du ressac, au sommet de l'étage infralittoral.

46 La microfauve subit également une importante réduction du nombre et de la diversité des individus hormis *Ammonia beccarii*. En CIV, alors que la base est relativement peuplée (entre 150 et 400 foraminifères pour 10g de sédiment et entre 6 et 360 ostracodes), le sommet de l'unité se révèle moins riche. Les seules espèces d'osstracodes déterminées pour CIV sont *Cushmanidea sp.*, adaptés aux milieux phytiaux côtiers et *Cyprideis torosa* qui supporte des taux de salinité très variables. Cet assemblage caractérise les herbiers côtiers de l'étage infralittoral supérieur. Les assemblages de foraminifères montrent une importante modification du milieu par rapport à l'unité sous-jacente avec la disparition des *Miliolidae sp.* qui témoignaient de peuplements algaux dans un environnement d'hydrodynamisme modéré. À l'inverse, *Ammonia beccarii* augmente fortement et représente près de 70 % des espèces. Cette espèce, caractéristique du sommet des sables infralittoraux, est quasiment la seule à subsister dans des eaux brassées. Cette espèce euryhaline et résistante est dite « colonisatrice » car elle se maintient dans des situations de stress écologique important. Les espèces indicatrices de dessalure (*Protelphidium sp.* et *paralium*, *Cribrononion cuvillieri*, *Nonion sp.*) augmentent aussi par rapport à l'unité sous-jacente. La présence de *Buccella frigida var. granulata* caractérise des milieux littoraux peu profonds et légèrement dessalés.

47 Bravi *et al.*, (2003) interprètent ce faciès comme correspondant à un plan d'eau lagunaire qui aurait pu abriter le port de Cumes, mais la proportion des limons reste beaucoup trop faible pour conforter cette hypothèse. En outre, la suprématie d'*Ammonia beccarii* voire de la variante *tepida* n'est pas forcément significative d'un milieu lagunaire (Debenay *et al.*, 1998). Le paléo-environnement correspond à des fonds marins infralittoraux battus et il faut donc plutôt retenir l'hypothèse d'un abri côtier ouvert. Le principal problème d'accessibilité est lié à la présence des barres d'avant côte, caractéristiques de plage dissipatives accompagnées de fonds sableux peu profonds, encore visibles à l'heure actuelle. Ces barres provoquent le déferlement des houles en avant du trait de côte et limitent fortement l'accessibilité aux rivages.

B. Étage infralittoral supérieur à l'est ?

48 Le second faciès se positionne à proximité de la falaise morte, entre 11 m et 6 m de profondeur pour S5, 10,50 m et 7,50 m pour CVI, 9,50 m et 8 m pour CV, 8,50 m et 5 m pour CIV, 6 m et 4 m pour S7 et 10 et 4,50 m pour S8. Cette unité est homogène d'un point de vue sédimentologique, mais diachronique dans l'espace. En effet, un premier ensemble de dates, à proximité des versants, est proche de l'époque archaïque (3235 +/-50 BP, soit 944-722 BC en CVI) et postérieur à l'époque protohistorique et archaïque en CV. Plus à l'ouest, des datations de l'époque romaine ou de l'Antiquité tardive (2295+/-45BP soit 197-454 AD et 2040+/-70 soit 449-739 AD en CIV) traduisent la progradation du rivage.

49 Cette unité se caractérise par des sables très majoritaires (78 % à 98 % en moyenne) avec peu de ballast et de limons. La granulométrie des sables varie en fonction des carottes. À proximité des versants (CVI et CV) les sables grossiers (10 % à 25 %) diminuent au profit des sables fins (~50 %) suggérant des apports éoliens. En CIV, les sables moyens prédominent (>50 %) pouvant attester de la proximité de la zone de ressac. Nous différencions deux types de transport. (1) Les sables moyennement triés à assez bien triés caractérisent une remobilisation des stocks (2) Les sables bien triés indiquent des apports éoliens de sables plus fins. Deux types de diagrammes se distinguent avec une évolution du premier type à la base de l'unité vers le second type en sommet d'unité (carottages CIV et CVI). Dans le premier ensemble, les histogrammes sont très étalés vers les valeurs grossières et indiquent un enrichissement en sables grossiers plus ou moins important. Le second groupe est



constitué d'histogrammes à l'allure gaussienne. Ces histogrammes se rapprochent des échantillons de l'étage médiolittoral actuel. Le ballast témoigne de l'anthropisation du milieu : il se compose de rudites, de fragments de céramiques roulés, de morceaux d'os, de thèques de fruits et de rares débris végétaux.

50 Les bioindicateurs témoignent de la proximité des rivages. La macrofaune, très rare, se compose de spicules d'éponges, de piquants d'oursins et de quelques débris osseux de poissons. On trouve quelques gastéropodes et pélécy-podes brisés dont des *Hydrobia ventrosa*, *Donax trunculus* et *semistriatus*, *Tapes decussatus*, *Maetra sp.*, *Nucula sp.* et *Cardiidae* parfois perforés par des Cliones, provenant de fonds vaseux peu profonds. L'appauvrissement de la faune et le mauvais état de conservation des coquilles suggèrent un environnement battu. D'ailleurs, elle présente quelques similarités avec la faune identifiée sur les plages actuelles de Cumes. La présence de morceaux de pélécy-podes terrestres (*Helicidae* en S7) témoigne d'apports

51 La microfaune est rare à la base des versants (S5, CVI et CV) alors que, vers le large, elle s'avère plus fournie (S6, CIV S7), en relation avec la proximité de petits fonds marins. Les ostracodes sont rares et souvent minéralisées. Elles sont associées à des niveaux de coquilles brisées, à des tessons et à des sables éoliens. Les foraminifères sont rares à proximité des versants (CVI et CV). Ils sont mieux représentés en CIV, S6 et S7. L'aspect érodé et picoté de certains individus suggère un remaniement éolien. L'assemblage est dominé par *Ammonia beccarii* et *Miliolidae sp.* qui attestent la proximité de fonds sableux peu profonds. Ces deux espèces sont également majoritaires dans les plages actuelles de Cumes. Ils sont accompagnés de quelques *Elphium* (cfr. *majoricense*, cfr. *advenum*, *crispum*, *pulvereum*, *macellum*), *Rosalina* (*obtusa*, *bradyi*) et *Cibicides* (*refulgens*, *lobatulus*) ainsi que de rares *Florilus boueanum*, *Neoconorbina sp.* et *Cibicides lobatulus* qui indiquent la proximité d'herbiers. L'environnement de ces dépôts sableux relativement fins est influencé à la fois par des agents d'origine terrestre (faune continentale...) et par des apports marins (faune des petits fonds) et du large. Le mélange des stocks sédimentologiques et des bioindicateurs peut caractériser le sommet de l'étage infralittoral et la proximité du rivage.

C. Plages supralittorales et milieux dunaires

52 Cette unité se rencontre dans les carottages avec des épaisseurs variables. Ce faciès correspond à plusieurs périodes chronologiques et traduit un colmatage de la dépression. En effet, les dépôts de la carotte C9-10, au pied des versants, sont antérieurs à l'époque archaïque et ceux de CIV (au centre de la dépression) sont contemporains ou postérieurs au bas Moyen Âge. Les derniers dépôts de sables fins dunaires (CIV et S7) sont attribués à l'époque moderne (Bellotti, 2000 ; Caiazza, 2003).

53 Cette unité se caractérise par une fraction sableuse prédominante (>90 % en moyenne) aux structures souvent entrecroisées ou horizontales typiques du domaine émergé. Les taux de sables moyens et fins varient selon les échantillons. En CVI et C9-10 on remarque le passage de sables majoritairement moyens (entre 67 et 80 %) à des sables plus fins (47 à 70 %). Cet affinement de la fraction sableuse peut traduire l'évolution de la plage vers un milieu dunaire. La répartition des histogrammes de fréquence indique des stocks légèrement différents. La base des carottes CV, CIV et C3 se caractérise par des histogrammes assez étalés. Le sommet des carottes présente des histogrammes gaussiens très resserrés et centrés généralement sur 0,2 mm. La taille du grain moyen est relativement faible (entre 0,25 et 0,12 mm) et s'affine de la base de l'unité vers le sommet. L'indice de tri s'améliore de la base au sommet de l'unité (sauf pour CV très perturbée) en passant d'un tri moyen à très bon, caractéristique d'un transport éolien. La morphoscopie picotée des quartz confirme l'impact du vent sur les grains. Ces caractéristiques témoignent de l'évolution d'une plage vers un milieu dunaire. On identifie aussi des niveaux plus fins ou plus grossiers. On remarque en effet plusieurs niveaux plus limoneux, correspondant à



des dépôts de décantation dans de petites marres supralittorales ou interdunaires. D'autres niveaux se caractérisent par des pics de matériel grossier (11 à 49 %) à débris organiques (os, bois, charbons) et de sables grossiers (10 à 27 %). Le tri est généralement moyen et la taille de grain moyen plus élevée (jusqu'à 0,37 mm). Ils traduisent des injections de matériel volcanique depuis les versants.

54 La macrofaune se répartie entre des espèces terrestres (*Theba pisana*, *Conchlicella acuta*, *Helicidae*) et de rares fragments remaniés d'espèces marines. On trouve des débris de spicules d'éponges, de colonies de Briozoères, de piquants d'oursins, quelques restes osseux de poissons et quelques fragments de gastéropodes (*Calyptraea sinensis*) et bivalves (*Veneridae*, *Cardiidae*, *Ostreidae*, *Tellinidae*, *Donacidae*, *Psammobiidae*, *Mytilidae*). L'échantillon CV6-b comportait beaucoup de bivalves, dont *Donax trunculus* et *semistriatus*, accompagnés de matériel grossier. Ces indicateurs peuvent décrire une laisse de tempêtes. La microfaune est rare, usée et souvent minéralisée. On trouve quelques ostracodes usés uniquement en S7. Les foraminifères sont toujours présents en faibles quantités. L'assemblage des foraminifères est caractérisé par un remaniement d'*Ammonia beccarii*, accompagnées de *Florilus boueanum* (S5), de *Miliolidae* (*Quinqueloculines* et *Triloculines*), *Elphidium macellum* et *crispum*, *Rosalina bradyi*, *Asterigerinata mamilla* et *Cibicides lobatulus* qui proviennent des herbiers marins.

D. Milieux fortement anthropisés au pied du promontoire de Cumes

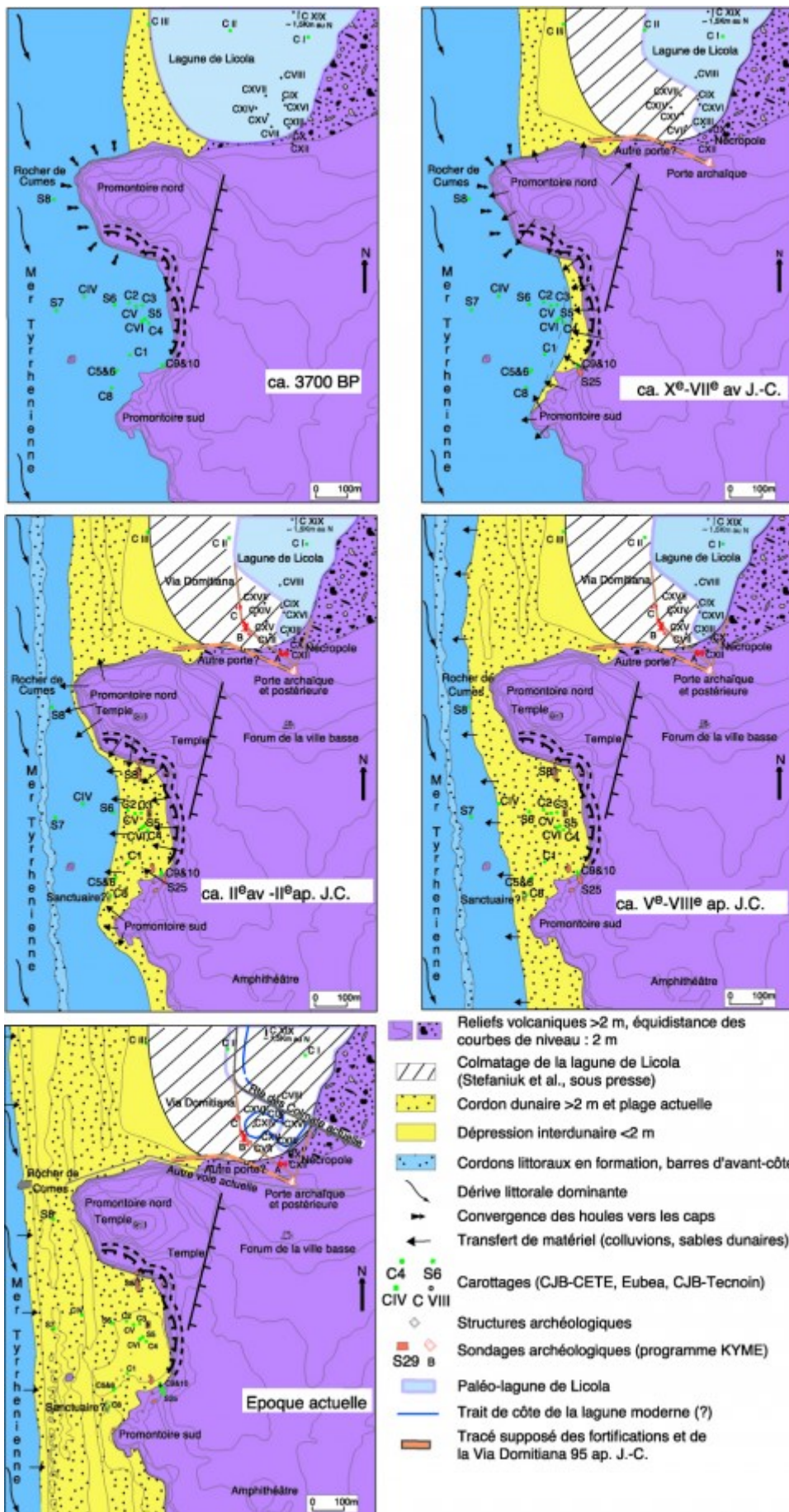
55 Les injections de matériel grossier de l'unité précédemment décrites étaient les prémices de niveaux beaucoup plus grossiers, dont l'épaisseur peut être importante. Les carottes C9-10 et C1 au pied du promontoire sont particulièrement caractéristiques. En effet, au-dessus des plages et des niveaux dunaires, la stratigraphie se présente sous la forme d'une succession de lits centimétriques composés de sédiments grossiers, de sables hétérométriques contenant beaucoup de ponces, de charbons et de bois, de sables fins dunaires et de limons. La majorité des échantillons contiennent en proportions égales du ballast, des sables et des limons ce qui implique une absence de tri. La suprématie des sables grossiers, l'importante taille du grain moyen (0,44 et 0,81 mm) et le mauvais tri du attestent d'un transport colluvial compétent et d'un dépôt en vrac. L'allure rectiligne des histogrammes de répartition confirme ces observations. Les grains sont constitués en majorité de sanidines, minéraux caractéristiques du volcanisme phlégréen. Il s'agit donc de colluvions remaniant des dépôts volcaniques sur les versants. Ce processus aboutit à la formation d'atterrissements sur la haute plage au pied des falaises mortes.

56 Les premières traces directes d'anthropisation se trouvent au sud-ouest de la dépression. À partir de 4,50 m de profondeur (CX16), on note un premier niveau d'occupation (sables oxydés liés à la pédogenèse, tessons, charbons...) qui devient de plus en plus riche en artefacts (tessons, charbons, dent, os...) jusqu'à 2 m de profondeur. À partir de CIX1, on passe à des niveaux de remblai de l'époque gréco-romaine. Il faut d'ailleurs noter que les sondages archéologiques ont mis au jour de nombreuses constructions de la période augustéenne à l'Antiquité tardive dans toute la dépression sud-ouest.

IV. Mobilité des paysages littoraux dans la dépression sud-ouest de Cumes depuis 4 000 ans (fig. 19)

Figure 19 : Evolution paléo-environnementale de Cumes depuis 3700 ans BP





57

La comparaison des différentes unités a permis de reconstituer l'évolution du trait de côte depuis l'éruption de l'Averno (3 700 ans BP) et de réfuter l'hypothèse d'un port romain protégé de type lagunaire dans la dépression sud-ouest.



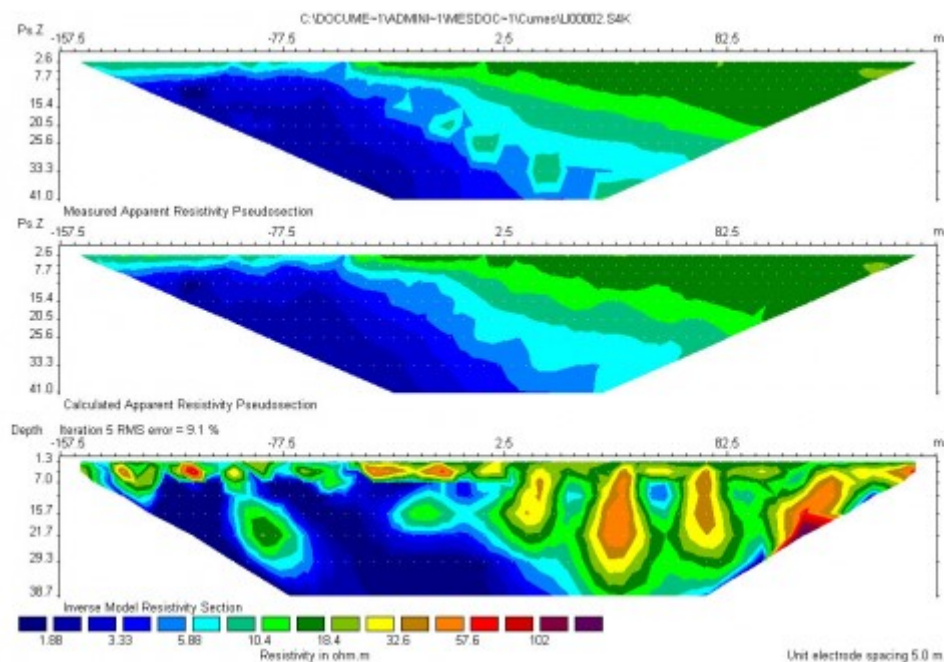
IV.1. Variation des rythmes apparents de sédimentation

58 Le calcul des vitesses apparentes de sédimentation s'est avéré délicat dans la mesure où toutes les unités ne pouvaient être datées. D'un point de vue spatial, l'abondance des injections de sédiment grossier à la base des versants se traduit par un taux de sédimentation nettement plus élevé (de l'ordre de 1,5 cm/an) que dans les carottages occidentaux alimentés principalement par la dérive littorale (de l'ordre de 0,5 cm/an). À l'époque archaïque, la vitesse de sédimentation s'accélère à proximité des versants. En effet, en CVI, les valeurs atteignent une vitesse maximale d'environ 4,4 cm/an. Cet accroissement est à mettre en relation avec les importantes injections de matériel grossier issues du remaniement des versants en pente forte. En effet à partir de la seconde moitié du VIII s. av. J.-C. les grecs entament d'importants aménagements urbains et agricoles, à l'origine d'une déstabilisation généralisée des versants.

IV.2. Mobilité des paysages littoraux

59 La figure 20 schématise les stades d'évolution du colmatage de la dépression sud-ouest de Cumes.

Figure 20 : Profil géoélectrique. Dépression nord de Cumes



Crédit : M. Pessel et A. Revil

- En 3 700 ans BP, se produit l'avant dernier épisode volcanique des Champs Phlégréens : l'éruption de l'Averno. En domaine émergé, les dépôts cendreux recouvrent les versants du rocher de Cumes. En milieu immergé, les tephras se déposent en vrac et épousent la bathymétrie de la baie sud-ouest. L'acidité dégagée par ces dépôts pourraient expliquer l'absence la mauvaise conservation des coquilles. Les fonds infralittoraux sont remaniés par les dynamiques marines relativement actives. Ils sont alimentés à la fois en sables du Volturno apportés par la dérive littorale et en sédiments hétérométriques par ruissellement. La présence de fragments de céramiques de l'époque archaïque permet de postuler une origine anthropique à ces colluvionnements. En effet, les débuts de l'urbanisation et de la mise en valeur agricole des versants vont déstabiliser d'importants volumes de formations superficielles



qui, lors de fortes pluies, vont être transportés au niveau de base par ruissellement.

- À l'époque archaïque, une plage émergée est déjà présente au pied du promontoire de Cumes. En effet, les sédiments transportés par la dérive littorale vont s'échouer préférentiellement dans ce secteur protégé de la baie qui agit comme un piège sédimentologique. Le trait de côte semble se situer à proximité du carottage CVI. Les fonds infralittoraux sont peu profonds et sont battus par les houles. La baie marine ouverte est peuplée d'herbiers à Posidonies qui abritent une faune relativement abondante. L'impact de l'installation des grecs se manifeste par des sédiments hétérométriques associés à l'érosion des sols par ruissellement. Les taux apparents de sédimentation augmentent (entre 1,5 cm/an et 4,4 cm/an). Les grecs pouvaient donc utiliser cette plage pour hisser leurs navires hors de l'eau. Cependant les dynamiques marines n'offraient pas du tout un cadre idéal pour y aménager un port protégé.
- Entre les IIe-Ier s. av. J.-C. jusqu'au Ier s. ap. J.-C., le milieu est caractérisé par la progradation des plages et l'aggradation des fonds marins.
- À l'époque romaine (IIe-Ier s. av. J.-C. au Ier s. ap. J.-C.), deux types de milieu se distinguent. À proximité des versants les niveaux de plages émergées occupent la moitié de la dépression (jusqu'à C5). Les importants vestiges de villas maritimes, sanctuaires, tombes, bâtiments publics... indiquent que les habitants de Cumes mettent en valeur ces plages (Bats *et al.*, 1997 ; Caputo, 1996 ; Pasqualini *et al.*, 1995). Les carottes S6, CIV et S7 attestent la présence à proximité de petits fonds côtiers. La présence de barres d'avant côte provoquait le déferlement des houles, ce qui posait un problème d'accessibilité aux navires. Les romains disposaient donc d'une vaste plage, d'environ 200 m de large, pour hisser leurs navires. Malheureusement, la présence des barres d'avant-côte rendait la navigation périlleuse et restreignait l'accès, comme de nos jours. L'attractivité d'un tel littoral paraît bien limitée face aux abris côtiers naturellement bien protégés de la lagune de Licola, au nord de Cumes, et surtout des ports naturels des caldeiras de Pouzzoles, Baia ou Misène.
- À l'époque Byzantine, le rivage continue à prograder. La plage émergée semble tracer une ligne relativement rectiligne entre S8 et CIV. Lors de fortes houles, les vagues remanient les sédiments des petits fonds côtiers et les déposent sur la plage émergée sous forme de laisses de tempête. La plage est toujours occupée par des bâtiments, certains de grandes dimensions.
- La plus importante progradation du trait de côte et la mise en place du tracé actuel du littoral est relativement récente. Bellotti *et al.*, (2004) et Caiazza (2003) attribuent les taux de sédimentation et progradation maximum au Petit Âge de Glace. Il est tout à fait probable que le régime du Volturno se soit accru et que la régularisation finale du littoral date de cette époque.

60 Les analyses bio-sédimentologiques ont ainsi permis d'appréhender la construction du littoral en relation avec le contexte naturel. Le rôle de l'anthropisation s'avère primordial dans l'organisation des paysages avec la déstabilisation des versants et l'engraissement des plages. L'hypothèse de Schmiedt (1964), Paget (1968) et Bravi *et al.*, (2003) de la présence d'un port lagunaire dans la dépression sud-ouest est réfutée. À l'époque archaïque, les cumains bénéficiaient d'une plage battue par les vagues pour hisser leurs embarcations. Pour les plus gros navires, ils pouvaient utiliser un système de navette avec des barques entre la plage et les navires ancrés plus au large. À l'époque romaine, les plages sont beaucoup plus étendues mais toujours aussi difficiles d'accès du fait de la présence de barres d'avant-côte dans un contexte énergétique dissipatif. Le contexte de la dépression sud-ouest de Cumes n'est donc pas du tout favorable pour développer un bassin portuaire « lagunaire ». En revanche, au nord du rocher de Cumes, la lagune de Licola offrait aux cumains un



milieu naturel protégé en communication avec la mer dès l'époque archaïque.

V. Évolution du milieu lagunaire de Licola depuis 3 700 ans BP

61 La dépression d'arrière-dunes de Licola, localisée au nord de Cumes, mesure entre le cordon dunaire et le pied du versant de l'Archiaverno, environ 500 m de large pour une longueur pluri-kilométrique. Les prospections géoélectriques (profil P14) ont décelé les grandes lignes de la stratigraphie transversale de cette dépression (fig. 20)

62 D'ouest en est, on peut distinguer trois unités majeures. (1) La zone très peu résistive à l'ouest du profil correspond à une partie du cordon littoral caractérisée par la présence de petites dépressions inter-dunaires. Ces dépressions concentrent les écoulements des eaux, ce qui se traduit par de faibles valeurs de résistivité. De plus, l'influence du coin salé favorise le passage du courant électrique et expliquerait les très faibles valeurs de résistivité. (2) Une seconde unité, au centre, se distingue par des valeurs de résistivité plus importantes. Cette partie du cordon littoral mesure environ 150 m de largeur. Elle présente une organisation interne composée d'anomalies parallèles entre elles et à la ligne de rivage. Ces dernières seraient dues à des variations lithologiques comme des noyaux sableux compacts à l'intérieur du paléo-cordon. (3) À l'est, une troisième unité se révèle très peu résistive. Elle mesure environ 150 m de largeur. Cette zone est la région la plus déprimée (canal il Mazzone à l'extrême E du profil). Les carottages CI-97 (Vecchi *et al.*, 2000) et C VIII-01, situé plus au sud, permettent d'interpréter la faible résistivité comme liée à la présence de vases correspondant à l'ancienne lagune de Licola, aujourd'hui complètement colmatée et bonifiée.

63 En ce qui concerne l'organisation stratigraphique verticale, on peut distinguer le passage d'un milieu lagunaire très peu résistif à des dépôts volcaniques plus résistifs vers 10-15 m de profondeur (Morhange *et al.*, 2002). Le colmatage de la lagune préhistorique de Licola par les éruptions volcaniques d'Agnano (4 400 ans BP) et d'Averno (3 700 ans BP) est mis en évidence par la géoélectricité. Au niveau de la surface topographique, on peut aussi observer quelques anomalies ponctuelles correspondant à la voie romaine (Via Domitiana) construite en 95 ap. J.-C. Les anomalies au centre et à l'ouest peuvent représenter d'autres structures archéologiques, comme des mausolées. La réalisation et l'étude des carottages, sondages et fouilles archéologiques a permis de préciser la stratigraphie de cette lagune. Nous rappellerons principalement les résultats obtenus dans les carottages CVIII et CXIII qui ont déjà été publiés en détail par Stefaniuk *et al.*, (2003).

V.1. La dernière grande éruption (Averno vers 3 700 ans BP)

64 L'omniprésence d'une couche vers 7-8 m de profondeur, sableuse au sommet et grossière à la base, traduit un dépôt de sédiments transportés par un flux compétent. Le mauvais tri des particules et le bon état de conservation des minéraux volcaniques (minéraux anguleux et automorphes à 100 %) suggèrent un dépôt volcanique en vrac. Les minéraux identifiés sont caractéristiques des éruptions phlégréennes avec une association de sanidines translucides, de pyroxènes verdâtres et jaunâtres, de biotites, de cristaux noirs trempés issus de l'intrusion d'un magma basique dans un magma acide et de ponces fraîches. On peut donc conclure en faveur d'un dépôt direct lié à l'éruption de l'Averno en 3 700 ans BP, ce qui est confirmé par les dates au radiocarbone (Lirer *et al.*, 1990 ; Morhange *et al.*, 2002). Cette éruption, de type nuées ardentes, recouvrit les versants d'une épaisse couche de cendre et colmata en



partie le fond de la lagune de Licola.

V.2. Un plan d'eau lagunaire protégé en communication avec la mer de l'époque archaïque à l'époque hellénistique

65 Cette unité est calée à la base par un tesson daté d'une période postérieure au VI^e siècle avant J.-C. Le plan d'eau est caractérisé par une sédimentation à 75 % limoneuse et dont la part des sables est dominée par les sables fins (C VIII, unité 2). Le milieu est protégé, ce que confirme la présence de *Rissoa lineolata*. L'importance des espèces macrofaunistiques (*Cerastoderma edule glaucum*) et microfaunistiques (*Cyprideis torosa* et *Loxoconcha elliptica*) supportant des taux de salinité relativement élevés, et quelques ostracodes marins (*Cytheridea mulleri*) témoignent d'influences du domaine marin. La lagune est aussi alimentée par des arrivées d'eau douce d'origine phréatique et continentale. En effet, on remarque une diversification des espèces d'ostracodes de bas en haut de l'unité, avec la présence de biocénoses phytiales (*Cushmanidea lithodomoides*, *Ilyocypris bradyi*) et adaptées à des eaux moins salines (*Herterocypris salina*). Ces caractéristiques se retrouvent dans le développement d'une végétation herbacées mésohaline attestée par l'analyse carpologique (*Ceratophyllum submersum*) et pollinique (*Cyperaceae*, *Salsolaceae/Chenopodiaceae*, *Callitriche*, *Sparganium*, *Typha*...). À cette époque, la lagune ne paraît pas couvrir l'ensemble de la dépression d'arrière-dunes. En effet, la mise au jour dans le secteur proche de la porte archaïque de tombes de l'Âge du Fer atteste d'un milieu exondé. La carotte C XIII confirme cela avec un faciès essentiellement sableux correspondant à un dépôt lié au remaniement des tephres par ruissellement. Ainsi, à l'époque archaïque, la dépression au nord de Cumes comportait une lagune en communication avec la mer pouvant offrir un bon abri pour des bateaux ; le principal problème demeurant son accessibilité par le grau.

V.3. Une fragilisation des versants au début de l'époque hellénistique

66 Le caractère très grossier de l'unité 3 du carottage C VIII (75 % de ballast et sables) témoigne d'un milieu de sédimentation perturbé. En effet, l'analyse montre des sables mal triés et un processus de dépôt compétent. Cela se confirme par la présence d'un important ballast d'origine volcanique. La macrofaune, souvent brisée, est caractéristique de milieux marins sableux avec la présence des pélécytopodes *Loripes lacteus*, *Putilla ambigua* et des gastéropodes *Hydrobia stagnalis*. La prolifération de *Cyprideis torosa* suggère un milieu stressé. Les espèces accompagnatrices sont essentiellement adaptées à un milieu saumâtre et végétalisé. Ces caractéristiques témoigneraient à la fois d'un milieu lagunaire et d'un apport de sédiments des versants. Cette hypothèse est étayée par la présence de gastéropodes pulmonés.

V.4. Du IV^e siècle av J.-C. à l'époque romaine : de profondes mutations du paysage

67 Nous distinguons deux dynamiques :



Montée du niveau lagunaire et début d'eutrophisation

du plan d'eau

68 L'analyse sédimentologique des carottages C VIII (sous-unité 4-A) et C XIII (unité 3) indique le retour à un plan d'eau calme et protégé caractérisé par une sédimentation vaseuse (environ 70% de limons) et par une fraction sableuse très fine (60 % à 80 % de sables fins). Cette dynamique s'accompagne d'une montée relative du niveau du plan d'eau puisque des dépôts vaseux recouvrent même des tombes de l'Âge du Fer. La microfaune est caractérisée par une diversification des espèces (indice de diversité de 1 à 6), avec l'augmentation d'espèces d'eaux douces et saumâtres. On constate le développement d'un assemblage de milieux doux végétalisés, nettement dominé par deux espèces de macrophytes littoraux : *Ilyocypris bradyi* et *Herpetocypris reptans* (Bruneton, 1999). La présence d'espèces benthiques d'eaux douces et faiblement saumâtres comme *Heterocypris salina* (<10 ‰), *Cyprideis torosa forma torosa* (<8‰), *Candona sp.* et *Cypridopsis aculeata* attestent néanmoins d'un fond lagunaire encore assez bien oxygéné malgré la prolifération algale.

Progradation des lignes de rivages

69 Le milieu (C VIII sous-unité 4-C) est marqué par le développement d'une végétation à macrophytes littoraux d'eaux douces (réurrence des graines de *Ceratophyllum submersum*, apparition de *Potamogeton natans/perfoliatus*). L'assemblage des ostracodes est caractéristique des plans d'eaux colonisées par les macrophytes (*Candona neglecta juv.* ainsi que quelques *Cyprideis torosa* et *Cushmanidea lithodomoides*). Le déclin des ostracodes et particulièrement la disparition des espèces benthiques peut s'expliquer par (1) la présence de concrétions carbonatées qui limitent la calcification ou la conservation des carapaces par la fixation des carbonates par de micro-algues et des bactéries (Bruneton, 1999) ; (2) la relative carence en oxygène des eaux. En effet dans un milieu à circulation d'eau réduite, l'écoulement des eaux continentales amène la formation d'une couche d'eau de surface peu saline, qui s'écoule vers la pleine mer ; au contraire, lors des marées montantes, l'eau sous-jacente, plus saline, se dirige vers l'intérieur de la lagune. Les deux couches d'eaux douces et marines sont séparées par un gradient de densité. Or, dans le cas d'un enrichissement en sels nutritifs, une forte augmentation de la productivité planctonique dans la couche de surface est induite. Cela donne lieu à un flux important de matière organique qui chute rapidement vers les sédiments et peut conduire à l'épuisement rapide de l'oxygène des eaux de fond.

70 Une réaction chimique se produit parfois, et des organismes encroûtants se développent sur les végétaux et autour des débris flottants ou sur le fond. Les formes de ces concrétions sont généralement associées à l'agent responsable de la précipitation et à certaines conditions physiques régnant dans la zone concernée du plan d'eau (Magny, 1995). On relève principalement des formes en boule, caractéristiques des zones riveraines où la faible profondeur d'eau va de pair avec un hydrodynamisme relativement plus fort. On trouve également des formes en chou-fleur, typiques de zones d'eaux plus calmes, ou plus profondes. Bien que l'aspect brisé des concrétions rende difficile une estimation de la profondeur de la lagune, le milieu semble affecté par une diminution de la colonne d'eau ; attesté par la présence des oncolites, des potamots, d'un nombre de plus en plus important de débris de gastéropodes continentaux et d'une augmentation des proportions de matériel grossier. La composition de ce dernier confirme la proximité des installations humaines par la présence de tessons (4 à 17 %), de restes de poissons, de débris d'os et des charbons et enfin par des débris de coquilles (*Ostreidae*, *Veneridae*) qui signalent un rejet anthropique ou la présence d'un substrat dur (pieux, quai, rochers...).



V.5. Époque romaine : un plan d'eau en communication avec la mer et d'importants aménagements sur les berges de la lagune

- 71 Les dynamiques de dépôt changent à nouveau avec un retour à une sédimentation vaseuse de milieu protégé (CVIII unité 6, CXIII unité 5). Ce changement semble avoir été relativement soudain puisque l'on passe en CVIII brutalement d'un faciès à 75% sableux à plus de 75% de limons.
- 72 On assiste à un pullulement de la faune carbonatée avec un ballast composé à plus de 80% de coquilles macrofaunistiques, et 1 000 à 8 600 ostracodes pour 10 g de sédiment. Les assemblages macrofaunistiques (*Cerastoderma edule glaucum*, *Scrobicularia plana*) et microfaunistiques (*Cyprideis torosa*, *Loxoconcha elliptica*) témoignent d'un milieu lagunaire. L'inflation du nombre d'individus, l'indice de diversité peu élevé, la suprématie des *Cyprideis torosa* et la présence d'espèces indicatrices de dessalure (*Gastrana fragilis*, *Cyclope neritea*) signalent d'importantes fluctuations de la salinité. Ces variations semblent correspondre à l'alternance des saisons sèches, caractérisées par une importante évaporation et donc une salinité plus élevée, et humides qui bénéficie d'apports d'eau douce. Or, le climat de la région se prête particulièrement à ce phénomène puisqu'il tombe 1 069 mm d'eau par an en moyenne, concentré sur l'automne et l'hiver, et que la sécheresse estivale ne dure que trois mois. La communication avec le domaine marin est attestée par ces variations de salinité qui témoignent d'une alimentation régulière en eau de mer. L'augmentation de la proportion des sables (20 % en moyenne) riche en espèces à préférence sableuse (*Hydrobia stagnalis*, *Loripes lacteus* et *Putilla ambigua*) ainsi que la fluctuation des densités d'ostracodes attesteraient également de la proximité du milieu marin.
- 73 Le secteur à proximité des remparts (carottage CXIII, unité 5) présente des caractéristiques de plan d'eau protégé comme en témoigne les sédiments à 60 % vaseux et la domination des sables fins (>65 %). L'indice d'asymétrie traduisant un enrichissement en fines et le faible grain moyen (0,17 mm maximum) suggèrent un mode de dépôt très calme. La macrofaune est caractéristique des fonds vasicoles avec la présence de débris de *Cerastoderma edule glaucum*.
- 74 L'origine de cette nouvelle influence marine dans la lagune est difficilement interprétable. Seules quelques suggestions peuvent être émises, comme une montée du niveau marin relatif en relation avec des mouvements bradysismiques (Morhange *et al.*, 2006). La possibilité d'un élargissement du grau peut aussi être évoquée. On sait que les grands travaux de réaménagements portuaires d'Agrippa en 37 av. J.-C. concernaient aussi le port de Cumes (Coralini, 1992)

V.6. Époque post-romaine: un plan d'eau de plus en plus continentalisé

- 75 On remarque un retour à une sédimentation plus vaseuse (42 à 48 %) sur 90 cm d'épaisseur environ (sous-unité 6-B). La diminution de la taille du grain moyen (0,33 à 0,28 mm) et la présence de coquilles marines comme des *Cardiidae* montrent qu'il s'agit toujours d'un milieu protégé. Des coquilles de *Littorina neritoides*, caractéristiques des roches médio et infralittorales, suggèrent la présence de structures bâties, plutôt que de rochers. Néanmoins, les forts taux de sables (environ 40 %) et de matériel grossier (environ 20 %) traduisent un milieu très peu profond à proximité des berges.
- 76 Dans la partie septentrionale (carottage C VIII), la sédimentation reste identique au niveau sous-jacent. Les indicateurs macrofaunistiques montrent la permanence d'un milieu saumâtre euryhalin. Cependant, les coquilles très brisées, témoigneraient



plutôt d'un plan d'eau un peu plus agité que précédemment. En effet, les espèces de milieux sableux augmentent (*Hydrobia stagnalis*, *Loripes lacteus* et *Putilla ambigua*) au détriment des espèces vasicoles (*Cerastoderma edule glaucum* et *Scrobicularia plana*). De plus, la présence de *Cyclope donovani* permet d'estimer la colonne d'eau à moins d'un mètre (Pérès et Picard, 1964). L'association d'ostracodes souligne encore le caractère saumâtre du plan d'eau avec de grandes variations de salinité liées à la saisonnalité climatique. En effet, on note une nette prédominance des *Cyprideis torosa*, puis de *Loxoconcha elliptica*, associés à quelques *Cushmanidea lithodomoides* et *Cytherois fischeri*, supportant des sursalures (Steger, 1972). Au contraire, la présence de quelques *Candona neglecta juv.* signale l'existence de dessalures liées à un approvisionnement en eaux douces continentales. L'identification des graines montrent également une colonne d'eau réduite. La réduction du plan d'eau est attestée par les graines de *Cyperaceae*, espèce appartenant aux ceintures à laïches des zones amphibies. Cette ultime phase de sédimentation vaseuse est suivie d'une phase de bonification effectuée au début du XX^e siècle (Bertarelli, 1922). La technique de bonification diffère selon les secteurs de la lagune : des apports de sables du cordon dunaire en C VIII (unité 9) ou des remblais en C XIII (sous-unité 6-C).

Conclusion

77 La reconstitution paléo-environnementale tirée de l'analyse des carottages permet aujourd'hui d'affirmer que Cumes possédait, grâce à la présence de la lagune de Licola au nord de la cité, un abri côtier susceptible d'être utilisé comme port protégé dès l'époque archaïque. Néanmoins ce dernier devait être difficile d'accès via un grau. En effet, la présence de barres d'avant côtes à fleur d'eau rendait l'accessibilité au chenal relativement périlleux. La migration au cours des siècles de ce dernier et les variations de son degré d'ouverture ont dû également poser un problème délicat d'accessibilité pour les navires. Il faut enfin signaler les problèmes de colmatage de la lagune et de fluctuations du plan d'eau qui ont dû entraîner une adaptation régulière des structures portuaires, probablement légères, ainsi que des relocalisations des installations. Ces caractéristiques pourraient expliquer le déclin portuaire de Cumes et la rapide suprématie des ports proches : Pouzzoles, Misène et Portus Iulius aux dépens de l'abri de Cumes-Licola. L'importance du bassin lagunaire de Cumes-Licola ne fit donc que décroître au fil des siècles jusqu'à disparaître, entièrement colmaté. Les gravures modernes et contemporaines ne montrent que de petites barques de pêche qui pouvaient encore circuler dans la lagune de Licola.

78 Abalsamo A., (1994), Territorio del bacino del fiume Volturno: vulnerabilità del sistema insediativo in presenza di molteplici fattori di rischio. In *Territorio e insediamenti nel bacino del Volturno*. Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli, Ed. Graffiti, p. 25-46.

79 Aillaud G., Max P., (1970), Études écologiques et biocénotiques dans la baie du Brusca (Var). Contribution à l'étude de l'ambiance climatique de la lagune du Brusca. *Bull. Inst. Oceanogr. Monaco* 69, 1403, p. 1-24.

80 Albani A. D., Favero V. M., Serandrei Barbero R., (1998), Distribution of sediment and benthic foraminifera in the Gulf of Venice, Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 46, p. 251-265.

81 Almogi-Labin A., Siman-Tov R., Rosenfeld A., Debarad E., (1995), Occurrence and distribution of the foraminifer *Ammonia beccarii tepida* (Cushman) in water bodies, Recent and Quaternary, of the Dead Sea Rift, Israel. *Marine Micropaleontology* 26, p. 153-159.




Amorosi A., Milli S., (2001), Late Quaternary depositional architecture of Po and Tevere river deltas (Italy) and worldwide comparison with coeval deltaic successions.

Sedimentary Geology 144, p. 357-375.

- 83 Barra D., Romano P., Santo A., Campajola L., Roca V., Tuniz C., (1996), The Versilian transgression in the Volturno river plain (Campania, Southern Italy): Palaeoenvironmental history and chronological data. *Il Quaternario* 9.2, p. 445-458.
- 84 Bats M., (dir.), (1997), *Cumes, bilan des travaux 1994-1996*, Texte I, Centre Jean Bérard, Naples, 87 p.
- 85 Bellotti P., (2000), Il modello morfo-sedimentario dei maggiori delta tirrenici italiani. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 119, p. 777-792.
- 86 Bellotti *et al.*, (2004), Morpho-sedimentary characteristics and Holocene evolution of the emergent part of the Ombrone River delta (southern Tuscany). *Geomorphology* 61, p. 71-90.
- 87 Bertarelli L.V., (1922), *Terra promessa, le bonifiche di Coltano, Licola e Varcaturco dell'Opera Nazionale dei Combattenti*, Milano, Touring Club Italiano 161 p.
- 88 Blanc P. F., (1999), *Essai de reconstitution des paléoenvironnements des paysages portuaires de la cité de Cumes: le regard de la documentation historique et des archives sédimentaires*. Mémoire de Maîtrise, Aix-en-Provence, Université Aix-Marseille I, 129 p.
- 89 Blanc-Vernet L., (1969), *Contribution à l'étude des foraminifères de Méditerranée*. Thèse de Doctorat d'État, Marseille, Travaux de la Station Marine d'Endoume, 281 p.
- 90 Bravi S. *et al.*, (2003), Evoluzione sedimentaria olocenica dell'area dell'antico Porto di Cumae (Campi Flegrei, Italia, meridionale). In C. Albore Livadie, F. Ortolani (eds.), *Variazioni climatico-ambientali e impatto sull'uomo nell'area circum-Mediterranea durante l'olocene. Territorio storico ed ambiente*. Bari, Edipuglia, p. 23-64.
- 91 Bruneton H., (1999), *Évolution holocène d'un hydrosystème nord-méditerranéen et de son environnement géomorphologique, La plaine d'Arles à l'interface entre le massif des Alpilles et le Rhône*, Thèse de géographie physique, Université Aix-Marseille I.
- 92 Caiazza D., (2003), Modificazioni geoambientali nella piana del Volturno dal I sec. a.C. La crescita dei suoli ad Allifae, Casilinum e Urbana. In C. Albore Livadie, F. Ortolani (eds.), *Variazioni climatico-ambientali e impatto sull'uomo nell'area circum-Mediterranea durante l'olocene. Territorio storico ed ambiente*. . Bari, Edipuglia, p. 425-435.
- 93 Caputo P. *et al.*, (1996), *Cuma e il suo parco archeologico, un territorio e le sue testimonianze*. Roma, Bardi Editore, 222 p.
- 94 Carboni M. G. *et al.*, (2002), Palaeoecological evidences from foraminifers and ostracods on Late Quaternary sea-level changes in the Ombrone river plain (central Tyrrhenian coast, Italy). *GEOBIOS*, mémoire spécial 24, p. 40-50.
- 95 Cinque A. *et al.*, (1988), Le varazione della linea di costa lungo il litorale campano durante il Quaternario. *Terra* 5, p. 19-25.
- 96 Cocco E. *et al.*, (1980), Dinamica ed evoluzione del litorale campano laziale : I-II settore a Sud del fiume Volturno, *Atti IV congresso della associazione di oceanologia e limnologia, Chiavari 1-3 dicembre 1980*, p. 58/1-58/11.
- 97 Cocco E. *et al.*, (1982), Dinamica ed evoluzione del litorale campano-laziale: II-II settore a Nord del fiume Volturno, *Atti del V congresso della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, Stresa 19-22 maggio 1982*, Pallanza, p. 305-321.
- 98 Cocco E. *et al.*, (1984), Dinamica ed evoluzione del litorale campano laziale: il complesso di foce del fiume Volturno, *Atti del VI congresso della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, 1984*, Livorno, p. 279-288.
- 99 Coralini A., (1992), *Osservazioni sulle gallerie stradali, Tecnica stradale romana, Atlante tematico di topografia antica*, 1, Rome, p. 83-92.
- 100 Debenay J.-P. *et al.*, (1998), *Ammonia beccarii* and *Ammonia tepida*



(Foraminifera): morphofunctional arguments for their distinction. *Marine Micropaleontology* 34, p. 235-244.

- 101 Devivo B. *et al.*, (2001), Pb isotopes and toxic metals in floodplain and stream sediments from the Volturno river basin, Italy. *Environmental Geology*, 41, p. 101-112.
- 102 De Gennaro *et al.*, (1999), Depositional mechanisms and alteration processes in different types of pyroclastic deposits from Campi Flegrei volcanic field (southern Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 91, p. 303-320.
- 103 Di Girolamo, P., (1984), Vulcanologia e petrologia dei Campi Flegrei. *Bollettino della Società Geologica Italiana* 103, p. 349-413.
- 104 Folk R.L., Ward W.C., (1957), Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* 27, p. 3-26.
- 105 Francou S., (2000), *Étude sédimentaire de la dépression sud-ouest de l'acropole de Cumès*. Mémoire de Maîtrise, Institut de géographie, Université Aix-Marseille I, Aix-en-Provence, 77 p.
- 106 Gandolfi G., Paganelli L., (1984), Petrografia delle sabbie del litorale tirrenico fra i Monti dell'Uccellina e Monte di Procida. *Mineralogica e petrographica acta* 28, p. 173-191.
- 107 Goiran J.-P., (1997), *Étude géomorphologique de sites portuaires antiques. Lanarca, Kition-Bamboula, Chypre; Cumès, Campanie, Italie*. Mémoire de Maîtrise, Institut de géographie, Université Aix-Marseille I, Aix-en-Provence, 144 p.
- 108 Johannowsky W., (1975), Problemi relativi a Cuma arcaica, *Cahiers du Centre Jean Bérard* 2, p. 98-105.
- 109 Lirer L., Munno R., (1975), Il "Tufo Giallo napoletano" (Campi Flegrei), *Periodico di Mineralogia*, anno 44, fasc. 1, p. 103-118.
- 110 Lirer L. *et al.*, (1987), Un evento pliniano dell'attività recente dei Campi Flegrei. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 106, p. 461-473.
- 111 Lirer L. *et al.*, (1990), Contribuo delle analisi granulometriche alla ricostruzione della dinamica dell'eruzione di Averno (Campi Flegrei). *Bollettino della Società Geologica Italiana* 109, p. 583-597.
- 112 Magny M., (1995), *Une histoire du climat, des derniers mammoths au siècle de l'automobile*, Errance, Paris, 176 p.
- 113 Mastronuzzi G., Sanso P., (2002), Holocene coastal dune development and environmental changes in Apulia (southern Italy). *Sedimentary Geology* 150, p. 139-152.
- 114 Morhange *et al.*, (2002), Il problema della localizzazione del porto greco antico di Cuma : nuovi metodi e risultati preliminari, in CUMA, nuove forme di intervento per lo studio del sito antico, B. d'Agostino et A D'Andrea (eds.), *AIONArchStAnt*, Napoli, p. 153-165.
- 115 Morhange *et al.*, (2006), Rapid sea-level movements and noneruptive crustal deformations in the Phlegrean Fields caldera, Italy, *Geology* 43, 2, p. 93-96.
- 116 Murray J.W., (1971), *An atlas of British Recent Foraminiferids*. *Educational books*. Heinemann, London, 244 p.
- 117 Onorati G., (1998), Regime pluviometrico ed assetto geomorfologico del bacino idrografico del fiume Volturno. In: P. Ghelardoni, *Studi in onore di Mario Pinna*, vol. I. Il clima e la storia del clima. Coll. Memorie della società geografica italiana, vol. LV, Pisa-Roma, p. 133-152.
- 118 Paget R.F., (1968), The ancient port of Cumae, *The Journal of Roman Studies* 58, 1-2, p. 148-169.
- 119 Péres J.-M., Picard J., (1964), Nouveau manuel de bionomie benthique de la Méditerranée. *Revue des travaux de la station marine d'Endoume* 31, 47, 137 p.
- 120 Poupet P., Harfouche R., (2005), Kyme-Cumae (Italie), regards sur les formes du paysage autour d'un port de l'Antiquité. *Méditerranée* 104, p. 37-48.
-  Reineck H.E., Singh I.B., (1973), *Examples of Beach-Shelf Profiles from Modern Environments*. *Beach Sand-Shelf Mud Profile, Gulf of Gaeta, Mediterranean Sea*,

- Italy, Depositional Sedimentary Environments*. Springer-Verlag, Berlin, p. 311-316.
- 122 Romano P. *et al.*, (1994), L'evoluzione geomorfologica della pianura del fiume Volturno (Campania) durante il tardo quaternario (Pleistocene medio-superiore-olocene). *Il Quaternario* 7, 1, p. 41-56.
- 123 Rosi M., Sbrana A., (1987), Phlegrean Fields. *Quaderni della ricerca scientifica* 114, 175 p.
- 124 Scandone R. *et al.*, (1991), The Structure of the Campanian Plain and the Activity of the Neapolitan Volcanoes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 48, 1-2, p. 1-31.
- 125 Schmiadt G., (1964), Contribution of photointerpretation to the reconstruction of the geographic-topographic situation of the ancient ports in Italy, Papers for the X Int. Photogrammetry Congress, Lisbonne.
- 126 Sgarella F. Moncharmont Zei M., (1993), Benthic Foraminifera of the Gulf of Naples (Italy): systematics and autoecology. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana* 32, 2, p. 145-264.
- 127 Siani G. *et al.*, (2000), Radiocarbon reservoir age in the Mediterranean Sea and Black Sea. *Radiocarbon* 42, p. 271-280.
- 128 Stefaniuk L., (2002), *Localisation et dynamiques paléo-environnementales du port nord de Cumes (Campanie, Italie)*, Mémoire de DEA de géographie physique, Institut de géographie, Université d'Aix-Marseille I, 125 p.
- 129 Stefaniuk L., Morhange C., (2005), Évolution des paysages littoraux dans la dépression sud-ouest de Cumes depuis 4000 ans, la question du port antique, *Méditerranée* 104, 1-2, p. 49-59.
- 130 Stefaniuk L., Morhange C., (2010), Evoluzione dei paesaggi littorali nella depressione sud-ovest di Cuma da 4000 anni. Il problema del porto antico. in Cuma, Actes 40^e colloque Magna Grecia, Tarente, p. 305-322.
- 131 Stefaniuk L. *et al.*, (2003), L'evoluzione dell'ambiente nei Campi Flegrei e le sue implicazioni storiche: Il caso di Cuma e le ricerche del Centre Jean Bérard nella laguna di Licola. In *Ambiente e Paesaggio nella Magna Grecia*, Istituto per la storia e l'archeologia della magna grecia, Tarente, p. 397-435.
- 132 Stefaniuk L. *et al.*, (2006), Mobilité du littoral domitien (Cumes, Campanie, Italie) et dynamiques anthropiques depuis 4000 ans, in *L'érosion entre société, climat et paléoenvironnement*, Allée P. et Lespez L. (eds.), Presses universitaires Blaise Pascal, Collection Nature et Sociétés, 3, p. 473-480.
- 133 Steger C., (1972), *Contribution à l'étude écologique des Ostracodes des mares temporaires de Camargue, autécologie de l'espèce Cypris bispinosa LUCAS*. Thèse de spécialité en biologie appliquée, Université de Provence.
- 134 Stuiver *et al.*, (1998), INTCAL98 radiocarbon age calibration 0-24000 BP. *Radiocarbon* 40, p. 1041-1083.
- 135 Surian N., Rinaldi M., (2003), Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology* 50, p. 307-326.
- 136 Vacchi M. *et al.*, (2016), Multiproxy assessment of Holocene relative sea-level changes in the western Mediterranean: Sea-level variability and improvements in the definition of the isostatic signal, *Earth Science Reviews* 155, p. 172-197.
- 137 Vecchi L., (1999), *Étude géomorphologique du site de Cumes, Campanie, Italie du Sud*. Mémoire de DEA, Institut de géographie Université Aix-Marseille I, Aix-en-Provence, 89 p.
- 138 Vecchi L. *et al.*, (2000), La mobilité des milieux littoraux de Cumes, Champs Phlégréens, Campanie, Italie du Sud. *Méditerranée* 94, p. 71-82.

List of illustrations



	Title	Figure 1 : Situation de Cumes (Campanie, Italie)
	URL	http://journals.openedition.org/mediterranee/docannexe/image/14566/img-1.jpg
	File	image/jpeg, 327k
	Title	Figure 2 : Site de Cumes
	URL	http://journals.openedition.org/mediterranee/docannexe/image/14566/img-2.jpg
	File	image/jpeg, 393k
	Title	Fig. 3 : Représentation de Cumes et de la lagune de Licola
	Caption	Galerie des cartes géographiques, Musées du Vatican. Le nord est en bas. Milieu du XVI ^e siècle.
	URL	http://journals.openedition.org/mediterranee/docannexe/image/14566/img-3.jpg
	File	image/jpeg, 2.1M
	Title	Fig. 4 : Carte de bonification de la lagune de Licola
	Credits	1902, ACS Roma n° INV 52-27.20
	URL	http://journals.openedition.org/mediterranee/docannexe/image/14566/img-4.jpg
	File	image/jpeg, 830k
	Title	Fig. 5 : Carte topographique de la lagune de Licola
	Caption	Les hauteurs de colonne d'eau sont inférieures au m. Il s'agit de la dernière étape de colmatage du marécage avant bonification.
	Credits	1902, ACS Roma n° INV B006
	URL	http://journals.openedition.org/mediterranee/docannexe/image/14566/img-5.jpg
	File	image/jpeg, 2.4M
	Title	Fig. 6 : Héliogravure de la marge orientale de la lagune de Licola au début du XX ^e siècle (vers 1912)
	Credits	In Bérard (1933), <i>Dans le sillage d'Ulysse - album odysseén</i> (Colin), cliché F. Boissonnas.
	URL	http://journals.openedition.org/mediterranee/docannexe/image/14566/img-6.jpg
	File	image/jpeg, 1.3M
	Title	Figure 7 : Réseau hydrologique de la Campanie méridionale
	URL	http://journals.openedition.org/mediterranee/docannexe/image/14566/img-7.jpg
	File	image/jpeg, 2.3M
	Title	Figure 8 : Vue aérienne du rocher de Cumes
	Credits	Cliché J.-P. Brun
	URL	http://journals.openedition.org/mediterranee/docannexe/image/14566/img-8.JPG
	File	image/jpeg, 1.5M
	Title	Figure 9 : Vue aérienne du rocher de Cumes en direction du sud
	URL	http://journals.openedition.org/mediterranee/docannexe/image/14566/img-9.jpg
	File	image/jpeg, 3.0M
	Title	Figure 10 : Esquisse géomorphologique et pédologiques des environs de Cumes
	Caption	1- Falaise morte taillée dans les tufs gris et le dome trachytique du Monte di Cuma.2- Faille limitant l'acropole vers l'est.3 – Pointement pyroclastique sur lequel est bâti un aménagement antique.4- Remblais récents.5- Sables supralittoraux et cordon de dunes mobiles en cours d'érosion, non pédogénisés, associés au sol faiblement développé sur les dépôts sableux des plages et cordons dunaires.6- Sol moyennement développé sur les sables dunaires stabilisés.7- Sol sableux développé en arrière des cordons dunaires, dans les dépressions intercordons.8- Sol développé sur les matériaux



pyroclastiques et sableux apportés pour la bonification des terres basses de la baie sud-ouest de Cumes et de la lagune bonifiée de Licola.9- Sol discontinu très peu épais sur matériel pyroclastique et trachytique désagrégé ; régosol sur les versants raides du Monte di Cuma.10- Sol peu développé sur formations pyroclastiques souvent à l'affleurement, associé à de nombreux étalements de déblais de fouille archéologique.11- Sol peu évolué de type andosol.12- Sol bien développé de type andosol, mais peu évolué, sur les colluvions à matrice pyroclastique et ponces, ainsi que sur les remblais recouvrant notamment les structures archéologiques.

URL<http://journals.openedition.org/mediterrane/docannexe/image/14566/img-10.jpg>**File**

image/jpeg, 176k

Title

Figure 11 : Schéma hypothétique du port sud-ouest de Cumes

Caption

1- Ligne de rivage actuelle.2- Hauts fonds.3- Chenaux ou graus restitués4- Construction interprétée comme un phare5- Traces d'un autre phare ?6- Môle ? (tas d'épierrement).7- Bassin restitué.8- Ancien port de pêche restitué.9- Canal supposé, reliant la lagune de Fusaro à Cumes.

URL<http://journals.openedition.org/mediterrane/docannexe/image/14566/img-11.jpg>**File**

image/jpeg, 236k

Title

Figure 12 : Vue vers le sud de la dépression sud-ouest de Cumes

Credits

Cliché : C. Morhange

**URL**<http://journals.openedition.org/mediterrane/docannexe/image/14566/img-12.JPG>**File**

image/jpeg, 1.2M

Title

Figure 13 : Vue vers le nord de la dépression sud-ouest de Cumes

Credits

Cliché : C. Morhange

**URL**<http://journals.openedition.org/mediterrane/docannexe/image/14566/img-13.jpg>**File**

image/jpeg, 477k

Title

Figure 14 : Datations 14C des carottages au sud-ouest du rocher de Cumes

**URL**<http://journals.openedition.org/mediterrane/docannexe/image/14566/img-14.jpg>**File**

image/jpeg, 248k

Title

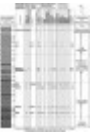
Figure 15 : Localisation des carottes au sud-ouest et au nord du rocher de Cumes

**URL**<http://journals.openedition.org/mediterrane/docannexe/image/14566/img-15.jpg>**File**

image/jpeg, 366k

Title

Figure 16 : Carotte FV, dépression sud-ouest de Cumes

**URL**<http://journals.openedition.org/mediterrane/docannexe/image/14566/img-16.jpg>**File**

image/jpeg, 314k

Title

Figure 17 : Carotte S6, dépression sud-ouest de Cumes

**Credits**(Bravi *et al.*, 2003)**URL**<http://journals.openedition.org/mediterrane/docannexe/image/14566/img-17.jpg>**File**

image/jpeg, 343k

Title

Figure 18 : Comparaison stratigraphique des carottes, dépression sud-ouest de Cumes


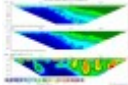
**URL**<http://journals.openedition.org/mediterrane/docannexe/image/14566/img-18.jpg>**File**

image/jpeg, 440k

Title

Figure 19 : Evolution paléo-environnementale de Cumes depuis 3700 ans BP



	URL	http://journals.openedition.org/mediterranee/docannexe/image/14566/img-19.jpg
	File	image/jpeg, 2.0M
	Title	Figure 20 : Profil géoélectrique. Dépression nord de Cumes
	Credits	Crédit : M. Pessel et A. Revil
	URL	http://journals.openedition.org/mediterranee/docannexe/image/14566/img-20.jpg
	File	image/jpeg, 183k

References

Electronic reference

Christophe Morhange and Lise Stefaniuk, "Géoarchéologie portuaire de la cité de Cumes (Campanie, Italie)", *Méditerranée* [Online], Paleoenvironment, Geoarchaeology, Historical Geography, Online since 18 April 2023, connection on 19 April 2023. URL: <http://journals.openedition.org/mediterranee/14566>

About the authors

Christophe Morhange

Aix Marseille Univ, CNRS, IRD, INRAE, CEREGE, Aix-en-Provence, France ; École pratique des hautes études-PSL, AOROC (Archéologie & Philologie d'Orient et d'Occident), Paris, France, morhange@cerege.fr

By this author

Pierre Gabert (1927-2022) [Full text]

Témoignages d'affection et de reconnaissance

Published in *Méditerranée*, Paleoenvironment, Geoarchaeology, Historical Geography

Lettre à Michèle [Full text]

Michèle Joannon (1941 à Bône – 2018 à Marseille)

Published in *Méditerranée*, 130 | 2018

Méditerranée, revue géographique des pays méditerranéens (1960-2018) [Full text]

De l'édition sur papier au format électronique, les métamorphoses d'une publication

Published in *Méditerranée*, 129 | 2017

An Early Bronze Age pile-dwelling settlement of discovered in Alepu lagoon (municipality of Sozopol, department of Burgas), Bulgaria [Full text]

Découverte d'un site palafitte de l'âge du bronze dans la lagune d'Alepou (municipalité de Sozopol, département de Burgas), Bulgarie

Published in *Méditerranée*, 126 | 2016

Emergence of agriculture on the Taman Peninsula, Russia [Full text]

Émergence de l'agriculture dans la péninsule de Taman, Russie

Published in *Méditerranée*, 126 | 2016

Introduction [Full text]

Foreword [Full text | translation | en]

Published in *Méditerranée*, 122 | 2014

All documents

Lise Stefaniuk

Aix Marseille Univ, CNRS, IRD, INRAE, CEREGE, Aix-en-Provence, France

By this author

Évolution des paysages littoraux dans la dépression sud-ouest de Cumes depuis 4000 ans [Full text]

La question du port antique

Cuma coastal landscape evolution since 4000 years: the question of the ancient harbor

Published in *Méditerranée*, 104 | 2005



Copyright

All rights reserved

