DYNAMIQUES SPATIALES ET RECONSTITUTIONS PALÉOGEOGRAPHIQUES DE LA PLAINE DE THESSALONIQUE (GRÈCE) À L'HOLOCÈNE RÉCENT

Matthieu Ghilardi

▶ **To cite this version:**

Matthieu Ghilardi. DYNAMIQUES SPATIALES ET RECONSTITUTIONS PALÉO-GEOGRAPHIQUES DE LA PLAINE DE THESSALONIQUE (GRÈCE) À L'HOLOCÈNE RÉCENT. Géographie. Université Paris XII Val de Marne, 2007. Français. NNT : . tel-00201255

HAL Id: tel-00201255

https://theses.hal.science/tel-00201255

Submitted on 27 Dec 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

GEONAT E.A. 435

UNIVERSITÉ PARIS XII VAL-DE-MARNE

École doctorale « Sciences et Ingénierie, Matériaux, Modélisation, Environnement » (E.D. 183)

Équipe d'Accueil « Géodynamique des Milieux Naturels et de l'Environnement » (E.A. 435)

Laboratoire de Géographie Physique Pierre Birot (C.N.R.S. – U.M.R. 8591)

Laboratoire P.R.O.D.I.G. (C.N.R.S. – U.M.R. 8586)

DYNAMIQUES SPATIALES ET RECONSTITUTIONS PALÉOGÉOGRAPHIQUES DE LA PLAINE DE THESSALONIQUE (GRÈCE) À L'HOLOCÈNE RÉCENT

présentée par

Matthieu GHILARDI

Thèse soutenue le 27 novembre 2007

pour l'obtention du Doctorat de Géomorphologie

devant un jury composé de :

Éric Fouache, Professeur des Universités - Paris XII Val-de-Marne,
Directeur de thèse

Philippe Chamard, Maître de Conférences H.D.R. - Paris X Nanterre,
co-Directeur de thèse

Charles Le Cœur, Professeur des Universités - Paris I Sorbonne,
Rapporteur

François Queyrel, Directeur d'Études - École Pratique des Hautes Études,
Rapporteur

Marie-Françoise Courel, Directrice d'Études - École Pratique des Hautes Études,
Examinateur

Paolo Pirazzoli, Directeur de Recherches - U.M.R. 8591,
Examinateur

Stathis Stiros, Professeur des Universités - Université de Patras (Grèce),
Examinateur

UMR 8586
CNRS
Paris 1, Paris IV, Paris 7
ephe

« Le voyageur géographe porte particulièrement ses regards sur l'ancien monde ; il compare les relations des auteurs avec l'état actuel des lieux, recherche l'emplacement des villes qui n'existent plus, restitue aux montagnes et aux fleuves les noms primitifs que les révolutions ont changés ou défigurés. »

Esprit Marie Cousinéry. Voyage dans la Macédoine, 1830

« Une montagne, un lac, une rivière, une citadelle déterminent les attitudes des chefs et les manœuvres des armées. L'homme fait des projets, la terre les gêne ou les favorise ; l'histoire est un perpétuel compromis entre l'un et l'autre, entre la psychologie et la géographie. La terre s'impose à l'homme, mais l'homme l'utilise et la transforme, l'espace participe au déterminisme. »

Paul Pédech. La démarche historique de Polybe, 1964

« La fortune sourit aux audacieux. »

Virgile. Poète du I^{er} siècle av. J.-C.

ΧΩΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΛΑΙΟ-ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΠΕΔΙΑΔΑΣ ΤΗΣ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ (ΕΛΛΑΔΑ) ΚΑΤΑ ΤΟ ΠΡΟΣΦΑΤΟ ΟΛΟΚΑΙΝΟ

Η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης είναι το μεγαλύτερο δελταϊκό σύμπλεγμα της Ελλάδας, καλύπτοντας μια περιοχή περίπου 2.200 km^2.

Η παρούσα έρευνα έχει ως στόχο την ανακατασκευή της μορφολογικής εξέλιξης αυτής της παράκτιας πεδιάδας, που σχηματίστηκε τις τελευταίες έξι χιλιετίες. Χρησιμοποιώντας μια μέθοδο που συνδυάζει τη μελέτη της ιστορικής γεωγραφίας και την παλαιο-περιβαλλοντική προσέγγιση, αναλύθηκαν τα διαφορετικά στάδια του σχηματισμού αυτής της παράκτιας πεδιάδας.

Από ιστορική άποψη, η περιοχή είναι ιδιαίτερα σημαντική. Από την Νεολιθική εποχή, παρατηρείται συνεχείς κατοίκηση. Ποικίλες αρχαιολογικές, ιστορικές και παλαιο-περιβαλλοντικές έρευνες έχουν τονίσει μια ταχεία μετατόπιση της ακτογραμμής μεταξύ της $4^{ης}$ χιλιετίας π.Χ. και του $5^{ου}$ αιώνα μ.Χ., αλλά δυστυχώς δεν καθόρισαν την εξέλιξη του τοπίου. Το Βασίλειο της Μακεδονίας, με τους ένδοξους βασιλείς όπως ο Φίλιππος Β' και ο Μέγας Αλέξανδρος, κυριάρχησε στην περιοχή, αφήνοντας πίσω πολλά αρχαιολογικά ευρήματα και παράλληλα «έζησε» την εντονότατη εξέλιξη της ακτογραμμής. Η Πέλλα, η αρχαία πρωτεύουσα και σημαντικό λιμάνι κατά τους Μακεδονικούς Χρόνους, απέχει σήμερα 28 km από την θάλασσα.

Η λεπτομερής και προσεχτική έρευνα των βιβλιογραφικών πηγών (αρχαία κείμενα, χάρτες) που χρονολογούνται μέχρι τον $19^{ο}$ αιώνα (περιγραφές ταξιδιωτών) επέτρεψαν να αναφερθούν αλλαγές της ακτογραμμής και του υδρογραφικού δικτύου. Χρησιμοποιώντας αυτά τα έγγραφα, δημιουργήθηκαν οι πρώτες παλαιογεωγραφικές ανακατασκευές και αποκαλύφθηκαν πολλά σενάρια παρεξηγήσεων και αντιφάσεων εξαιτίας διαφορετικών ερμηνειών των βιβλιογραφικών πηγών.

Αυτή η έρευνα προσφέρει μια νέα αντίληψη και οπτική για την εξέλιξη της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης, βασιζόμενη σε χρονο-στρωματογραφικά στοιχεία από γεωτρήσεις ύψους. Αναγνώριση των φάσεων, μαζί με κοκκομετρικές αναλύσεις και μετρήσεις μαγνητικής διαπερατότητας, αποκάλυψαν διαφορετικά περιβάλλοντα ιζηματολογικών αποθέσεων.

Δεκαεπτά ραδιοχρονολογήσεις θαλάσσιων οστράκων, τύρφης και οργανικών ιζημάτων έλαβαν χώρα, επιτρέποντας την λήψη χρονο-στρωματογραφικών αποδείξεων. Χρησιμοποιώντας μεθόδους Remote Sensing και έναν συνδυασμό φασματικών ζωνών (LANDSAT TM imagery) και ακριβή τοπογραφικά δεδομένα (SRTM), ήταν δυνατή η χωρική ερμηνεία των χρονοστρωματογραφικών αλληλουχιών. Τέλος, κατασκευάστηκαν πολλαπλά Ψηφιακά Μοντέλα Αναγλύφου (D.E.M.) που δείχνουν την παλαιογεωγραφική ανακατασκευή και τις μετατοπίσεις της ακτογραμμής κατά τις τελευταίες έξι χιλιετίες.

REMERCIEMENTS

La partie consacrée aux remerciements est aussi importante que le corps même de la thèse et se rédige de façon spontanée et naturelle. En pareil moment, on trouve assez aisément ses mots pour exprimer sa gratitude envers ceux qui ont contribué à l'avancement de ces recherches. En effet, le travail de thèse est au début solitaire ; on se retrouve seul face à un sujet qui vous occupe pendant plusieurs années (mes recherches dans la région ont été initiées lors de mon année de maîtrise il y a cinq ans !). Au fil des mois votre travail devient bien plus qu'un sujet de recherches individuel, il devient le fruit d'un travail partagé avec des individus et avec des institutions qui vous accompagnent et vous font confiance. La meilleure façon de les remercier est de les citer.

Je tiens en premier lieu à remercier mon Directeur de thèse, Eric Fouache, qui est venu à deux reprises m'accompagner au cours de missions de terrain en 2004 (en compagnie de Jean-Jacques Dufaure que je remercie également) et en 2005. Ses conseils éclairés et la simplicité avec laquelle il m'a prodigué ses nombreuses remarques m'ont à chaque fois permis de me remobiliser et de me motiver pour approfondir toujours plus mon travail. L'ambiance chaleureuse et amicale dans laquelle se sont écoulées quatre années de recherches (depuis mon D.E.A.[1]) m'ont fait prendre conscience de la chance que j'avais d'avoir un Directeur d'une disponibilité totale, qui se mette à ma portée dès que le besoin s'en faisait sentir.

Outre des qualités humaines indéniables, Eric Fouache a fait preuve à mon égard d'une grande conscience professionnelle ; ses collaborations avec les universités de Patras, d'Athènes et de Thessalonique, comme avec l'Ecole française d'Athènes, ont facilité mon adaptation dans un pays dont je ne pratiquais pas la langue au début de mes travaux. Son implication fut également totale lors de campagnes de carottages dans la partie distale du delta de l'Aliakmon mais aussi lors du travail de laboratoire où l'étude des résultats fut source de débats et d'avancées significatives.

[1] Diplôme d'Etudes Approfondies

Ma gratitude va en second lieu à Philippe Chamard, co-Directeur de thèse, qui a suivi mes travaux depuis mon année de maîtrise, réalisée sous sa direction. Ses remarques toujours très judicieuses m'ont permis à chaque entrevue de relativiser mes certitudes quant à mes résultats et d'approfondir davantage ma réflexion. Je suis redevable à sa très grande disponibilité et à ses connaissances pointues dans l'étude des zones deltaïques, mais aussi à ses qualités humaines avérées et celles d'un enseignant-chercheur passionnant à écouter (je m'en rendis compte dès ma première année universitaire en 1999-2000 !).

Il a toujours répondu présent dans les moments délicats qu'une vie d'étudiant peut procurer.

L'aventure que constitue ce projet de recherches n'aurait jamais pu débuter si Marie-Françoise Courel, alors Directrice du laboratoire P.R.O.D.I.G.[1] puis Présidente de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, ne m'avait intégré au programme de recherches de l'E.P.H.E. « L'être humain et l'eau : le cas de la cité antique de Methoni ». Sa confiance à mon égard et son soutien moral ont été déterminants dès les premiers mois de mes recherches. Le soutien financier assuré dès ma première année de préparation du Diplôme de l'E.P.H.E. en 2002-2003 a permis de me rendre une première fois sur mon terrain d'études. Je lui dois également ma participation au programme ERASMUS en 2003-2004 qui me mena durant trois mois à Thessalonique, où les aventures humaine et professionnelle se révélèrent très bénéfiques.

Je tiens également à lui exprimer mes plus sincères remerciements pour avoir fait publier mon mémoire de l'E.P.H.E. aux éditions *Mémoires du Laboratoire de Géomorphologie de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes*.

Je suis également très reconnaissant à Charles Le Coeur, Directeur du laboratoire de géographie physique de Meudon et de l'Unité Mixte de Recherches (C.N.R.S. / U.M.R. 8591) à laquelle je fus rattaché en tant que membre de l'équipe d'accueil GEONAT (E.A. 435). L'intégration au laboratoire m'a en effet permis de disposer des infrastructures et du matériel nécessaires à mes analyses sédimentologiques. De plus, ses conseils et ses remarques pertinentes ont toujours été utiles, autant que son enthousiasme à suivre mes recherches. Je le remercie également de m'avoir apporté un soutien financier lors de ma participation au colloque organisé par l'*European Geosciences Union* à Vienne (Autriche) en avril 2007.

[1] Pôle de Recherche pour l'Organisation et la Diffusion de l'Information Géographique

J'ai également bénéficié au laboratoire des conseils très avisés de Stéphane Kunesch, ingénieur-sédimentologue, qui m'a orienté et guidé dans mes analyses de granulométrie et de susceptibilité magnétique. Sa présence amicale fut rassurante et très appréciée : je lui en suis grandement reconnaissant.

Je tiens à remercier aussi François Queyrel, Directeur d'Etudes à l'E.P.H.E. et Président du jury de mon diplôme soutenu à l'E.PH.E. le 26 janvier 2006. Je lui suis reconnaissant de m'avoir prodigué ses conseils pour le traitement des données historiques et de m'avoir guidé dans la bibliographie historique et ma quête de documents anciens.

Je le remercie également d'avoir contribué à faire publier mon mémoire de l'E.P.H.E.

Mes vifs remerciements vont ensuite à Stathis Stiros, professeur à l'Université de Patras, Directeur du laboratoire de géodésie, rattaché au département d'ingénierie civile. La collaboration engagée s'est révélée très fructueuse, et concrétisée par la publication d'un article dans la revue internationale *Engineering Geology*, où sa contribution fut majeure. Je le remercie également d'avoir facilité mon séjour en novembre 2005 à l'Université de Patras, au cours duquel je fus chaleureusement accueilli par Panos Psimoulis et l'ensemble du laboratoire de géodésie de l'Université de Patras.

L'aide précieuse de Jeannine Le Rhun, Maître de Conférences à l'E.P.H.E. et Directrice de mon mémoire de cette même institution, fut la bienvenue lors du traitement des images satellites LANDSAT TM et des phases de géoréférencement des supports cartographiques. Son amicale présence fut très rassurante au cours de ces années écoulées.

Une place toute particulière est attribuée à Stéphane Cordier, Maître de Conférences à l'université de Paris 12 Val-de-Marne. Bien plus qu'un collègue ayant la critique avisée et objective, il est également un ami sincère qui n'a eu de cesse de m'encourager, de me soutenir et également de relire ce travail de thèse, où le pont « bidule » aura nourri de nombreuses scènes d'amusement. Il est, et restera un exemple d'excellence pédagogique et d'humilité auprès des étudiants de Licence que nous avons pu encadrer ensemble ; sa passion de l'enseignement aura été pour moi source d'inspiration.

Je remercie également l'Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie – Matériaux – Modélisation – Environnement (S.I.M.M.E / E.D. 183) dirigée par M. Franck Pacard qui en

2004 m'octroya une allocation de recherche pour une durée de trois ans, laquelle m'a permis de mener à bien ces travaux.

Ma reconnaissance s'adresse encore à Dominique Mulliez et à Michèle Brunet, respectivement Directeur et Directrice des Etudes de l'Ecole française d'Athènes, lors de mes séjours dans la capitale grecque. L'attribution de deux bourses d'études en 2005 et 2006 ainsi que la mise à disposition des richesses de la bibliothèque de l'Ecole auront été fort utiles pour enrichir mes connaissances sur l'archéologie et l'histoire de la Macédoine grecque.

Les collaborations extérieures m'ont guidé à Patras mais aussi à Thessalonique où George Syrides, Konstantinos Vouvalidis, Konstantinos Albanakis, tous trois enseignants-chercheurs rattachés au département de géologie de l'université Aristote, ont suivi et appuyé avec un très grand intérêt mes recherches. Je leur témoigne ma gratitude pour m'avoir permis d'analyser leurs sondages et de m'avoir aidé dans l'identification de la malacofaune.

Je tiens en outre à saluer l'initiative de Polyxeni Adam-Véléni, Directrice du musée archéologique de Thessalonique de m'avoir invité au colloque annuel *Travaux archéologiques en Macédoine et en Thrace* (AEMTh), qui s'est tenu en février 2006, me permettant ainsi de présenter certains aspects de mes travaux. Ceux-ci portaient sur l'apport de la modélisation numérique de terrain en géomorphologie appliquée à l'étude du site antique de Methoni (Piérie, Grèce).

Je voudrais remercier, toutes celles et tous ceux qui m'ont témoigné de la sympathie et livré de chaleureux encouragements lors de ces années écoulées. Merci à mes amis et collègues géologues grecs Théodoros Paraschou, Mike Styllas, David Psomiadis, ainsi qu'à leurs familles respectives pour leur aide amicale et leur hospitalité d'une rare générosité. Un très grand merci aussi à Urania Giannakou et à Filotas Passios, respectivement Directrice et gardien du centre écologique de Chalastra (Grèce) pour leur générosité et la mise à disposition d'un hébergement gratuit. Merci également à Gilles Arnaud-Fassetta, Babbis, Peter Barker, Emmanuel de Calan, Aris Chasapis, Céline Coussot, Jean-François Cuenot, Stéphane Desruelles, Christophe Domin, Lionel Fadin, Jean-Philippe Goiran, Zisis Kozlakidis, Claude Lechevalier, Laurent Lespez, Panagiotis Mahéras, Véra et Alain Marigo, Sophie Montel et ses parents, Kosmas Pavlopoulos, Jean-Pierre Peulvast, Paolo Pirazzoli, Stefan Poirot, Marie-Claude Saad-Joly, Giorgos Soulios pour leurs aides ponctuelles et spontanées très appréciées.

De très profondes pensées pour ma famille, en particulier mes parents qui m’ont soutenu et encouragé sans relâche depuis cinq ans. Les nombreuses relectures soulignant les problèmes de ponctuation auront peut être été parfois un peu fastidieuses, mais les conseils prodigués furent toujours effectués avec un regard critique objectif. Egalement, un grand merci à Julie pour son soutien de tous les instants.

Enfin un très grand merci à toutes les personnes croisées à Thessalonique, à Trikala d’Emathie, à Chalastra, pour leur soutien et leur intérêt pour mes recherches, mais aussi aux anonymes qui m’ont aidé ou simplement témoigné leur sympathie et aux autres personnes que j’oublie très certainement et que je prie de bien vouloir me pardonner.

AVANT-PROPOS

L'idée de travailler en Macédoine centrale est venue à la fin de mon année de licence de géographie, en juin 2002, alors que j'étais inscrit à l'Université de Paris X Nanterre. La rencontre avec M. Claude Lechevalier, Maître de conférences à l'Université de Paris X Nanterre allait bouleverser mon cursus universitaire, alors que je me destinais à passer les concours de l'enseignement secondaire.

La proposition d'intégrer le programme d'études pluridisciplinaires de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, « l'Être humain et l'eau : l'étude de la cité de Methoni », dirigé par Marie-Françoise Courel, fut l'occasion de prolonger mon parcours universitaire par le biais d'une maîtrise de géographie physique sous la Direction de Philippe Chamard, Maître de Conférences à l'Université de Paris X Nanterre. Le sujet d'études était intitulé « Contribution à l'étude géomorphologique de la plaine de Thessalonique : le bassin versant inférieur de l'Aliakmon ».

A la fin de cette année de Maîtrise passée à l'Université de Paris X Nanterre, je fis la rencontre d'Eric Fouache, Professeur de Géographie Physique à l'Université de Paris XII Val-de-Marne, sur la recommandation de Philippe Chamard. La rencontre fut très fructueuse et il accepta de diriger mon Diplôme d'Etudes Approfondies durant l'année universitaire 2003-2004 sur le sujet suivant : « La plaine de Thessalonique : dynamiques géomorphologiques et évolution holocène ».

Parallèlement au cursus universitaire « classique » de deuxième cycle, j'entrepris en septembre 2002 la préparation d'un diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes, sous la direction de Jeannine Le Rhun, Maître de Conférences à l'Ecole Pratique des Hautes Etudes. Au cours de ma formation, j'ai eu l'opportunité de participer au programme d'échanges universitaires ERASMUS entre mars et juin 2004 à Thessalonique et de faire connaissance avec les coutumes et les traditions de la région de Macédoine, découvrant à l'occasion de ce séjour de nombreux paysages de mon secteur d'études. Cette formation aboutit en janvier 2006 à la soutenance d'un mémoire dont le titre était le suivant : « Apport et intérêt de la modélisation numérique de terrain en géomorphologie : étude de la cité antique de Methoni

(Piérie – Grèce) ». A la fin du mois de septembre 2006, et après plusieurs communications orales (colloque AEMTh de Thessalonique en février 2006) et par poster (colloque de géoarchéologie « Ol'Man river » organisé à Gand – Belgique – en septembre 2006), le travail réalisé était publié dans la collection *Mémoires du Laboratoire de Géomorphologie et environnement littoral de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes* (ISBN n° 2-900111-22-6).

En juillet 2004, j'obtins une allocation ministérielle de recherches au sein de l'Ecole Doctorale S.I.M.M.E. de l'Université de Paris XII Val-de-Marne, dirigée par M. Franck Pacard. Il fut très intéressé par ma proposition de sujet de recherches. Je fus également recruté dans un premier temps en qualité de moniteur au département de géographie de l'Université de Paris XII Val-de-Marne, pour une durée de trois années, entre octobre 2004 et octobre 2007, années au cours desquelles je me découvris une passion pour l'enseignement de la géomorphologie. Dans un second temps, au cours de l'année universitaire 2007-2008, j'assumais la fonction d'A.T.E.R., toujours au sein de ce même département de géographie.

Durant mes quatre années de thèse effectuées sous la direction d'Eric Fouache, je fus associé au programme de recherche du Ministère des Affaires Etrangères « Marqueurs de Lignes de Rivages Holocènes – M.A.L.R.H.O., dirigé par Eric Fouache et Rémi Dalongeville. J'allais être amené à de nombreuses reprises à me déplacer sur le terrain pour y effectuer différentes missions. En septembre 2004, en compagnie de Céline Coussot, alors doctorante en géomorphologie à l'Université de Paris XII Val-de-Marne, nous avons réalisé des sondages dans la partie inférieure de la plaine.

En mai 2005, je me rendis en Macédoine centrale en voiture, depuis Paris. Le trajet me fit traverser toute la péninsule italienne, jusqu'à la ville de Bari et j'en profitais alors pour découvrir des sites archéologiques et naturels exceptionnels. Les sites de Venise, de Pise, du Vésuve, de Pompéi et la région des Pouilles (le somptueux lac de Monticchio) m'impressionnèrent beaucoup et confirmèrent ma passion de géographe pour l'histoire et l'archéologie.

L'hospitalité de nombreux amis grecs rencontrés lors de mes précédentes visites me fut à cette occasion à nouveau renouvelée. L'hébergement me fut généreusement offert au Centre écologique de Chalastra, dont la Directrice, Urania Giannakou, et le guide régional, Filotas Passios, m'indiquèrent de nombreux lieux géographiques que je cherchais désespérément. Je fus aussi hébergé chez mes amis Mike Styllas, géologue et passionné d'escalade (en 2004, dans le cadre des Jeux Olympiques d'Athènes, il devint le premier grec à

parvenir au sommet du mont Everest) et Théodoros Paraschou, également géologue à Thessalonique.

Au cours de cette mission d'une durée de quarante cinq jours, j'eus le plaisir de collaborer avec les universités de Thessalonique et de Patras. L'étude de la subsidence de la plaine deltaïque entreprise avec le laboratoire de géodésie de l'Université de Patras fut l'occasion de parcourir le secteur en compagnie de Panos Psimoulis, doctorant en géodésie de l'Université de Patras et d'Aris Chasapis, topographe très expérimenté de l'I.G.M.E. La découverte de certains paysages insolites et la rencontre avec des villageois très intrigués par l'aspect étrange du récepteur G.P.S. (certains d'entre eux avaient la conviction que nous traquions les O.V.N.I. !) furent des moments inoubliables, autant que l'observation de phénomènes climatiques impressionnants comme les tornades de poussières. Notre travail fut reconnu par la publication d'un article dans la revue internationale à comité de lecture *Engineering Geology* (Psimoulis *et al.*, 2007).

La collaboration avec le département de géologie de l'Université Aristote de Thessalonique fut concrétisée par la réalisation de nombreux sondages en commun et l'identification malacologique des espèces marines retrouvées dans les séquences sédimentaires prélevées lors des sondages. En récompense et en reconnaissance de cette collaboration active et appréciée, trois articles ont été publiés dans les revues internationales à comité de lecture *Journal of Archaeological Science* (Ghilardi *et al.*, 2007a), *Geomorphology* (Ghilardi *et al.*, 2007b) et *Journal of Coastal Research* (Fouache *et al.*, 2007).

En plus de ces déplacements en Macédoine grecque pour y réaliser des relevés de terrain, j'ai effectué deux séjours à l'Ecole française d'Athènes en février 2005 et 2006. Des recherches bibliographiques centrées sur des descriptions d'auteurs antiques et des récits de voyageurs du XIX^{e} siècle sur la Macédoine furent l'objet de ces deux déplacements. Les fonds bibliographique et cartographique particulièrement riches de la bibliothèque me permirent de mener à bien ces recherches et de constater que l'évolution paléogéographique de la plaine avait été particulièrement rapide au cours des trois derniers millénaires. Je remarquai alors très rapidement que de nombreuses énigmes géographiques restaient sans réponse. Ma curiosité augmenta au fil de mes lectures attentives, me faisant parfois passer la nuit entière dans l'imposante bibliothèque de l'Ecole. Le cadre idyllique de l'Ecole française d'Athènes me permit également de découvrir la capitale grecque et ses innombrables trésors historiques.

En France, mon intégration à l'E.A. 435 GEONAT laboratoire de Paris XII dirigé par E. Fouache me permit, en plus du financement de datations par le radiocarbone, l'octroi de frais de missions et la mise à disposition d'un matériel de carottage à percussion. La convention établie avec le laboratoire de géographie physique P. Birot de Meudon (CNRS U.M.R. 8591) favorisa une recherche en laboratoire des plus fructueuses. Son Directeur, Charles Le Cœur, fut très intéressé par mon sujet et me permit de faire analyser, de mars à juin 2006, les échantillons prélevés lors des campagnes de sondage. Les discussions menées avec Charles Le Cœur et Stéphane Kunesch, responsable de l'unité de sédimentologie du laboratoire, ont contribué à élaborer un protocole d'études des séquences sédimentaires dont je disposais. Les analyses sédimentologiques effectuées reposèrent sur une étude classique de granulométrie et une étude plus originale de susceptibilité magnétique des sédiments. En effet, nous nous aperçûmes très rapidement que les fleuves Axios et Aliakmon étaient les principaux responsables du colmatage de l'ancienne baie marine et qu'une signature particulière des minéraux en rapport avec la granulométrie devait permettre de différencier les apports des deux bassins versants et d'en livrer une interprétation spatiale précise.

La présentation des résultats obtenus se déroula en avril 2007 au colloque de l'*European Geosciences Union* où notre communication fut reconnue, dans la session géomorphologie, d'intérêt spécial par la communauté scientifique.

Ces trois années de thèse ont été marquées par de nombreuses autres collaborations ponctuelles et ont suscité un vif intérêt de la part de toutes les personnes rencontrées. Mon terrain d'études, rattaché par le passé au puissant royaume de Macédoine, m'a livré quelques éléments de réponse que je transmets dans le présent travail, mais tant d'autres restent en suspens…

Mon approche du travail a toujours privilégié la question historique comme hypothèse de recherche et ma démarche a été largement influencée à ce propos par les travaux de mon Directeur de thèse. En effet, la géoarchéologie, une approche pluridisciplinaire bien plus qu'une discipline propre de la géographie physique et plus largement des géosciences, suscite à l'heure actuelle quelques débats sur sa définition même.

C. Vinta-Finzi (1969), rattaché à « l'école de Cambridge » fut l'un des initiateurs de cette approche dans les études géomorphologiques. Mes nombreuses lectures, parmi lesquelles l'œuvre majeure d'Emmanuel Le Roy Ladurie (1983) intitulée « *Histoire du climat depuis l'an mil* », m'ont permis de constater que l'utilisation des données historiques pour comprendre et appréhender l'évolution des paysages avait une certaine légitimité. Les notions

de géoarchéologie ou de géohistoire, évoquées par l'historien et économiste F. Braudel, sont autant d'approches similaires. Il n'existe cependant aucune acception de ces termes tant dans les dictionnaires que dans les encyclopédies, mais doit-on pour autant considérer ces approches comme des mirages scientifiques ?

Probablement pas, car les racines sont anciennes et s'affirment dans la littérature dès le XIX^{e} siècle. En effet, en 1864, G. P. Marsh publiait son œuvre « *Man and Nature, of physical geography as modified by human action* » et soulignait déjà le rôle important des sociétés sur la modification des paysages au cours des derniers millénaires, plaçant la question historique de l'évolution des paysages à la base de sa réflexion. Au cours des précédentes décennies, les esprits ont souvent séparé, voire opposé, l'histoire et la géographie, dont les méthodes d'étude semblent si différentes. Une approche capable de mutualiser les apports de chaque discipline est, de ce fait, difficile à accepter et à faire reconnaître, mais n'a que plus de mérite à exister.

Cette géographie physique, que l'on pourrait qualifier de « Néo-Vidalienne », se place dans la perspective d'un décryptage des dynamiques géomorphologiques dont les reconstitutions débouchent sur des analyses de géographie historique.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS 1

AVANT-PROPOS 7

SOMMAIRE 13

INTRODUCTION GENERALE 21

PREMIERE PARTIE : UNE AIRE DELTAÏQUE FORMEE AU COURS DES DERNIERS MILLENAIRES A LA FAVEUR D'UN ALLUVIONNEMENT IMPORTANT ET D'UN RALENTISSEMENT DE LA REMONTEE DU NIVEAU MARIN 37

Introduction de la première partie 39

Chapitre 1 : cadrage du secteur d'études 41

Introduction 43

1.1.1. Topographie actuelle de la plaine de Thessalonique et de ses marges 45
1.1.1.1. Au centre : une vaste plaine 45
1.1.1.2. Au sud, le massif de la Piérie 46
1.1.1.3. A l'ouest, la barrière montagneuse du Vermion 48
1.1.1.4. Au nord, le massif du Païkon 51
1.1.1.5. A l'est, le massif du Chortiatis 51
1.1.2. Organisation du réseau hydrographique drainant la plaine de Thessalonique 53
1.1.2.1. Les cours d'eau principaux 53
1.1.2.2. Les fleuves secondaires 59
1.1.3. Histoire de l'aménagement de la plaine au cours du XX^{e} siècle 60
1.1.3.1. Une urgence sanitaire qui dès les années 1910 impose des aménagements hydrauliques 60
1.1.3.2. Les grands travaux des années 1925 – 1935 : canalisation des cours d'eau et assèchement du lac de Giannitsa 62
1.1.3.3. Les années d'après guerre : la course à l'irrigation nécessite la construction d'aménagements hydrauliques 66

Conclusion 69

Chapitre 2 : contextes géologique et néotectonique de la Macédoine centrale..... 71

Introduction 73

1.2.1. Histoire géologique de la Macédoine centrale 75
1.2.1.1. Les principales phases d'orogenèse 75
1.2.1.2. Les unités géologiques majeures 82
1.2.2. Etude des formations superficielles de la plaine de Macédoine centrale 91
1.2.2.1. Etude menée par la NEDECO 91
1.2.2.2. Etablissement de transects fondé sur l'étude des sondages effectués par la NEDECO 92
1.2.2.3. Interprétation régionale des phases successives de sédimentation : mise en évidence d'un mécanisme de progradation deltaïque 103
1.2.3. Etude de la subsidence actuelle de la plaine de Macédoine centrale 107
1.2.3.1.Un phénomène mis en évidence pour la première fois dans les années 1980 – 1990 107
1.2.3.2. Evaluation de la subsidence dans la partie orientale de la plaine de Macédoine centrale au cours de la période 1960-1999 111
1.2.3.3. Evaluation du phénomène de subsidence et établissement d'une typologie des secteurs subsidents 115

Conclusion 125

Chapitre 3 : évolution climatique pendant le Quaternaire récent et conséquences sur les variations du niveau marin et sur l'alluvionnement depuis 20 000 ans 127

Introduction 129

1.3.1. Un climat méditerranéen avec des influences continentales 131
1.3.1.1. Un régime pluviométrique de type méditerranéen 132
1.3.1.2. Les températures : des influences continentales 133
1.3.1.3. Les vents dominants 135
1.3.1.4. Conditions locales de marnage 136
1.3.2. Evolution morphoclimatique de la plaine de Thessalonique depuis 20 000 ans 137
1.3.2.1. Evolution climatique depuis la fin du Tardiglaciaire (-12 300 BP) 137
1.3.2.2. Variations eustatiques dans le domaine nord égéen (golfe Thermaïque) au cours des 20 000 dernières années et conséquences morphologiques 140

Conclusion 145

Chapitre 4 : évolution morphologique de la plaine de Macédoine centrale au cours des 6000 dernières années, bilan des précédentes reconstitutions paléogéographiques 147

Introduction 149

1.4.1. La première reconstitution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale (A. Strück, 1908) 151
1.4.1.1. Une avancée significative du trait de côte entre le V^e siècle av. J.-C. et le V^e siècle ap. J.-C. 152
1.4.1.2. L'évolution du réseau hydrographique : une restitution difficile du tracé des cours d'eau 153
1.4.1.3. Le Borboros: un cours d'eau ou une zone de marais au pied de la ville de Pella ? 155
1.4.2. N. G. L. Hammond (1972) : une édification de la plaine en seulement trois siècles .. 157
1.4.2.1. Une baie marine en grande partie comblée dès le VI^e siècle av. J.-C. 157
1.4.2.2.Une organisation du réseau hydrographique aléatoire et certains anachronismes rendent fragile la fiabilité de la reconstitution paléogéographique 159
1.4.2.3.L'apparition « Deus ex machina » d'un lac en 356 av. J.-C. 160
1.4.3. S. Bottema (1974) : l'utilisation de données paléoenvironnementales pour établir une chronologie à l'échelle de l'Holocène récent 161
1.4.3.1. Etude de séquences chronostratigraphiques 161
1.4.3.2. Une évolution à l'échelle de l'Holocène récent 161
1.4.4. J.L. Bintliff (1976) : un scénario détaillé qui met en évidence une progradation depuis 6 000 ans 163
1.4.5. T.A. Astaras & L. Sotiriadis (1988) : un travail de synthèse mené à partir des recherches d'A. Strück (1908) et de N.G.L. Hammond (1972) 165
1.4.6. La progression holocène des deltas méditerranéens 166
1.4.6.1. Les deltas de la façade ionienne 166
1.4.6.2. Les deltas de la façade égéenne 167

Conclusion 169

Conclusion de la première partie 171

DEUXIÈME PARTIE : APPORT DE LA GÉOGRAPHIE HISTORIQUE POUR COMPRENDRE L'ÉVOLUTION DES PAYSAGES DE MACÉDOINE CENTRALE 173

Introduction de la deuxième partie..... 175

Chapitre 1 : les sources écrites et iconographiques anciennes et les vestiges archéologiques comme indicateurs de l'évolution des paysages de Macédoine centrale 179

Introduction 181

2.1.1. Une avancée significative du trait de côte pendant l'Antiquité (VIII^{e} – I^{er} siècle ap. J.-C.) en Macédoine centrale..... 187

2.1.1.1. Une première évocation des paysages de la Macédoine dans l'Iliade (Homère, VIII^{e} siècle av. J.-C.) 187

2.1.1.2. Les descriptions d'Hérodote et de Thucydide (V^{e} siècle av. J.-C.) : présence d'un vaste golfe marin dans l'actuelle plaine de Macédoine centrale 188

2.1.1.3. IV^{e} siècle av. J.-C : Pella est au milieu des terres, mais toujours accessible par bateau (le Pseudo-Skylax – Skylax de Caryanda – Le Périple)..... 193

2.1.1.4. I^{er} siècle av. - I^{er} siècle ap. J.-C. : présence d'une vaste étendue lacustre dans la partie centrale de la Basse Macédoine (Strabon) 194

2.1.1.5. Vision contradictoire de Pline l'Ancien avec le récit de Strabon (Ier siècle ap. J.-C.) 196

2.1.2. L'organisation générale du réseau hydrographique : une mobilité du tracé des cours d'eau attestée pendant l'Antiquité 198

2.1.2.1. Hérodote (V^{e} siècle av. J.-C.) : deux fleuves principaux ont le golfe Thermaïque pour exutoire 198

2.1.2.2. Mention des fleuves Axios et Loudias à la fin du V^{e} siècle av. J.-C. (Euripide, les Bacchantes) 200

2.1.2.3. L'Aliakmon, le Loudias, l'Axios et l'Echeidoros sont quatre fleuves distincts (le Pseudo-Skylax, IV^{e} siècle av. J.-C.)..... 202

2.1.2.4. Déplacement vers l'est de l'Axios (Strabon, I^{er} siècle av. J.-C.) ; le Loudias est mentionné pour la première fois comme un fleuve long de 120 stades 202

2.1.2.5. La mention du fleuve Rhoedias par Pline l'Ancien (I^{er} siècle ap. J.-C.) 205

2.1.3. L'évolution des paysages balisée par la présence de marqueurs archéologiques depuis la période Néolithique jusqu'à l'époque romaine 206

2.1.3.1.L'existence de vestiges archéologiques attestent de l'évolution environnementale de la Macédoine centrale : l'exemple du site néolithique de Nea Nikomideia..... 207

2.1.3.2. Configuration des paysages autour de la ville de Pella depuis l'époque classique jusqu'à la fin de l'époque hellénistique (de 350 av. J.-C. environ à 168 av. J.-C.) …..... 208

2.1.3.3. Evolution des paysages attestée par les documents iconographiques, les itinéraires et les marqueurs archéologiques datant de l'époque romaine 216

Conclusion..... 223

Chapitre 2 : la description des paysages de Macédoine centrale fondée sur les récits de voyageurs et les documents cartographiques (XVIII^e^ – début XX^e^ siècle) 225

Introduction 227

2.2.1. Le littoral : une avancée peu marquée du trait de côte depuis la fin de l'Antiquité .. 233
2.2.1.1. Le secteur entre la ville de Thessalonique et l'embouchure du Gallikos : une vaste zone de marais 233
2.2.1.2. L'embouchure de l'Axios : la ville de Chalastra est située sur la rive gauche du fleuve, à proximité de la mer 234
2.2.1.3. Le secteur situé entre les cours de l'Aliakmon et du Loudias : une nouvelle zone de marais 235
2.2.2. Présentation et évolution des cours d'eau drainant la plaine depuis la fin de l'Antiquité jusqu'au début du XX^e^ siècle 236
2.2.2.1. Le Gallikos : un fleuve qui a subi peu d'évolutions depuis la description de Strabon pendant l'Antiquité 237
2.2.2.2. L'Axios : un fleuve qui a déplacé son embouchure vers l'ouest depuis l'époque de Strabon et qui unit désormais ses eaux à celle du Loudias 238
2.2.2.3. Le Loudias : un affluent de l'Axios 241
2.2.2.4. L'Aliakmon : un fleuve redouté pour ses crues 242
2.2.2.5. Les cours d'eau qui s'écoulent du massif du Vermion et du bassin d'Almopie : la question du Rhoedias mentionné par Pline 244
2.2.2.6. Les cours d'eau provenant du massif du Païkon : présence d'un émissaire souterrain de l'Axios ? 248
2.2.2.7. Les affluents en rive droite de l'Aliakmon, en provenance du massif de Piérie 249
2.2.3. Le lac de Giannitsa : une présence continue depuis l'époque de Strabon ? 251
2.2.3.1. Des limites imprécises liées à la présence de marais sur les marges 251
2.2.3.2. Les cours d'eau qui alimentent le lac de Giannitsa 254
2.2.3.3. Pella : existence d'un port en milieu lacustre ou expression d'un romantisme géographique du XIX^e^ siècle? 254

Conclusion 259

Conclusion de la deuxième partie 261

TROISIEME PARTIE : RECONSTITUTION PALÉOGEOGRAPHIQUE DE LA PLAINE DE MACEDOINE CENTRALE FONDÉE SUR L'APPROCHE PALÉOENVIRONNEMENTALE ET L'UTILISATION DES DONNÉES NUMÉRIQUES 265

Introduction de la troisième partie 267

Chapitre 1 : Les méthodes d'étude des paléoenvironnements et des paléodynamiques 269

Introduction 271

3.1.1. L'utilisation des marqueurs biologiques : l'identification malacologique 275
3.1.1.1. Identification des différents milieux de vie 277
3.1.1.2. Interprétation à l'échelle de la plaine actuelle 285
3.1.2. Analyse granulométrique des sédiments 287
3.1.2.1. Intérêt des analyses granulométriques dans les études paléoenvironnementales 287
3.1.2.2. Protocole et matériel utilisé 287
3.1.2.3. Résultats stratigraphiques et granulométriques 290
3.1.3. La susceptibilité magnétique : un traceur important des transferts sédimentaires 295
3.1.3.1. L'apport de la susceptibilité magnétique aux études paléoenvironnementales 295
3.1.3.2. Protocole adopté et matériel utilisé 297
3.1.3.3. Résultats obtenus 299
3.1.4. Les marqueurs biologiques : utilisation pour la datation absolue par le radiocarbone 309
3.1.4.1. Sélection des échantillons 309
3.1.4.2. Calibration des datations 309

Conclusion 313

Chapitre 2 : interprétation spatiale des données de laboratoire 315

Introduction 317

3.2.1. Interprétation spatiale à partir des données biostratigraphiques et des datations absolues 319
3.2.1.1. Transect 1 (sondages S2, S3, S4, S5): une progradation deltaïque attestée l'ouest vers l'est 319
3.2.1.2. Transect 2 (sondages S3, S5, S6, S7) : une progradation deltaïque également mise en évidence du nord vers le sud 324
3.2.2. L'apport de la télédétection : mise en évidence de l'évolution paléoenvironnementale 328
3.2.2.1. Morphologie actuelle 329

3.2.2.2. Témoignages morphologiques des paléodynamiques 329
3.2.3. Utilisation de la donnée S.R.T.M. 335
3.2.3.1. Précision de la S.R.T.M. dans la plaine de Macédoine centrale 335
3.2.3.2. Transects topographiques dans la plaine actuelle 338
3.2.3.3. Etablissement d'une carte topographique de haute résolution et identification des formes héritées identifiées sur l'image LANDSAT TM 340
3.2.4. Caractérisation spatiale des apports sédimentaires des bassins versants 342
3.2.4.1. Association des résultats de laboratoire et des données numériques 342
3.2.4.2. Modélisation des apports sédimentaires 343

Conclusion 345

Chapitre 3 : essai de reconstitution de l'évolution paléogéographique de la plaine de Thessalonique pendant l'Holocène récent (de 4 000 av. J.-C. à aujourd'hui) 347

Introduction 349

3.3.1. Nouvelle proposition de reconstitution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale au cours de l'Holocène récent 351
3.3.1.1. De -10 000 à – 4 000 av. J.-C. : une incursion rapide de la mer 351
3.3.1.2. Entre 4 000 et 2 500 av. J.-C. : présence d'un golfe marin de grande ampleur 352
3.3.1.3. Vers 2 500 av. J.-C. : une lagune s'édifie à l'ouest du golfe marin 354
3.3.1.4. 1 600 av. J.-C. : comblement rapide du golfe et apparition d'un secteur lacustre à l'ouest 356
3.3.1.5. 500-350 av. J.-C. : le lac Loudias occupe l'espace central de la plaine 358
3.3.1.6. Ier siècle ap. J.-C. : un retrait important de la mer qui enclave Pella à 22,2 km de la mer 360
3.3.1.7. 300 ap. J.-C. : fermeture du golfe marin et contraction du lac Loudias 362
3.3.1.8. XIX^{e} siècle : une faible avancée du trait de côte depuis la fin de l'Antiquité et la présence du lac de Giannitsa au centre de la plaine 364
3.3.1.9. XXI^{e} siècle : une plaine de 2 200 km² toujours progradante à l'ouest 366
3.3.2. Discussion autour des sources littéraires antiques évoquant l'évolution des paysages 368
3.3.2.1. La mobilité du trait de côte pendant l'Antiquité : les perceptions d'Hérodote et de Thucydide 368
3.3.2.2. La mobilité du réseau hydrographique confirmée par l'étude paléoenvironnementale 369
3.3.2.3. Evolution paléogéographique autour de la ville de Pella 370
3.3.3. Questions paléoenvironnementales en suspens 372
3.3.3.1. Le site néolithique de Nea Nikomideia 372
3.3.3.2. Localisation des marais mentionnés par Hérodote aux environs des cours Axios et Gallikos 373
3.3.3.3. Les circonstances paléogéographiques de la construction du pont romain de Klidi 373

Conclusion 375

Conclusion de la troisième partie 377

CONCLUSION GENERALE 379

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES 385
TABLE DES ENCADRÉS 416
TABLE DES FIGURES 416
TABLE DES PHOTOS 421
TABLE DES TABLEAUX 422
INDEX GÉOGRAPHIQUE 423
TABLE DES ANNEXES 427
ANNEXES 429

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La Macédoine centrale est la région située au nord de la Grèce (figure 1), à la frontière sud de la République de Macédoine et de la Bulgarie. Elle est occupée en son centre par une vaste plaine qui porte son nom.

Cette dernière, également appelée plaine de Thessalonique[1], du nom de la seconde ville de Grèce située sur sa marge orientale, couvre une surface d'environ 2 200 km². A ce titre, elle est considérée comme la seconde plaine de la péninsule hellénique par sa superficie, après celle de Thessalie (plaine intérieure). La plaine de Thessalonique reste cependant le plus important complexe deltaïque de Grèce, façonné au cours de l'histoire par plusieurs cours d'eau dont les principaux sont l'Aliakmon et l'Axios.

Topographiquement, elle apparaît comme une région fortement déprimée. Les dénivellations n'excèdent que très rarement la quinzaine de mètres du nord au sud (sur une distance de 35 km) et d'ouest en est (sur une distance de 60 km). Elle est délimitée au sud par les collines de la Piérie qui se prolongent au sud par l'impressionnant massif de l'Olympe (figures 2 et 4). Vers l'ouest et vers le nord, les chaînes de montagnes du Vermion et du Païkon se présentent comme des obstacles difficilement franchissables (figures 2 et 4). Vers l'est, la ville de Thessalonique, qui ceinture le fond du golfe Thermaïque, est installée sur les contreforts de l'imposant massif du Chortiatis.

L'évolution morphologique de la plaine de Macédoine centrale au cours de l'Holocène récent (les 6 000 dernières années) est caractérisée par une avancée rapide du trait de côte et par des changements répétés du tracé des quatre fleuves qui la drainent : l'Aliakmon, l'Axios, le Gallikos et le Loudias (figure 2). Les descriptions des auteurs antiques révèlent en effet une mobilité très rapide dans l'évolution des paysages.

[1] Afin d'éviter tout anachronisme, l'expression « plaine de Macédoine centrale » sera employée pour la période pré-hellénistique (323 av. J.-C.) et indifféremment « plaine de Macédoine centrale » ou « plaine de Thessalonique » pour la période post-hellénistique. Consulter la carte topographique hors texte pour localiser les lieux cités.

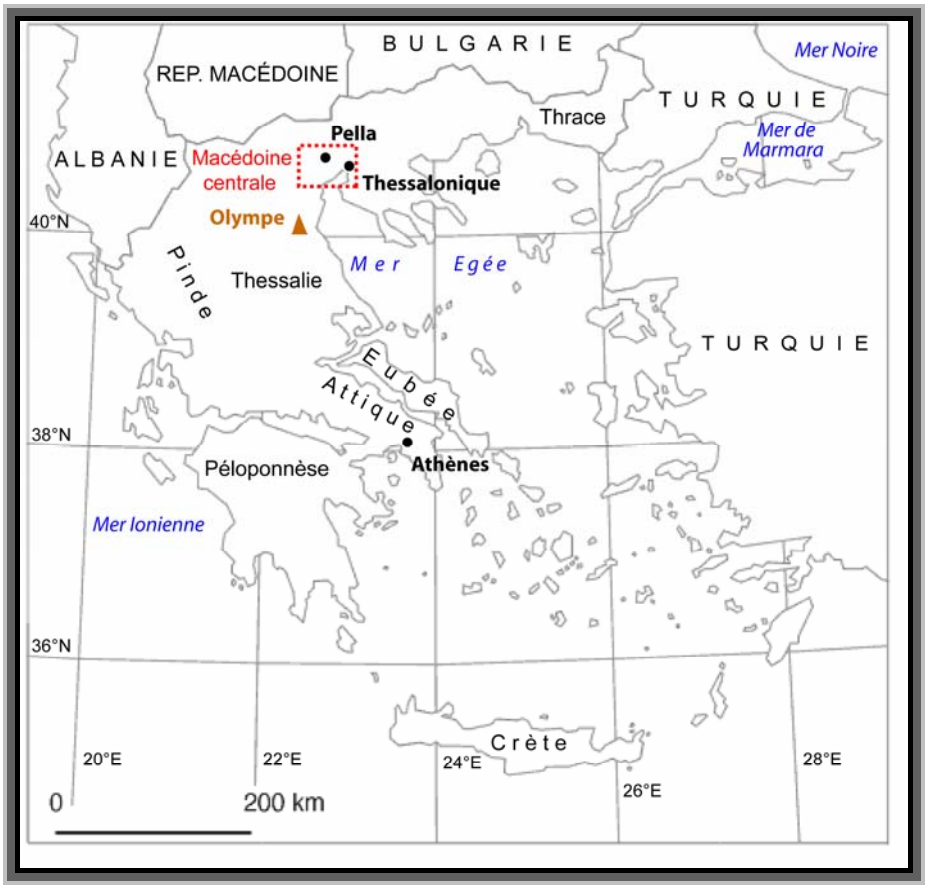


Figure 1 : Carte de localisation de la Macédoine centrale

Figure 2 : Cadre physique de la Macédoine centrale

Au delà de sa caractéristique morphologique, cette plaine présente un intérêt historique et archéologique majeur pour avoir été le berceau du Royaume de Macédoine (Delacoulonche, 1859).

Une région reconnue pour avoir été le « berceau » du Royaume de Macédoine : présentation des contextes historique et archéologique

Les rois Philippe II et son fils Alexandre III, ce dernier connu sous le nom d'Alexandre le Grand, ont été les souverains les plus illustres de ce royaume ayant existé entre le VIII^{e} et le II^{e} siècle av. J.-C. (Hammond, 1972, 1989, 1991). Leurs capitales (Pella et Vergina - l'ancienne Aigai -, Faklaris, 1994) sont de nos jours situées sur les marges de la vaste plaine centrale, alors qu'il semble qu'elles aient été plus proches du littoral par le passé.

L'attrait scientifique de la région a donc logiquement été en premier lieu d'ordre historique et archéologique. La recherche des ruines d'un royaume au passé glorieux qui domina l'ensemble de la Grèce et de l'Asie Mineure pendant le règne d'Alexandre le Grand suscita bien des convoitises et l'on se mit dès les siècles suivants à rechercher ses vestiges et ses trésors. D'importantes découvertes archéologiques ont été faites dès le XIX^{e} siècle (Heuzey, 1860, 1872, 1876).

La Macédoine centrale a fait l'objet de missions archéologiques de reconnaissance au XIX^{e} siècle (Cousinéry, 1831 ; Leake, 1835 ; Delacoulonche, 1859 ; Heuzey, 1860, 1862, 1872 ; Le Bas, 1870), ayant pour but de révéler les racines culturelles et surtout de localiser les vestiges archéologiques des rois Téménides et Macédoniens. Le tombeau de Philippe II n'a été découvert qu'à la fin du XX^{e} siècle (Touratsoglou, 1998 ; Andronikos, 1984, 1993).

Les fonds bibliographiques traitant d'épigraphie, de numismatique ou évoquant des vestiges de sites archéologiques, sont assez abondants, mais peu d'ouvrages traitent de la géographie et surtout de la paléogéographie de cette région. Ce territoire du nord de la Grèce reste trop souvent marginalisé dans les manuels scolaires d'histoire et la confusion avec la République de Macédoine (**A**ncienne **R**épublique **Y**ougoslave de **M**acédoine, capitale Skopje) est de nos jours malheureusement fréquente. Si l'identité historique est bien connue du grand public, les caractéristiques géomorphologiques restent encore à dévoiler. Les recherches archéologiques et les préoccupations tant historiques que politiques visant à affirmer l'identité culturelle de ce territoire (Triantaphyllou, 2001) ont focalisé l'attention des chercheurs dans la région durant des décennies, reléguant au second plan les études purement géographiques.

Pour tenter d'expliquer ces lacunes, nous pouvons invoquer le faible nombre de géographes grecs ou étrangers qui ont parcouru le territoire de Macédoine pour y poursuivre des recherches, en géographie physique notamment.

Ainsi sommes-nous entièrement redevables aux travaux de J. Ancel (1930), de J.L. Mercier (1960, 1963 ; Mercier & Sauvage, 1963, 1966 ; Mercier & Vergely, 1972) et de L. Faugères (1978) qui ont largement contribué à la connaissance géographique et géologique de la région. L. Faugères (1978) s'attacha au milieu des années 1970 à décrire et à expliquer les paysages, en soulignant la particularité physique et l'intérêt de l'actuelle plaine de Macédoine.

La géoarchéologie : une approche pluridisciplinaire qui permet de restituer fidèlement l'évolution paysagère

Sous l'impulsion de programmes pluridisciplinaires, initiés depuis plusieurs décennies, le monde méditerranéen et notre secteur d'études en particulier connaissent un regain d'intérêt. Le géographe s'est adapté aux attentes de spécialistes, archéologues et historiens, en proposant des études synthétiques qui présentent l'évolution des conditions environnementales des sites archéologiques. Une nouvelle approche s'est alors imposée : la géoarchéologie.

C'est d'abord dans l'étude des sources littéraires que la réflexion s'amorce : la question historique de l'évolution des paysages sur une période donnée constitue la problématique principale de ce travail de recherches. Le présent travail reprend une démarche de géographie historique et s'inscrit ainsi dans la continuité de recherches menées récemment en Grèce et sur le pourtour méditerranéen. Il convient en particulier de citer les travaux de J. Lefort (1986) traitant de géographie historique sur la Macédoine orientale, ceux d'E. Fouache (1999, 2006), portant sur l'étude des deltas de la façade occidentale de Grèce ou d'Albanie, ou bien encore les recherches de G. Arnaud-Fassetta (2000) dans le delta du Rhône.

C'est ensuite l'adoption d'une approche paléoenvironnementale, menée sur le terrain et en laboratoire, qui permet de renseigner sur les changements environnementaux, en étudiant notamment les archives sédimentaires prélevées en périphérie de sites archéologiques.

Les études malacologiques et sédimentologiques renseignent en particulier sur les paléodynamiques et permettent par exemple de mettre en évidence le passage progressif d'un milieu de vie marin à un milieu de vie continental. Depuis trente ans environ, cette méthode a

largement été appliquée en Grèce et en Méditerranée, mais des problèmes liés à l'interprétation spatio-temporelle se sont posés et restent encore aujourd'hui d'actualité.

Depuis quelques années, l'apport et l'exploitation des données numériques (imagerie satellitaire, modélisation numérique de terrain…) facilitent une interprétation spatiale de données acquises ponctuellement, lors de sondages superficiels ou de carottages par exemple.

A la suite de ces précédentes recherches, la présente thèse repose sur une approche utilisant des méthodes d'études spécifiques à l'histoire, à la géographie mais aussi plus largement aux géosciences. Le présent travail doit servir de base de réflexion tant au géographe qu'à l'historien ou à l'archéologue. A ce propos, nous ne prétendons à aucun moment nous substituer au travail du spécialiste désireux de retrouver et d'étudier les vestiges archéologiques : notre but n'est pas de retrouver des sites d'occupation de la Macédoine antique, mais de les replacer dans l'espace afin d'en comprendre les dynamiques paysagères et de proposer un schéma d'évolution paléogéographique de l'actuelle plaine de Macédoine centrale.

Problématique d'études

La plaine de Macédoine centrale a été façonnée par les apports sédimentaires des fleuves qui la drainent aujourd'hui ; à ce titre plusieurs questions peuvent être soulevées :

quelle a été l'évolution morphologique de la plaine de Macédoine centrale au cours des derniers millénaires ? A partir de quelle période s'est-elle effectivement édifiée ? A quels rythmes la ligne de rivage s'est-elle déplacée ? Quel est le rôle joué par les apports sédimentaires de chaque fleuve ? Comment l'organisation du réseau hydrographique a-t-elle évolué au cours des siècles ? Quelles sont les conséquences des mouvements tectoniques et des variations eustatiques sur l'évolution morphologique de la plaine ? Ces interrogations ont motivé l'élaboration du présent travail. Pour répondre à ces questions posées, le raisonnement s'est basé sur la réalité historique de l'évolution des paysages de la plaine de Macédoine centrale et s'est ensuite fondé sur l'approche paléoenvironnementale. La figure 3 résume notre démarche de thèse à la fin de la présente introduction générale.

Méthodes de travail

La démarche a d'abord consisté à établir une synthèse bibliographique - étape préalable indispensable - afin d'acquérir un maximum de données possibles sur la configuration paléogéographique de la Macédoine centrale. Un grand nombre de sources documentaires, capables de nous renseigner notamment sur un éventuel déplacement du trait de côte de la partie occidentale du golfe Thermaïque et sur la mobilité du réseau hydrographique, ont été consultées.

Pour ce faire, nous avons été amené à consulter les fonds bibliographiques et cartographiques disponibles qui décrivent le secteur d'études au cours de la période historique. Les textes des auteurs antiques et des géographes voyageurs des XVIII^{e}, XIX^{e} et XX^{e} siècles sont à ce sujet de précieuses sources d'informations ; les supports cartographiques restent aussi des documents complémentaires très importants. Certaines de ces sources ont été consultées en France : dans les librairies de l'Institut National d'Histoire de l'Art (I.N.H.A.), de l'Institut National des Langues et Civilisations Orientales (I.N.A.L.C.O.), de la Bibliothèque Nationale de France (département des cartes et plans, service hydrographique), de l'Institut d'Art et d'Archéologie de Paris. En Grèce, la librairie Gennadios de l'Ecole américaine d'archéologie d'Athènes (qui possède certainement la plus grande collection de récits de voyageurs) et la bibliothèque de l'Ecole française d'Athènes, ont également fourni un grand nombre de documents, parfois uniques.

Les analyses paléoenvironnementales ont nécessité la réalisation de carottages et l'analyse des sédiments ainsi prélevés a, par la suite, été effectuée en laboratoire.

L'étude des archives sédimentaires obtenues lors de campagnes de carottages a pour but de renseigner sur la succession des différents milieux de sédimentation et sur leur extension spatiale. Il s'agit pour nous de mettre en évidence la mobilité des littoraux et de préciser le rôle des fleuves Axios et Aliakmon dans l'édification de la vaste plaine actuelle. Les analyses malacologiques (caractérisation des différents milieux de vie à partir de l'identification de mollusques) et sédimentologiques ont été privilégiées. La granulométrie et la susceptibilité magnétique, permettant de connaître la teneur en particules ferromagnétiques des sédiments d'un bassin-versant spécifique, sont des techniques capables de nous renseigner sur l'évolution des apports sédimentaires des fleuves qui ont édifié la plaine de Macédoine centrale.

La datation par le radiocarbone ^{14}C de marqueurs biologiques permet quant à elle de livrer des séquences chronostratigraphiques et de préciser la transition entre milieu marin et milieu continental.

En complément de ces techniques « classiques » de l'étude paléoenvironnementale, les données numériques associant supports satellitaires (acquisition d'images LANDSAT TM, 11-05-1997) et données topographiques précises (S.R.T.M.[1]) intégrés dans un S.I.G.[2], ont permis de réaliser des reconstitutions tridimensionnelles de l'espace.

Le plan adopté pour répondre aux différentes questions posées est le suivant : la première partie met en exergue la nécessaire prise en compte des facteurs géologiques, tectoniques, et eustatiques pour expliquer l'évolution géodynamique de l'espace et pour replacer notre secteur d'études à une échelle régionale.

La deuxième partie présente, à travers l'exégèse des sources documentaires de la période historique, l'évolution relative des paysages de la plaine de Macédoine centrale depuis l'Antiquité jusqu'à la fin du XIX^{e} siècle.

Enfin, la troisième partie présente notre contribution à la reconstitution paléogéographique de la plaine et met l'accent sur les variations du trait de côte à l'Holocène, et sur le rôle joué par les fleuves Aliakmon et Axios pour édifier ce complexe deltaïque. L'utilisation des données numériques permet ensuite l'interprétation puis la modélisation spatiale des dynamiques morphologiques.

Le plan est ici détaillé :

1. Présentation du secteur d'études : une aire deltaïque formée au cours des derniers millénaires, à la faveur d'un alluvionnement important et d'un ralentissement de la remontée globale du niveau marin

1.1. Cadrage du secteur d'études

La plaine de Thessalonique se caractérise par des altitudes inférieures à 15 m. Elle est délimitée sur ses marges par des massifs montagneux aux sommets dépassant localement les 2000 m d'altitude et par la mer Egée vers le sud-est.

[1] Shuttle Radar Topography Mission

[2] Système d'Information Géographique

Quatre fleuves, dont deux majeurs, drainent aujourd'hui la plaine. Ces deux fleuves sont d'une part l'Aliakmon, plus long fleuve du pays s'écoulant entièrement sur le territoire grec avec un cours d'environ 297 km (superficie du bassin-versant : 10 525 km², Karageorgis *et al.*, 2002), et d'autre part l'Axios, long de 388 km (superficie du bassin-versant : 23 747 km², Kapsimalis *et al.*, 2005) qui prend sa source en République de Macédoine et dont seul le cours inférieur (73 km) se trouve sur le territoire grec. Deux autres fleuves moins importants drainent cette plaine : le Gallikos (superficie du bassin-versant : 1 230 km², Kapsimalis *et al.*, 2005), dont l'embouchure se trouve à proximité de la ville de Thessalonique, et le Loudias (superficie du bassin-versant : 1250 km²) dont le tracé a fortement été modifié au cours du XX^{e} siècle (Ancel, 1930).

En raison des nombreux aménagements agricoles initiés à partir des années 1930 (Ancel 1930 ; NEDECO 1970 ; Sivignon 1987), les surfaces ont été aplanies pour permettre le développement de la céréaliculture et de l'arboriculture et le tracé des cours des fleuves déviés puis canalisés. De ce fait, de nombreux indices de l'évolution morphologique de la plaine (paléochenaux, systèmes de levées, zones lacustres et palustres…) ont été « effacés » du paysage.

1.2. Contextes géologique et néotectonique de la Macédoine centrale

D'un point de vue structural, la plaine correspond à un fossé d'effondrement tectonique formé à la fin du Tertiaire, progressivement comblé par des apports sédimentaires dès la fin de cette ère géologique et tout au long du Quaternaire. L'étude des formations superficielles (NEDECO, 1970 ; Palasis, 1972-1973 ; Méladiotis, 1984, 1993a, 1993b) a révélé la présence de dépôts d'origine deltaïque.

Au cours du Quaternaire, la réactivation des failles bordières des piémonts des massifs montagneux environnants s'est accompagnée d'une intense sismicité (Faugères, 1978) et d'une importante subsidence (Méladiotis, 1993a), initiée au cours du Tertiaire. Les études menées au cours de ces dernières années (Stiros, 2001 ; Psimoulis *et al.*, 2007) ont permis de mettre en évidence une subsidence importante de la plaine actuelle. Les activités anthropiques tendent, par le biais notamment des activités de pompages hydrauliques, à accélérer cet affaissement qui affecte l'ensemble de la plaine. Une étude menée grâce à l'analyse D.G.P.S.[1] de bornes géodésiques (47 bornes géodésiques réparties dans toute la plaine)

[1] Differential Global Positioning System

installées sur des bâtiments remarquables, a révélé dans la dépression de l'Axios une subsidence de 1 à 3,5 m au cours des 50 dernières années.

1.3. Evolution climatique pendant le Quaternaire récent, conséquences sur les variations du niveau marin et sur l'alluvionnement

Si l'influence de l'évolution climatique sur l'alluvionnement est incontestable (Bintliff, 1982, 2002 ; Van Andel *et al.*, 1986, 1990 ; Brown & Ellis, 1995 ; Fouache, 1999), la succession de périodes de refroidissement et de réchauffement climatique tout au long du Quaternaire a contribué à modifier le tracé des côtes et celui des cours d'eau.

La péninsule balkanique a connu une période de refroidissement, qui a affecté l'ensemble de la planète, il y a un peu plus de 20 000 ans (Hughes, 2006). La dernière grande péjoration climatique a affecté l'ensemble de la Grèce en abaissant le niveau de la mer de 120 m (Poulos *et al.*, 2000 ; Kapsimalis *et al.*, 2005 ; Lykousis *et al.*, 2005 ; Vouvalidis *et al.*, 2005), comme dans le reste de la Méditerranée (Lambeck, 1995 ; Pirazzoli, 1996 ; Bruse *et al.*, 2001 ; Fouache & Pavlopoulos, 2005). Le trait de côte était à l'époque situé en face de la partie terminale de la péninsule de Kassandra, en Chalcidique, à 90 km au sud de la ligne de rivage actuelle.

Les études palynologiques réalisées par S. Bottema (1974) et T.A. Wimjstra (1969) ont permis de concentrer les recherches sur les mutations de la flore au cours de l'Holocène en lien avec les variations climatiques et l'anthropisation des bassins-versants. Des études plus récentes (Willis, 1994 ; Gerasimidis & Athanasiadis, 1995 ; Bordon *et al.*, sous presse; Weninger *et al.*, 2006) ont permis d'améliorer les modèles établis. En conséquence, ces nouvelles données permettent d'affiner la reconstitution paléoenvironnementale de l'espace et de préciser les effets de l'anthropisation, eux-mêmes révélés par les changements de végétation et l'introduction d'espèces cultivées. L'anthropisation des bassins-versants en milieu méditerranéen liée à une déforestation massive des versants (Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, 1985) a également fortement contribué à modifier la dynamique sédimentaire des cours d'eau (Vita-Finzi, 1969 ; Brückner, 1986 ; Neboit, 1991 ; Woodward, 1995 ; Lespez, 1999 ; Fouache, 2003).

1.4. Recherches menées sur l'évolution paléogéographique et morphologique de la plaine de Thessalonique

Il y a un siècle très précisément, la première reconstitution paléogéographique, œuvre d'A. Strück (1908), proposait une vision simplifiée des grandes étapes du comblement de la plaine entre le V^{e} siècle av. J.-C. et le V^{e} siècle ap. J.-C. Le scénario présente plusieurs cartes qui précisent la position du trait de côte pendant l'Antiquité grecque et romaine, mais néglige malheureusement l'évolution pré- et post-antique.

En 1972, N.G.L. Hammond livra un scénario paléogéographique original mais qui, à l'instar du travail d'A. Strück, couvre une période trop restreinte (entre 600 et 356 av. J.-C.).

Enfin S. Bottema (1974), J.L. Bintliff (1976) et T.A. Astaras & L. Sotiriadis (1988) proposent des scénarii plus complets, fondés notamment sur l'apport de certaines données environnementales.

Ces travaux originaux n'aboutissent pas aux mêmes conclusions ; en effet les étapes et la chronologie du comblement du golfe Thermaïque autant que l'organisation du réseau hydrographique, différent d'un scénario à l'autre. L'utilisation et l'interprétation des sources documentaires sont à l'origine de ces divergences d'interprétation. Il convient donc de comparer puis de critiquer les différentes sources qui renseignent sur les étapes de l'édification de la plaine de Macédoine centrale.

2. Apport de la géographie historique pour comprendre l'évolution des paysages de Macédoine centrale

Dans le but d'appréhender l'évolution des paysages de notre secteur d'études, il fallu en premier lieu exploiter les sources documentaires couvrant la période qui s'étend depuis l'Antiquité, époque pour laquelle nous disposons des premiers textes décrivant la région, jusqu'au XIX^{e} siècle et au début du XX^{e} siècle.

Une analyse diachronique et critique des textes permet de révéler la grande mobilité des paysages, et du trait de côte en particulier, au cours des 2 500 dernières années. Outre les sources écrites, les documents iconographiques et cartographiques reportant les itinéraires et le tracé des routes romaines ainsi que les parcours de voyageurs géographes du XIX^{e} siècle, ont permis de souligner la mobilité des littoraux et les changements répétés du tracé des cours d'eau pendant la période historique.

L'exégèse des sources littéraires est un travail complexe qui génère inéluctablement de nombreuses contradictions, la confrontation des scénarii offerts par les différents auteurs soulignant des divergences lors de l'interprétation spatiale des informations géographiques.

2.1. Les sources écrites et iconographiques anciennes et les vestiges archéologiques comme indicateurs de l'évolution des paysages de Macédoine centrale

Les plus anciennes sources mentionnant les paysages de la Macédoine centrale datent de l'Antiquité grecque et romaine.

Ainsi Homère (VIII^{e} siècle av. J.-C.), dans un passage de l'*Iliade*, livre la plus ancienne mention de la Macédoine et du fleuve Axios en particulier. Hérodote puis Thucydide (V^{e} siècle av. J.-C.), le Pseudo-Skylax (IV^{e} siècle av. J.-C.), Tite-Live (II^{e} siècle av. J.-C.) et enfin Strabon (I^{er} siècle av. et ap. J.-C.) nous apportent de précieuses informations sur la morphologie du trait de côte. En effet, le littoral a beaucoup évolué durant l'Antiquité et le trait de côte n'a cessé d'avancer dans le golfe Thermaïque. Ainsi, entre les récits d'Hérodote et ceux de Tite-Live, la ville de Pella passe d'une situation littorale à une situation continentale.

En plus d'une mobilité rapide du trait de côte, le réseau hydrographique a lui aussi sensiblement évolué sur la même période. Les descriptions d'Hérodote, du Pseudo-Skylax, de Strabon et de Pline l'Ancien (I^{er} siècle ap. J.-C.) sont à ce sujet très instructives. La présence d'une vaste étendue lacustre, le lac Loudias, est le fait morphologique nouveau renseigné par les textes de Strabon en particulier.

Le témoin incontestable de cette activité morphologique soutenue est la ville de Pella, pour laquelle on dispose logiquement du plus grand nombre de descriptions. Le statut de capitale de la Macédoine acquis par Pella au IV^{e} siècle av. J.-C. a permis à de nombreux auteurs anciens de s'y rendre et de décrire son environnement. Euripide et Eschine (IV^{e} siècle av. J.-C.), Tite-Live (reprenant les notes de Polybe, Pédech, 1964), Strabon et Plutarque (I^{er} siècle ap. J.-C.) nous livrent à ce propos de précieux indices morphologiques de la région, où les marais cernaient la forteresse royale, séparée de la ville par un cours d'eau appelé par certains auteurs le *Borboros* – le bourbier – l'*Intermuralis Amnis* et le *Loudias* par d'autres.

Parallèlement à ces sources écrites, les fonds iconographiques et cartographiques nous renseignent sur l'organisation des voies de communication à l'époque romaine : les itinéraires principaux et secondaires établis au lendemain de l'annexion de la Macédoine par Rome ont permis de connaître les distances entre les villes et leurs positions par rapport aux littoraux.

A ce titre, la table de Peutinger, premier atlas routier de l'Empire romain, ainsi que les différents itinéraires, sont de très précieuses sources d'informations, au même titre que les rares vestiges archéologiques de cette époque ayant subsisté plusieurs siècles malgré des changements environnementaux et l'occupation successive du territoire par différents royaumes et empires.

A la fin de l'hégémonie de l'Empire romain sur la Macédoine, les sources documentaires s'appauvrissent et les témoignages qui décrivent les paysages de la région sont très rares. Il faut attendre le XVIII^{e} (Lucas, 1712), mais surtout le XIX^{e} siècle pour disposer de nouvelles observations.

2.2. La description des paysages de Macédoine centrale fondée sur les récits de voyageurs et les documents cartographiques (XVIII^{e}-XX^{e} siècles)

Les récits de voyageurs géographes du XIX^{e} siècle, issus notamment des descriptions de H. Holland (1815), du baron F. de Beaujour (1829), d'E.M. Cousinéry (1831), de W.M. Leake (1835), de F. Pouqueville (1835), d'A. Boué (1840), d'A. Delacoulonche (1859), de L. Heuzey (1860), d'A. Viquesnel (1861) et de T.A. Desdevises du Dézert (1862), permettent de révéler les paysages de la plaine. Ces descriptions, associées aux nombreuses cartes éditées entre le XVIII^{e} et le début du XX^{e} siècle, révèlent la morphologie du littoral mais aussi l'organisation du réseau hydrographique qui draine la plaine, ainsi que les limites géographiques du lac de Giannitsa dont les caractéristiques rappellent singulièrement le lac Loudias décrit pendant l'Antiquité.

Les tentatives de compréhension de l'évolution des paysages de la plaine de Thessalonique ont favorisé le développement de théories sur sa genèse, dès le XIX^{e} siècle puis plus largement au cours du XX^{e} siècle.

3. Reconstitution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale fondée sur l'approche paléoenvironnementale et l'utilisation des données numériques

Notre démarche d'étude a privilégié dans un premier temps l'étude critique approfondie des sources littéraires antiques, les récits de voyageurs du XIX^{e} siècle et des documents iconographiques et cartographiques. Cette étude a permis de révéler que la plaine

de Thessalonique a progradé depuis l'Antiquité, mais la difficile interprétation des sources documentaires ne permet pas de livrer de façon précise les étapes du comblement de l'ancien golfe marin. Afin de pallier ces imprécisions, notre recherche s'est dans un second temps axée sur un travail de terrain important avec une large part consacrée à l'étude paléoenvironnementale menée en laboratoire, le but étant de reconstituer l'évolution spatio-temporelle de la plaine de Thessalonique au cours de l'Holocène récent. Deux campagnes de sondages ont été menées en septembre 2004 et mai 2005.

Huit carottages d'une longueur maximale de onze mètres ont permis de révéler la stratigraphie des formations superficielles de la plaine : leur localisation a été choisie en fonction de précédentes études (NEDECO, 1970 ; Méladiotis, 1993a).

Les archives ainsi extraites ont donné lieu à l'examen attentif des variations de texture et de couleur des différents niveaux. Les échantillons destinés aux analyses sédimentologiques ont ensuite été prélevés tous les 5 cm.

3.1. Les méthodes d'étude des paléoenvironnements et des paléodynamiques

L'utilisation des marqueurs biologiques et l'analyse malacologique en particulier, a permis de distinguer plusieurs milieux de vie où les fluctuations de salinité ont pu clairement être identifiées grâce à la présence d'espèces de mollusques différentes.

Des phases d'occupation marine, lagunaire, lacustre et fluviatile en ont été déduites par la suite, à partir d'une étude détaillée des sédiments extraits de chaque sondage.

Le recours à des techniques sédimentologiques (analyses de granulométrie) permet généralement de préciser les modes de dépôts sédimentaires.

La susceptibilité magnétique, technique basée sur l'application d'un champ magnétique à des échantillons de granulométrie indifférenciée, permet de rendre compte de la teneur en particules ferromagnétiques de sédiments provenant de différents bassins-versants (Thompson & Morton, 1979 ; Oldfied *et al.*, 1985 ; Thompson & Oldfield, 1986 ; Walden & Slattery, 1993). Cette technique associée à la granulométrie et à la minéralogie a ainsi permis de caractériser les apports des fleuves Aliakmon et Axios dans l'édification de la plaine de Thessalonique.

Dix-sept datations par le radiocarbone (seize échantillons par la méthode A.M.S. et un par la méthode conventionnelle) ont pu être ensuite réalisées dans les laboratoires de Poznan (Pologne), de Lyon et de Gif-sur-Yvette, pour préciser la chronostratigraphie des faciès sédimentaires.

La simple utilisation de données paléoenvironnementales ponctuelles et la densité de sondages réalisés dans la plaine ne permettent pas d'interpréter l'évolution complète de la plaine au cours de l'Holocène. L'utilisation des données numériques, notamment la télédétection, peut en ce point renseigner sur les dynamiques actuelles et passées (Astaras & Soulakellis, 1990 ; Novak & Soulakellis, 2000).

3.2. Utilisation de la télédétection et de la modélisation numérique de terrain intégrée dans un S.I.G., pour interpréter spatialement les résultats de laboratoire

Le traitement d'une image satellite LANDSAT TM 5 – 11/05/1197 – (réalisé au laboratoire P.R.O.D.I.G.), effectué grâce à la combinaison des différentes bandes spectrales, a permis de révéler les formes vives et héritées qui caractérisent le paysage de la plaine de Thessalonique. Localement, les indices de dynamiques morphologiques passées ont pu être identifiés : paléochenaux, anciennes zones palustres…

L'association des données ponctuelles obtenues lors de l'étude des séquences sédimentaires et le traitement des données satellitaires favorise une meilleure compréhension des dynamiques spatiales qui ont concouru à élaborer cette plaine alluviale.

L'utilisation de données topographiques précises (données S.R.T.M. et cartes topographiques grecques éditées à l'échelle 1 : 5 000^{e}), géoréférencées dans le système de projection internationale W.G.S. 84 (N U.T.M. 34) puis intégrées dans un Système d'Information Géographique (S.I.G.), a permis de restituer dans un premier temps la configuration des paysages en trois dimensions (Rabus *et al.*, 2003 ; Ghilardi, 2006). Dans un second temps, l'interprétation des données chrono-stratigraphiques des sondages effectués a permis de déduire les différentes étapes du comblement de l'ancienne baie marine.

L'élaboration de cartes dynamiques tridimensionnelles, effectuée grâce à l'utilisation de la modélisation numérique de terrain, a permis de proposer une reconstitution paléogéographique dynamique du secteur d'études au cours de l'holocène récent. Des difficultés techniques ont dû être préalablement résolues pour pouvoir établir ces documents (précision des données altimétriques…).

3.3. Reconstitution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale

L'interprétation spatiale des données de laboratoire une fois acquise, un nouveau scénario a été élaboré pour présenter l'évolution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale au cours des derniers millénaires. Les différentes phases de progradation des deltas de l'Aliakmon et de l'Axios ont ainsi été mises en évidence.

Ce travail s'est également appuyé sur la confrontation des sources documentaires avec les résultats de l'étude paléoenvironnmentale. Les textes d'Hérodote et de Thucydide, notamment, semblent indiquer une nette différence à ce sujet. A l'inverse les descriptions de Tite-Live et de Strabon semblent corroborer le scénario proposé.

L'intérêt archéologique majeur de l'ancienne capitale macédonienne Pella a légitimé une réflexion plus approfondie et il a été indispensable de s'attarder plus longuement sur son évolution paysagère au cours des derniers millénaires.

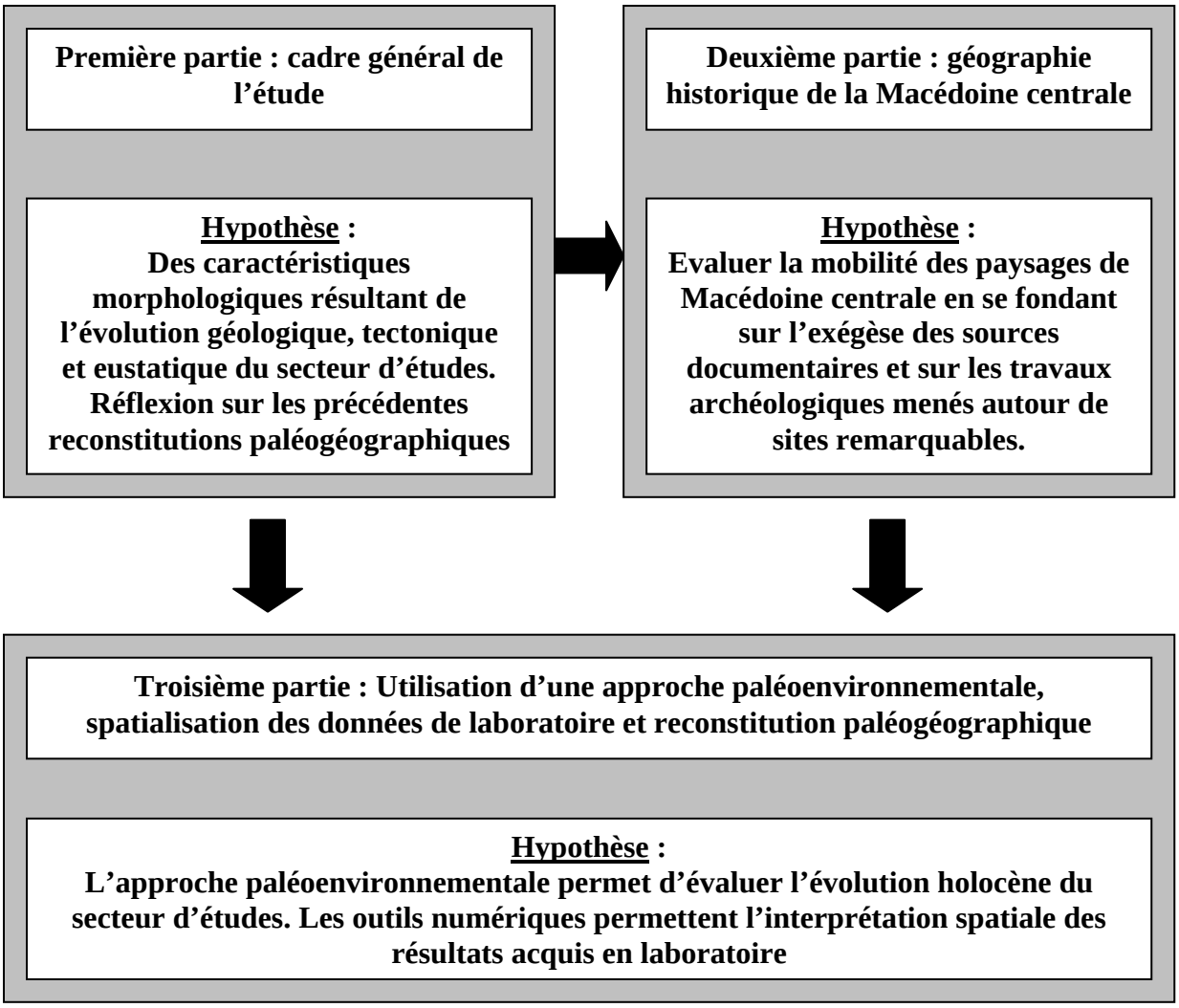


Figure 3 : Démarche de thèse

PREMIÈRE PARTIE

UNE AIRE DELTAÏQUE FORMÉE AU COURS DES DERNIERS MILLÉNAIRES À LA FAVEUR D'UN ALLUVIONNEMENT IMPORTANT ET D'UN RALENTISSEMENT DE LA REMONTÉE DU NIVEAU MARIN

Introduction de la première partie

La morphologie actuelle de la plaine de Thessalonique est le résultat d'une longue évolution combinant les paramètres géologique, tectonique, eustatique et anthropique.

Au cours du **premier chapitre**, une présentation topographique de la plaine et de ses marges montagneuses permet de cadrer précisément le secteur d'études et d'en révéler les particularités physiques (**1e section**). Quatre cours d'eau principaux, l'Aliakmon, l'Axios, le Gallikos et le Loudias drainent le territoire (**2e section**). Les travaux d'aménagement agricoles (**3e section**) ont cependant contribué à modifier sensiblement le tracé de ces fleuves au cours du XXe siècle autant que la topographie d'ensemble de la plaine.

Le **deuxième chapitre** est une synthèse sur l'évolution géologique et tectonique de la plaine de Macédoine centrale depuis l'époque secondaire.

La localisation de notre secteur d'études, au contact des plaques tectoniques eurasienne et africaine, est responsable de la création d'un vaste bassin d'effondrement dès le Tertiaire et progressivement rempli par des dépôts détritiques jusqu'au Quaternaire (**1e section**).

Les dépôts superficiels (d'une profondeur inférieure à 12 m) mettent en évidence une sédimentation d'origine deltaïque et les études menées au cours des années 1970 révèlent idéalement les différents milieux sédimentaires (**2e section**).

La tectonique, responsable de la genèse de ce bassin d'effondrement, est toujours active et se traduit par une activité sismique importante et une intense déformation des couches superficielles. Un phénomène de subsidence affecte l'ensemble de la plaine mais il semble cependant que la tectonique ne soit pas l'unique responsable de cet affaissement. Les premières observations dans les années 1920, relayées par des études plus précises dans les années 1980-2000, ont permis de mieux appréhender un phénomène quantifié seulement pour la première fois au milieu des années 2000 et dont une typologie des secteurs plus fortement affectés a pu être établie (**3e section**). Les facteurs anthropiques contribuent à maintenir, voire à accroître un phénomène imputable à la nature des dépôts détritiques affectés.

Le **troisième chapitre** montre les conséquences morphologiques des variations eustatiques depuis la fin de la dernière grande période froide (20 000 BP).

Le climat méditerranéen à tendance continentale observé de nos jours sur l'ensemble du territoire de Macédoine centrale est unique et le nom de climat « salonicien » lui a été attribué (**1e section**). Les vents locaux, parmi eux le Vardaris venant d'Europe centrale, contribuent en particulier à rafraîchir les températures pendant l'hiver.

Le réchauffement climatique marqué depuis la fin du Tardiglaciaire (17 000 – 12 300 BP) a été mis en évidence par l'utilisation des données palynologiques (**2e section**). La littérature, abondante sur le sujet, permet également de révéler l'action anthropique sur les changements de végétation observés depuis le Néolithique en Grèce septentrionale.

Depuis 20 000 ans environ, la courbe du niveau marin laisse apparaître une remontée rapide en lien avec le réchauffement climatique global, puis une progressive décélération s'est amorcée depuis 6000 ans environ, favorisant la genèse d'un complexe deltaïque (**3e section**).

Le **quatrième chapitre** présente les premières reconstitutions paléogéographiques de la plaine développées depuis un siècle.

A. Strück (1908) et N.G.L. Hammond (1972) ont été les premiers à présenter un scénario (**1e et 2e sections**) mettant en relation l'occupation humaine et le déplacement de la ligne de rivage. Au milieu des années 1970, des programmes d'études paléoenvironnementales ont permis de révéler l'évolution paysagère autour de sites archéologiques majeurs (Nea Nikomideia, Pella). L'utilisation des données chronostratigraphiques (Bottema, 1974) a permis de livrer de nouveaux scénarii (Bintliff, 1976 ; Astaras & Sotiriadis, 1988) et d'affiner les précédents travaux (**3e, 4e et 5e sections**). Il conviendra également de présenter les limites des différentes reconstitutions et de replacer le secteur d'études dans un cadre régional de progradation deltaïque (**6e section**).

Chapitre 1 : cadrage du secteur d'études

INTRODUCTION

La plaine de Macédoine a subi une profonde évolution morphologique au cours de l'époque historique et les sources documentaires datant de l'Antiquité et des derniers siècles témoignent notamment d'une mobilité importante du trait de côte et de changements répétés du tracé des cours d'eau.

Aujourd'hui, une plaine de 2 200 km² contraste singulièrement dans le paysage, où des massifs montagneux semblent la ceinturer sur ses marges occidentale, septentrionale et méridionale (figure 4). Deux grands fleuves, l'Aliakmon et l'Axios (tableau 1), avancent inexorablement dans le golfe Thermaïque, reléguant la ville de Thessalonique au fond d'un golfe qui tend naturellement à être comblé par les alluvions.

La configuration actuelle des paysages de la plaine a largement été influencée au cours de la première moitié du XX^{e} siècle par d'importants aménagements. Ces derniers, entrepris à des fins sociales et sanitaires pour tenter d'endiguer les épidémies de paludisme et de typhus principalement, devaient également permettre l'implantation de populations réfugiées, victimes des conflits qui ont affecté la péninsule balkanique, entre les années 1910 et 1925. Des centaines de milliers de personnes d'origine grecque pour la plupart ont afflué d'Asie mineure, de Russie, du Pont (Mer Noire), de Turquie, de Bulgarie et de Yougoslavie dans le cadre des échanges de population relatifs aux traités de Sèvres et de Lausanne signés en 1920 et 1923.

Plus d'un million de personnes d'origine grecque se sont ainsi installées en Macédoine, la plaine de Macédoine centrale accueillant une grande partie des familles rurales. La *Société des Nations* et l'Etat grec décidèrent alors de donner à ces nouveaux citoyens grecs des terres et des logements pour pouvoir vivre dans des conditions de vie sociales décentes.

Entre 1925 et 1940, des travaux considérables furent entrepris pour canaliser puis régulariser le tracé des cours d'eau, pour assécher marais et lac de Giannitsa et pour irriguer les nouvelles terres arables acquises. Des villes ont également été bâties et sont facilement identifiables par l'adjonction de l'adjectif *Nea*, qui signifie « nouvelle » : Nea Nikomideia, Nea Mesimvria…

De fait, de nombreux indices de l'évolution morphologique de la plaine de Macédoine centrale ont été « gommés » des cartes topographiques élaborées récemment. Les anciennes zones lacustres ne sont plus identifiables dans le paysage actuel et seuls quelques méandres

abandonnés de l'Aliakmon et d'imposants paléochenaux de l'Axios à l'est de la plaine témoignent encore de dynamiques hydrologiques anciennes.

Le travail d'étude géomorphologique est donc rendu plus difficile et la restitution précise de l'évolution morphologique des derniers siècles plus compliquée.

Figure 4 : Vision tridimensionnelle de la Macédoine centrale

La modélisation numérique de terrain permet d'obtenir une vision tridimensionnelle du secteur d'études. La plaine centrale apparaît très déprimée topographiquement par rapport aux massifs montagneux environnants. Les sommets dépassent 2 000 m dans le Vermion, 1 650 m dans le Païkon, 1 200 m dans le Chortiatis et atteignent 2 917 m dans l'Olympe. Au nord-ouest de la plaine de Macédoine centrale, le bassin d'Almopie forme une autre plaine très déprimée.

1.1.1. Topographie actuelle de la plaine de Thessalonique et de ses marges

1.1.1.1. Au centre : une vaste plaine

Après avoir emprunté l'autoroute qui relie Athènes à Thessalonique et s'être arrêté aux environs de la localité de Methoni puis de celle de Kypseli (au nord-ouest), on voit un panorama qui embrasse tout le secteur d'études. Au centre, une vaste étendue plane de 60 km d'ouest en est et de 35 km du nord au sud se distingue clairement (photos 1 & 2, Annexe XXVIII).

Les altitudes sont très faibles dans la plaine et n'excèdent pas 10 m entre la ville de Thessalonique et celle de Kria Vrysi et entre Aiginion et Pella. Dans le secteur de Kleidion-Platy, de rares levées alluviales, actuelles ou héritées, relèvent localement les altitudes ne dépassant toutefois pas la dizaine de mètres. La région d'Alexandria paraît également légèrement surélevée par rapport au reste de la plaine où les altitudes atteignent par endroits 12 m, comme le suggère le profil topographique Veria – Alexandria – Pella (figures 5 et 6).

Cette plaine est presque entièrement recouverte en son centre de champs de céréales, de tabac, de thé, de coton et de riz dans le secteur littoral. Sur les piémonts des chaînes de montagnes environnantes, des vergers d'amandiers et de pêchers indiquent des pentes plus importantes. Quelques rangées d'arbres de très haute taille révèlent le tracé sinueux des fleuves Aliakmon et Loudias, ainsi que le cours rectiligne du fleuve Axios. Les trois fleuves énumérés semblent converger vers l'embouchure du Loudias mais ne confluent finalement pas. En outre, ils paraissent avancer inexorablement dans le golfe Thermaïque, la forme digitée des embouchures deltaïques de l'Axios et de l'Aliakmon indique une progradation continue. Par jour de vent fort de secteur nord, le *Vardaris* (Livadas & Sahsamanoglou, 1973 ; Angouridakis *et al.*, 1981 ; Ghilardi, 2003, 2004, 2006), les eaux se teintent d'une couleur sombre et deviennent extrêmement turbides. La ville de Thessalonique est située au fond du golfe Thermaïque où les deux caps du Megalo Emvolo et du Mikro Emvolo resserrent considérablement le passage des eaux et des bateaux vers le port de la seconde ville grecque.

A l'ouest de la plaine, avant d'arriver dans la région du piémont, on observe, à proximité du fleuve Loudias, entre les villes de Nea Nikomideia et de Giannitsa, une dépression à l'emplacement supposé de l'ancien lac de Giannitsa, drainé dans les années 1930 dans le cadre de l'aménagement agricole complet de la plaine, dont les cartes topographiques du XIX^{e} (Leake, 1835 ; Kiepert, 1901-1902) et du début du XX^{e} siècle (Strück, 1908 ; Ancel, 1930) mentionnent l'existence. Les terres y sont très noires et les champs fertiles. Avant les

années 1930, cette zone lacustre de plusieurs kilomètres carrés était régulièrement alimentée par les eaux des fleuves issus des massifs environnants.

1.1.1.2. Au sud, le massif de la Piérie

Les villes d'Angathia, de Nea Agathoupolis et de Methoni appartiennent au massif de la Piérie qui délimite vers le sud la plaine de Macédoine centrale et qui prolonge vers le nord le massif de l'Olympe. Les altitudes dépassent localement les 1 200 m.

Dans le secteur de Vergina – Meliki, le contact avec la plaine se fait progressivement en suivant une pente douce : on passe de 100 m d'altitude à Vergina à un peu plus de 30 m à Meliki (distance de 8 km environ).

A l'extrémité sud de la plaine, entre la ville de Nea Agathoupolis et l'embouchure de l'Aliakmon, un système de plusieurs lagunes contraste dans le paysage (Ghilardi, 2003, 2004, 2006, annexe XXVIII). L'occupation annuelle de nombreuses zones en eau, séparées les unes des autres par d'étroits cordons argileux (annexe XXVIII), favorise la présence d'une faune aviaire très diversifiée regroupant espèces migratrices et endémiques. Ainsi, pélicans, flamands roses et autres hérons se côtoient dans ce qui forme aujourd'hui l'une des plus vastes réserves écologiques de Grèce.

Photo 1 : Vue sur la plaine depuis la rive droite de l'Aliakmon

Le cours de l'Aliakmon a été aménagé au cours du XX^{e} siècle. Des barrages hydrauliques et des réservoirs de régulation des eaux ont considérablement contribué à modifier les débits.

Photo 2 : Vue depuis les collines de Piérie vers le nord

Au premier plan, la ville de Meliki, au deuxième plan, la ripisilve de l'Aliakmon et la ville d'Alexandria en arrière plan.

1.1.1.3. A l'ouest, la barrière montagneuse du Vermion

Des gorges profondément incisées de l'Aliakmon au fleuve Vodas situé au nord-ouest de la plaine (50 km de distance), une barrière montagneuse abrupte se dresse, il s'agit du massif du Vermion (photo 3). La transition avec la plaine est assez progressive et les sommets, qui culminent légèrement au-dessus de 2 000 m d'altitude (2 096 m), entièrement recouverts de neige pendant l'hiver et durant le printemps, surplombent des contreforts où les villes populeuses de Veria, de Flamouria, de Naoussa et d'Edessa se sont installées. Ces dernières sont construites sur des replats et offrent une vue imprenable sur la plaine, qui porte parfois jusqu'à la ville de Thessalonique où les habitations de couleur claire se détachent parfaitement sur l'horizon. Le contact entre les contreforts de la chaîne du Vermion et la plaine présente un profil topographique en pente douce (figures 5 et 6). Les cultures de vergers et de vignobles dominent dans le paysage. On passe d'une altitude de 150 m pour la ville de Veria à environ 20 m à celle de Nea Nikomedeia (environ 8 km de distance) et de 350 m environ de la ville de Naoussa à 20 m à celle d'Angelochorion (environ 10 km de distance).

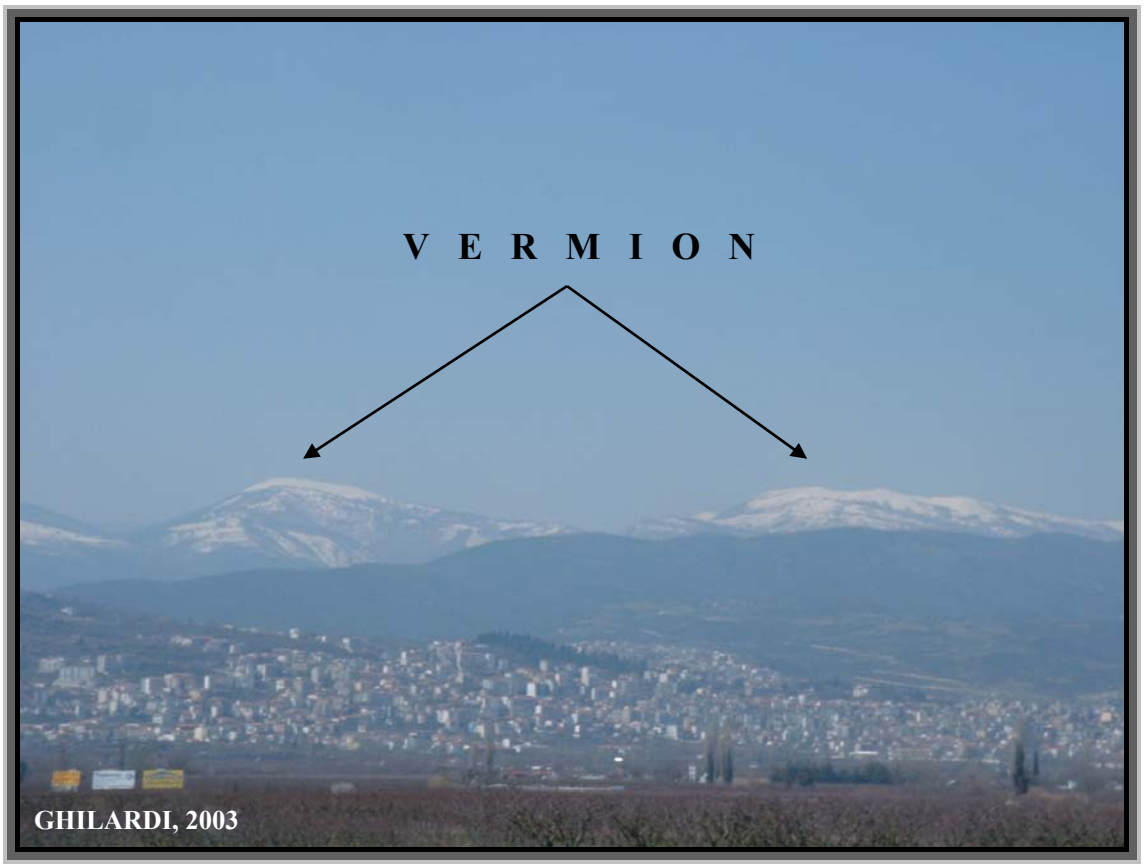


Photo 3 : Vue de la ville de Veria et du massif du Vermion

Cliché pris le 20 mars 2003. Au premier plan, des vergers d'amandiers sont installés sur les contreforts en pente douce du Vermion. Au deuxième plan, la ville de Veria construite sur un replat et en arrière-plan les sommets enneigés du Vermion

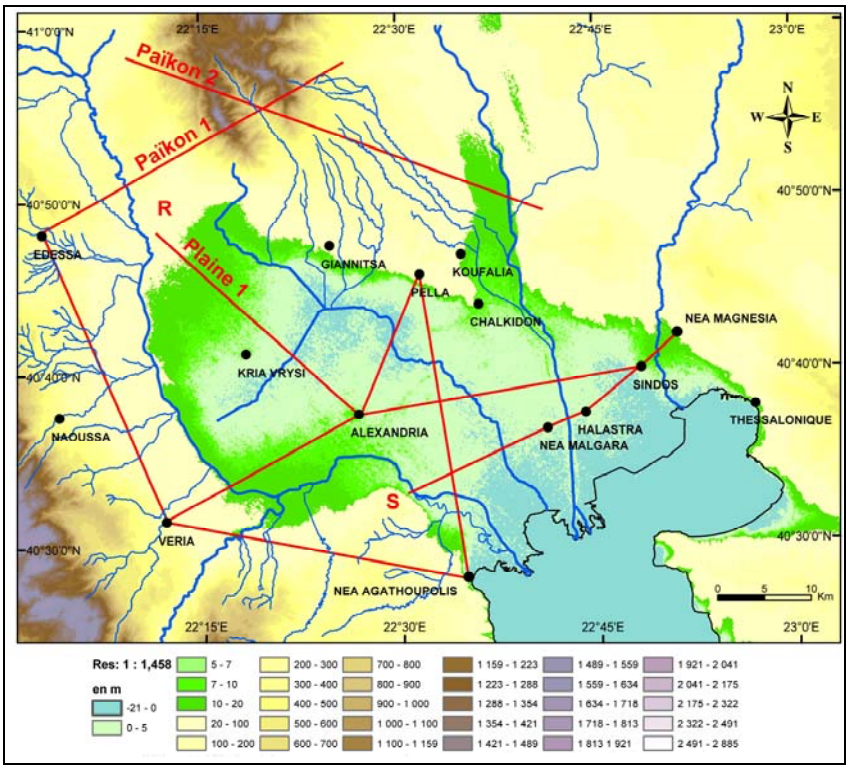


Figure 5 : Localisation des profils topographiques

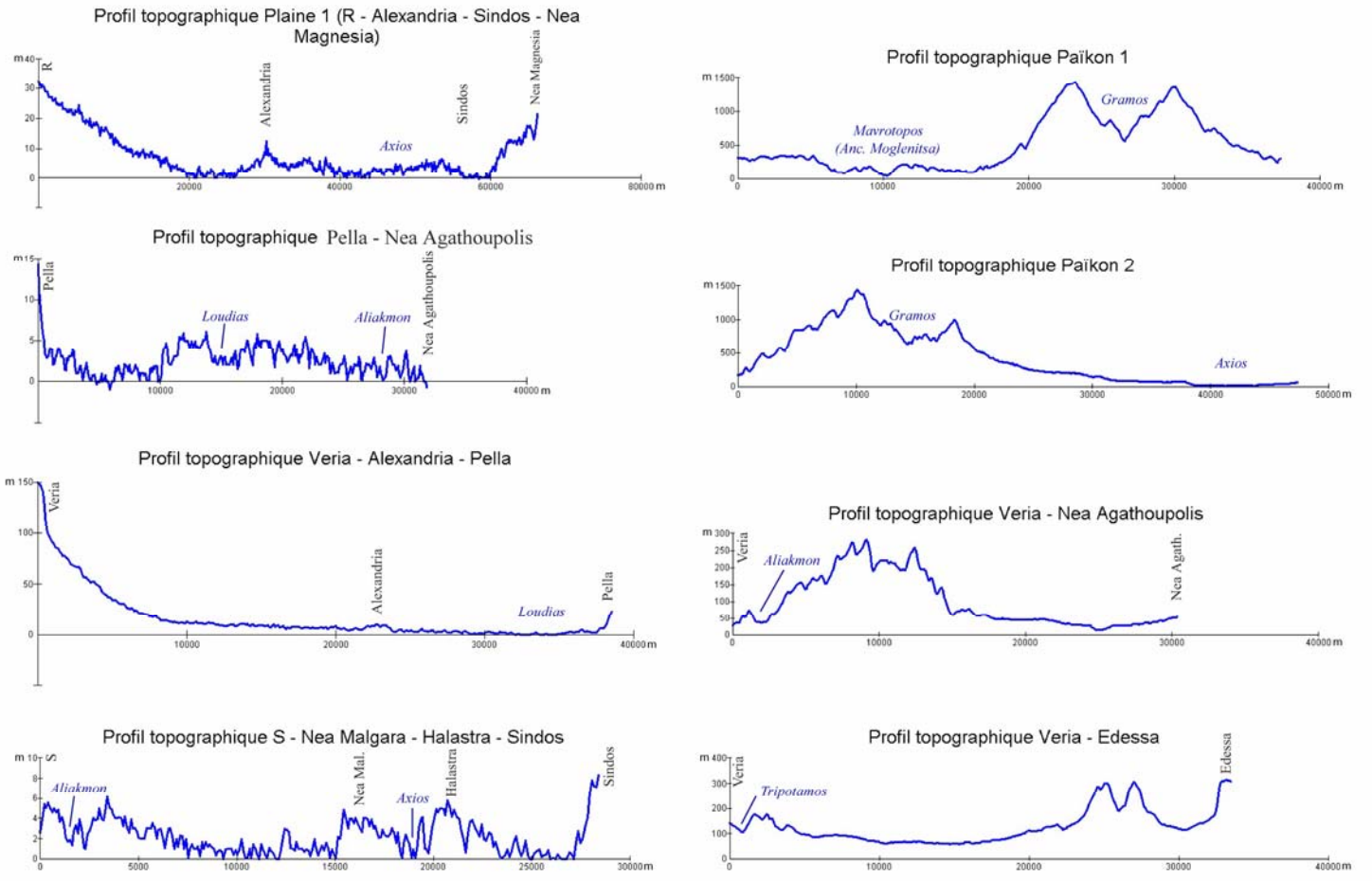


Figure 6 : Profils topographiques établis dans la plaine de Macédoine et sur ses marges (données S.R.T.M.), longueur et hauteur exprimées en mètres

La ville d'Edessa, située à l'extrémité septentrionale du Vermion est traversée par le fleuve Vodas et a été bâtie sur un replat constitué, comme à Veria et à Naoussa, de concrétions carbonatées, appelées localement *Poros* (Delacoulonche, 1859). Les nombreuses chutes d'eau qui s'échappent de ces plateaux de couleur claire (photo 4) atteignent des proportions étonnantes et ont de tout temps fait la réputation de ces villes (Cousinéry, 1831 ; Delacoulonche, 1859). Tite-Live avait déjà noté que Mieza, célèbre pour avoir abrité le *Nymphaeum* d'Aristote (lieu d'enseignement d'Alexandre le Grand, Annexe XXVIII) et située à quelques kilomètres en avant de la ville de Naoussa, possédait de nombreuses stalactites et stalagmites qui avaient contribué à édifier ces plateaux et à sculpter des cavernes naturelles dans la roche.

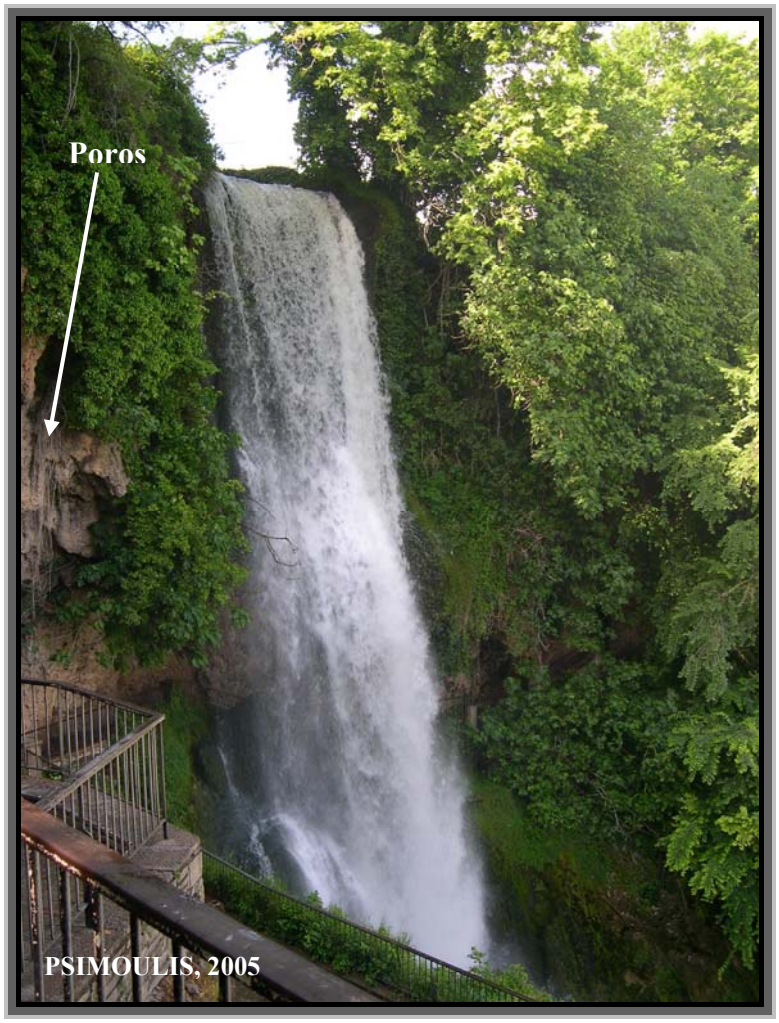


Photo 4 : Chutes d'eau d'Edessa

A Edessa, la succession de plusieurs replats permet un écoulement des eaux sous forme de cascades spectaculaires, très réputées en Grèce.

Au nord-ouest de la plaine et au nord du massif du Vermion, le relief s'abaisse progressivement et les altitudes atteignent à peine 150 m. Un étroit passage permet de se rendre dans le bassin d'Almopie, également appelée plaine d'Aridéa, en longeant un affluent du fleuve Aliakmon. Il s'agit du Mavrotopos, anciennement appelée Moglénitsa en slave. Son tracé a été modifié, comme ceux de l'Axios et du Loudias, dans les années 1930 par la *Foundation Company of New York* afin d'éviter les crues qui dévastaient régulièrement les cultures et les habitations situées dans la plaine. Le *Canal Périphérique* (photo 14) s'écoule désormais parallèlement à la chaîne du Vermion, sur le piémont.

1.1.1.4. Au nord, le massif du Païkon

Au nord de la plaine, un second massif montagneux se distingue : il s'agit du Païkon. La bordure occidentale, très élancée et massive, culmine à 1650 m et contraste singulièrement avec le secteur oriental où les altitudes ne dépassent pas 500 m. Cette dissymétrie est révélée par le profil topographique « Païkon » (figure 5). La ville de Giannitsa se situe à la limite de ces deux entités topographiques en position de piémont. Le fleuve Gramos a sculpté une vallée profonde dans le substrat rocheux (figures 5 et 6), les parois sont abruptes et l'encaissement atteint les 800 m.

Plus à l'est, on retrouve les villes de Pella et de Chalkidon, qui limitent au nord notre secteur d'études : l'altitude respective de ces villes est d'environ 10 m dans leur partie basse et de 40 m dans leur partie haute.

1.1.1.5. A l'est, le massif du Chortiatis

Au N-NE de la plaine et à l'est du massif du Païkon, une vaste zone déprimée dans laquelle s'écoule l'Axios permet de remonter jusqu'à la république de Macédoine et à la ville de Skopje : il s'agit de la vallée de l'Axios, également appelée du Vardar (dénomination slave).

Au nord-est de ce sillon, la chaîne des monts du Chortiatis culmine à environ 1 250 m. Sur ses flancs méridionaux, la ville de Thessalonique a été bâtie et s'étend désormais tout autour du fond du golfe Thermaïque (photos 5 et 6) en raison de l'explosion urbaine et de la rapide industrialisation de la région.

Photo 5 : Vue de la ville de Thessalonique et des contreforts du massif du Chortiatis depuis le cap de Mikro Emvolo

Sérieusement affectée par un incendie le 18 août 1917 (Ancel, 1930), la ville de Thessalonique a été reconstruite grâce en partie à des ingénieurs français. Aujourd'hui, l'attrait économique de la ville a favorisé un développement important du bâti.

Photo 6 : Place Aristote de Thessalonique

Le cadre physique de la ville, marqué par de fortes pentes, a permis le développement d'une ville haute « ano-poli », où les habitats traditionnels coexistent au côté de constructions plus récentes.

1.1.2. Organisation du réseau hydrographique drainant la plaine de Thessalonique

1.1.2.1. Les cours d'eau principaux

L'Axios s'écoule du nord vers le sud dans la partie orientale de la plaine, entre les villes de Chalastra et de Nea Malgara (photo 7). Il prend sa source dans les montagnes de la Crna Gora (traduction : Montagne Noire) en République de Macédoine (A.R.Y.M.) et forme dans le golfe Thermaïque un delta digité qui souligne une progradation active (annexe XXVIII).

Sur les 23 747 km² de son bassin-versant (tableau 1), seuls 2 300 sont situés en territoire grec (figure 7), et, sur une longueur totale de 388 km, seuls 76 km sont situés en Grèce. Le fleuve s'écoule dans une vaste dépression s'étendant de la région de Skopje au golfe Thermaïque, la vallée du Vardar.

	Axios	**Aliakmon**	**Gallikos**	**Loudias**
Topographie	**-**	**-**	**-**	**-**
Bassin-versant (km²)	**23747**	**10525**	**1230**	**1250**
Longueur	**388**	**297**	**43**[2]	**38**
Relief maximum (m)	**2800**	**2200**	**2180**	**1650**
Hydrologie	**-**	**-**	**-**	**-**
Débit moyen annuel ($m^3.s^{-1}$)	**158**	**73**	**39.5**	**2/3**
Débit max. annuel ($m^3.s^{-1}$)	**279**	**137**	**?**	**?**
Débit min. annuel ($m^3.s^{-1}$)	**49**	**21**	**?**	**?**
Période de hautes eaux (mois)	**Dec. / Juin**	**Dec. / Mars**	**Dec. / Mars**	**Dec. / Mars**
Période de basses eaux (mois)	**Juillet / Nov.**	**Juin / Nov.**	**Mai / Nov.**	**?**
Volume de sédiments transportés	**-**	**-**	**-**	**-**
Charge solide (10^6 t par an)[1]	**0.068**	**0.007**	**?**	**?**
Matériaux en susp. (10^3 t/ km²)	**1.22**	**0.46**	**?**	**?**
Lithologie	**-**	**-**	**-**	**-**
Roches acides (%)	**51.2**	**23.7**	**57.5**	**10**[2]
Roches carbonatées (%)	**11.3**	**15.7**	**1.0**	**45**[2]
Dépôts clastiques (%)	**37.5**	**60.6**	**41.5**	**45**[2]

Tableau 1 : Caractéristiques générales des principaux fleuves débouchant dans le golfe Thermaïque
(d'après Poulos et al., 2000 ; Karageorgis et al., 2001 ; Kapsimalis et al., 2005)

[1] Année (1997-1998), Karageorgis *et al.*, 2001

[2] Estimation personnelle

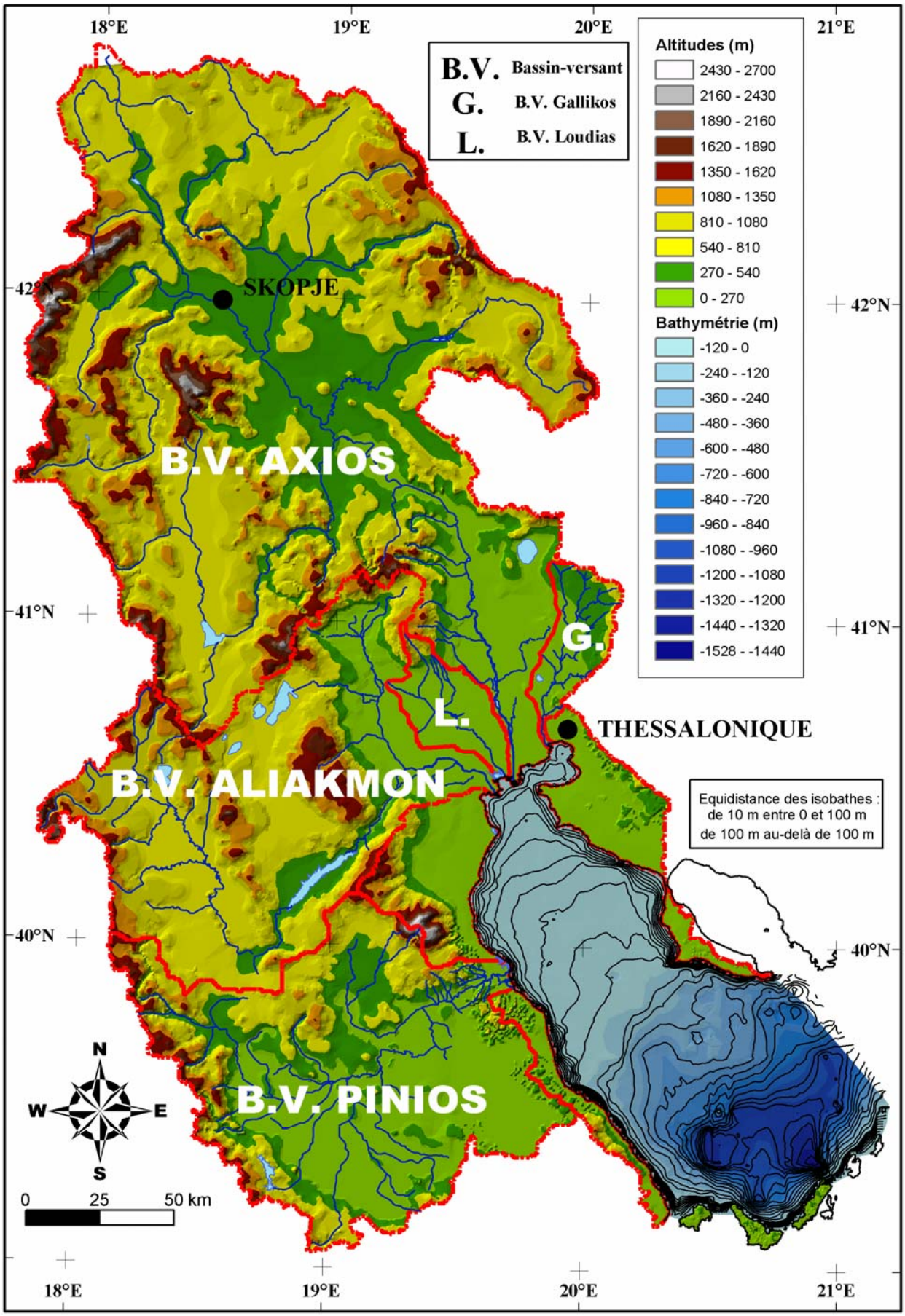


Figure 7 : Bassins-versants des cours d'eau drainant la plaine de Macédoine centrale

D'un point de vue hydrologique, comme de nombreux fleuves méditerranéens, l'Axios a un débit irrégulier et dépend des variations extrêmes du climat d'une saison à l'autre (figure 8), avec notamment en mars un débit moyen maximum de 270 m^3. $sec.^{-1}$ (modeste), imputable à la fonte des neiges ; son régime est pluvio-nival. En août, en raison de la sécheresse atmosphérique renforcée par une évapo-transpiration importante, le débit est divisé par 5,5 par rapport au mois de mars, où il n'est plus que de 49 m^3. $sec.^{-1}$ (Jeftic *et al.*, 1992). Le régime de l'Axios semble être à ce propos plus lié aux conditions climatiques régnant sur les hautes montagnes de la République de Macédoine et de l'ex-Yougoslavie, qu'au climat régional, qui contribue seulement à augmenter le débit du fleuve dans la partie aval du cours d'eau en cas de fortes précipitations. Nous pouvons également ajouter qu'annuellement, le volume de sédiments déposé dans le delta de l'Axios est de 8,4 millions de m^3 (Jeftic *et al.*, 1992), ce qui traduit une sédimentation importante dans le golfe Thermaïque ; quant à l'excédent déposé sur les berges en aval du cours d'eau, il est évalué à 900 000 m^3. De précédents travaux (Poulos *et al.*, 2000) estiment qu'annuellement environ 30 000 000 de tonnes de sédiments sont déposés dans le Golfe Thermaïque.

Le deuxième grand fleuve de la plaine de Thessalonique est l'Aliakmon (photo 8) appelé Vistritsa en slave. Il prend sa source dans les monts du Vernon et de l'Askion, dans le nord-ouest de la Grèce, à proximité du lac de Kastoria (figure 7). A son entrée dans la plaine de Thessalonique, il prend une direction WSW-ENE d'Agia Varvara à Nisellion, puis NW-SE entre Nisellion et l'embouchure.

Contrairement à l'Axios, l'Aliakmon coule entièrement sur le territoire grec et son bassin-versant est 2,5 fois plus petit que celui de l'Axios avec une superficie d'environ 10 525 km^2 (Karageorgis *et al.*, 2001) ; la longueur de son cours d'eau est de 297 km. Les débits mensuels et le module de l'Aliakmon sont plus faibles que ceux de l'Axios : 137 m^3. $sec.^{-1}$ en mars et 21 m^3. $sec.^{-1}$ en août ; la faiblesse des débits en été s'explique non seulement par l'importance de l'évapo-transpiration mais aussi par les pompages effectués dans le fleuve à des fins d'irrigation. Annuellement, le volume de sédiments déposés dans le delta est de 560 000 m^3 (Jeftic *et al.*, 1992) ; quant à l'excédent sédimentaire déposé sur les berges, il est de 600 000 m^3 (Jeftic *et al.*, 1992) par an.

Pour les deux fleuves que nous venons d'évoquer, outre les chenaux actifs, nous avons un certain nombre de formes héritées. Des paléochenaux débouchant dans le golfe Thermaïque sont visibles sur les cartes topographiques récentes ainsi que sur celles du début et du milieu du XX^e siècle.

Photo 7 : l'Axios entre les villes de Chalastra et Nea Malgara (vue vers le nord)

Une importante ripisilve composée de tamaris souligne le cours de l'Axios dans ce secteur. Ce dernier est endigué dès son entrée dans la plaine jusqu'à son embouchure.

Photo 8 : l'Aliakmon dans son secteur aval (vue vers le nord)

La largeur du chenal de l'Aliakmon dans la partie deltaïque atteint environ 200 m. Un bouchon vaseux remontant à plusieurs kilomètres à l'intérieur du fleuve souligne de fréquentes incursions d'eau marine.

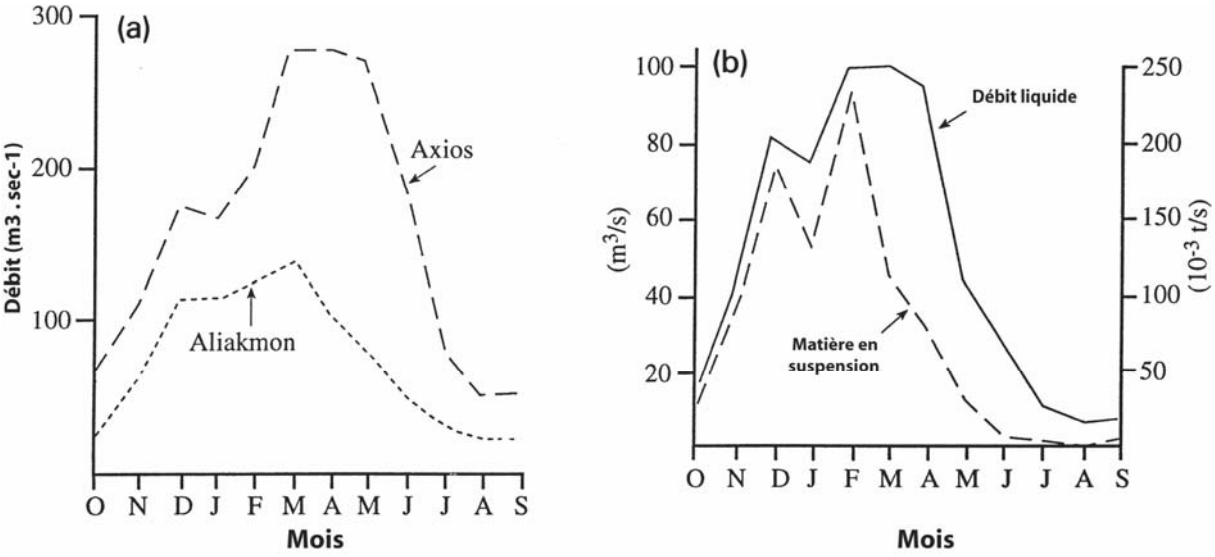


Figure 8 : (a) Variations mensuelles de débits pour l'Aliakmon et l'Axios ; (b) Débit liquide et volume de matière en suspension pour l'Aliakmon (station d'Ilariona) pour la période 1962-1982
D'après Poulos et al., 2000

L'Axios est le fleuve qui possède le plus de chenaux abandonnés, certes peu visibles dans le paysage en raison des nombreux aménagements agricoles des années 1930, mais les paléochenaux les plus orientaux, que sont le « Micro Vardaris » (le bras le plus à l'est, débouchant près du delta du Gallikos) et le « Megalo Vardaris » (le bras le plus à l'ouest) apparaissent nettement sur les images satellites et les cartes les plus récentes.

Concernant l'Aliakmon, certains paléochenaux (photo 9) peuvent être observés mais également d'anciens méandres dans le secteur médian de son cours, dans la plaine de Macédoine centrale, près des localités de Nisellion et de Niseloudion (photo 10). Ces formes héritées, révélées par les cartes topographiques, géologiques et les images satellitaires, sont parfaitement identifiables dans le paysage (photo 10). Leur ampleur atteste de paléodynamiques différentes de celles d'aujourd'hui, avec une plus grande énergie à dissiper et une plus grande charge solide, témoignant sans doute d'une période plus humide. Outre l'hypothèse hydrodynamique, nous pouvons émettre une hypothèse relative à la paléotopographie pour expliquer la formation de ces méandres. En effet, il est possible que l'Aliakmon recoupe des cordons littoraux fossiles développés durant la progradation de la plaine de Thessalonique, ces obstacles induisant des déformations méandriformes dès l'édification du bras (Arnaud-Fassetta, 2000).

La difficulté repose sur la datation de ces formes fluviales : ce travail n'est possible qu'avec l'aide de récits antiques, de cartes anciennes, et de témoignages écrits faisant état de crues centennales que les registres des villages auraient pu mentionner.

Photo 9 : Ancien chenal de l'Aliakmon dans les environs de Trikala (vue vers le N-E)

Une végétation hygrophile de type phragmites limite, de part et d'autre de l'ancien chenal, un sillon encaissé de 3 m par rapport à la topographie environnante. Le fond est en permanence recouvert par les eaux.

Photo 10 : Méandre abandonné en rive gauche de l'Aliakmon, dans les environs de Nisellion

D'immenses peupliers et une forte concentration de phragmites soulignent des méandres très prononcés et régulièrement inondés.

1.1.2.2. Les fleuves secondaires

Le Gallikos (Echeidoros dans l'Antiquité) est un cours d'eau de direction N-S, à écoulement intermittent et qui est souvent à sec en l'été. Il draine les collines de la région de Kilkis. Il faut noter que son bassin-versant (superficie : 1230 km², Kaspimalis *et al.*, 2005), situé à l'intérieur même de la Macédoine centrale, influence directement son régime hydrologique. Celui-ci dépend directement des conditions climatiques locales : son écoulement est en grande partie dû à la collecte des eaux sur les versants des collines voisines où le ruissellement est favorisé par les affleurements rocheux et la discontinuité de la couverture végétale xérophile. Son débit est relativement modeste en raison de la petite taille de son bassin-versant (Lefort, 1986) : son rythme de sédimentation est de 16 000 m^3 par an, et son volume sédimentaire déposé sur ses berges est de 4 000 m^3.

Le Loudias (photo 11), long de 38 km, a vu son cours NW-SE artificialisé. Il collecte l'eau de nombreuses rivières provenant du massif du Païkon, dont le Gramos. La superficie du bassin-versant est d'environ 1 250 km². Le débit moyen annuel de ce fleuve est d'environ 2 – 3 m^3. $sec.^{-1}$.

Photo 11 : Le cours du Loudias à proximité de Kleidion (vue vers le nord)

Le tracé rectiligne du Loudias souligne l'importance des travaux de régularisation de son cours

1.1.3. Histoire de l'aménagement de la plaine au cours du XX^{e} siècle

J. Ancel (1930) a consacré un ouvrage entier à l'évolution contemporaine de la Macédoine.

Celle-ci recoupait alors plusieurs pays : la Bulgarie, la Grèce, la Turquie et la Yougoslavie. Le contexte géopolitique très instable du début des années 1910, durant lesquelles les conflits ont frappé la région, a provoqué une première vague de mouvements de populations. L'éclatement géographique de la région lors des guerres balkaniques en 1912 a eu pour conséquence directe l'arrivée massive de réfugiés d'Asie Mineure dans l'actuelle plaine de Macédoine centrale.

A la suite d'un nouvel épisode de guerre entre la Grèce et la Turquie qui opposa les deux belligérants entre 1919 et 1922, le traité de Lausanne fut signé le 24 juillet 1923, imposant un nouveau redécoupage du territoire du nord de la Grèce et une arrivée massive de réfugiés grecs en provenance d'Asie mineure, de la région du Pont (périphérique de la mer Noire) et de Bulgarie (la « Grande Catastrophe »). L'afflux de ces populations sur un territoire qui n'était pas prêt à les accueillir a fait prendre conscience à la Grèce nouvellement formée qu'il fallait aménager l'espace et offrir des logements, des terres, nécessitant un aménagement complet de la plaine de Macédoine. L'édification de nouveaux villages, de digues de protection contre les crues des cours d'eau, la construction de canaux d'irrigation et de drainage et l'assèchement des marais (le lac de Giannitsa en particulier) faisaient alors partie des tâches prioritaires. L'aide financière de la *Société des Nations* et la réalisation des travaux par la *Foundation Company of New York* ont permis dans les années 1930 l'aménagement complet de la plaine de Macédoine centrale impliquant un bouleversement total des paysages.

Après la seconde guerre mondiale, des travaux de régularisation du littoral et d'aménagement hydraulique (nombreux barrages sur les fleuves Aliakmon et Axios) ont également contribué au changement des paysages.

1.1.3.1. Une urgence sanitaire qui dès les années 1910 impose des aménagements hydrauliques

« La tâche la plus urgente est de sauver l'homme lui-même ». Cette expression employée par J. Ancel (1930, p.133) révèle l'urgence sanitaire qui affecte les populations réfugiées arrivant en Macédoine (malaria et nouvelles pathologies). Elles arrivent misérables

de Turquie, d'Asie Mineure, du Caucase et de Russie et véhiculent avec elles de nombreuses pathologies. Dans un premier temps, elles affluent puis saturent rapidement les villes.

En 1916, l'armée française d'Orient, composée alors de 60 000 hommes allait être violemment affectée par le paludisme, et ce sont près de 20 000 soldats qui furent rapatriés en France.

Après une enquête menée par le docteur Edmond Sergent sous les auspices de l'Institut Pasteur, la mission antipaludique de l'Armée d'Orient fut lancée et permit de révéler que 90% de la population de Macédoine centrale était impaludée (figure 9).

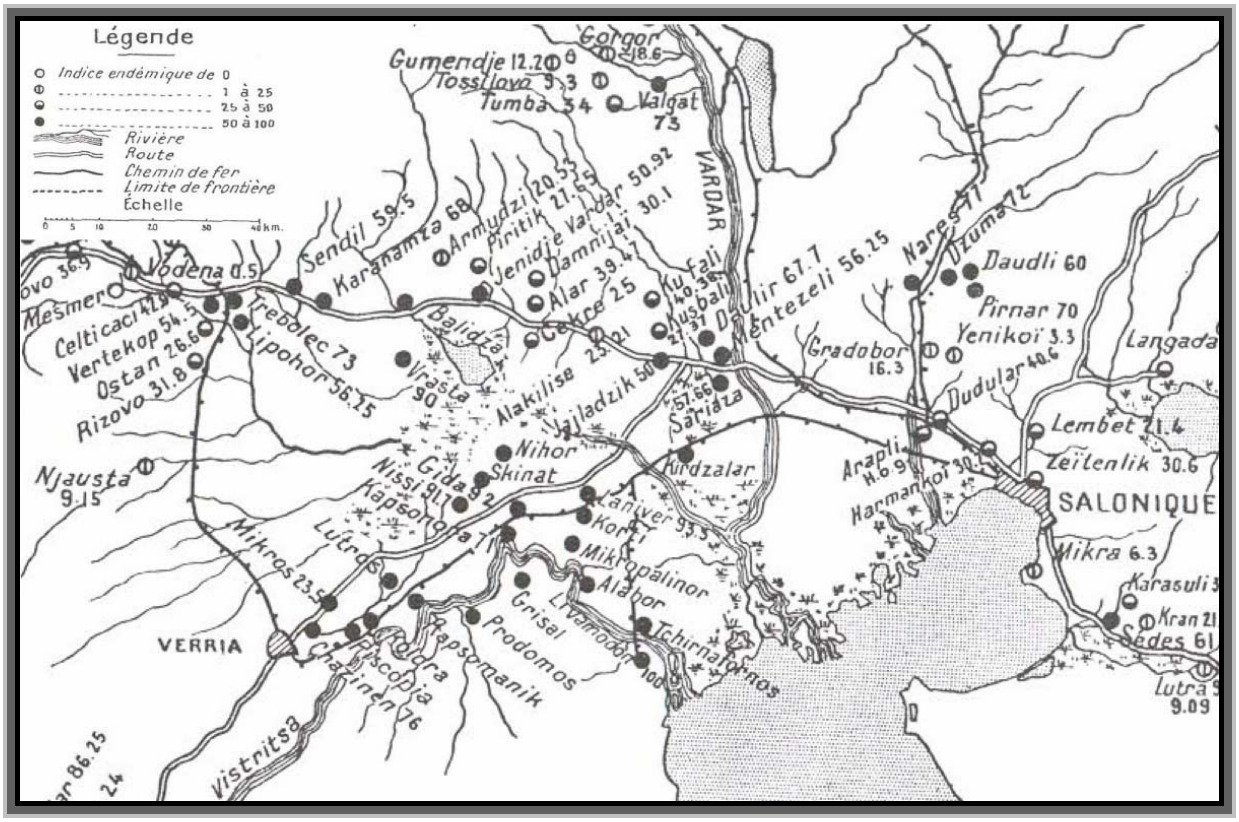


Figure 9 : Taux de personnes impaludées, par localité, en 1917, dans la plaine de Thessalonique
(Ancel, 1930)

L'une des premières mesures prises pour lutter contre ce fléau consistait en une lutte antilarvaire. Les travaux consistèrent à assécher les mares, par comblement ou déversement et à régulariser les cours d'eau, par surcreusement des lits ordinaires, ou par réfection des berges du lit. Enfin, les travaux les plus importants portèrent sur la canalisation des ruisseaux et rivières affluentes et sous affluentes des fleuves.

1.1.3.2. Les grands travaux des années 1925 – 1935 : canalisation des cours d'eau et assèchement du lac de Giannitsa (Ancel, 1930)

Le 7 septembre 1925, un traité autorisait la *Foundation Company of New York* à entreprendre les travaux d'aménagement de la plaine et imposait notamment la canalisation des fleuves Axios, Aliakmon et Gallikos ainsi que l'assèchement du lac et des marais de Giannitsa. Ces aménagements devaient permettre le gain de 54 000 hectares de terres cultivables ; le montant total des travaux s'élevait à 15 750 000 dollars de l'époque.

a) La canalisation des cours d'eau

La plaine de Macédoine centrale, inondée bien plus qu'arrosée par les fleuves Axios et Aliakmon était souvent sujette à des crues spectaculaires (Cousinéry, 1831) et à des défluviations fréquentes, laissant dans le paysage des méandres abandonnés et autres paléochenaux.

L'endiguement de ces deux cours d'eau fut la première réalisation de la *Foundation Company* (photo 12). Cette dernière fut également confrontée à un problème important lors de l'assèchement du lac de Giannitsa (profond de trente mètres au maximum) : il fallait non seulement évacuer vers la mer les eaux du lac pour gagner des terres cultivables (environ 10 000 ha) mais également se protéger contre les inondations de l'Axios. La branche orientale de ce dernier qui se déversait à proximité du port de Thessalonique fut dès lors canalisée puis détournée pour obtenir le tracé actuel, évitant ainsi un ensablement certain de la ville.

Répondant à cette double logique, il fut entrepris de conduire la totalité des eaux des marais vers la mer en suivant le tracé du fleuve Loudias. Les travaux consistèrent à canaliser le cours de ce dernier dont la profondeur du lit passa de 8-9 m à 20-22 m.

Le Gallikos fut également endigué pour lutter contre les inondations répétées des campagnes environnantes (photo 13). Deux digues furent construites entre juin 1929 et septembre 1930 : une de sept kilomètres sur la rive droite (depuis la ligne de chemin de fer passant près de Sindos jusqu'à la mer), l'autre de huit kilomètres sur la rive gauche. La hauteur des ouvrages oscille entre 1 et 4 m et l'écartement entre les digues est d'environ 500 m.

Il fut également décidé de détourner les cours d'eau en provenance du massif du Vermion qui alimentaient le lac de Giannitsa. Un *Canal périphérique* (photo 14) a donc été construit (Sivignon, 1987), parallèlement à la chaîne de montagnes, en position de piémont,

reprenant partiellement le tracé du Mavrotopos (l'ancienne Moglénitsa) et collectant les eaux de la Vodas à Edessa, de l'Arabitza à Naoussa et du Tripotamos en contrebas de Veria. L'ensemble de ces eaux se déversa ainsi dans l'Aliakmon.

Une dernière étude envisageait de diriger toutes les eaux de l'Axios dans le cours de l'Aliakmon. L'entreprise ne resta qu'à l'état de projet en raison du coût très élevé des aménagements, environ 10 220 000 dollars de l'époque

L'ensemble des travaux réalisés entre 1917 et 1930 a contribué à modifier considérablement la topographie et le tracé des cours d'eau. L'artificialisation des paysages est totale et de nombreux modelés ont été rayés de cartes topographiques. Seuls subsistent deux paléochenaux de l'Axios, entre ce dernier et le cours du Gallikos, ainsi que de nombreux méandres abandonnés en rive gauche de l'Aliakmon dans le secteur de Nisellion.

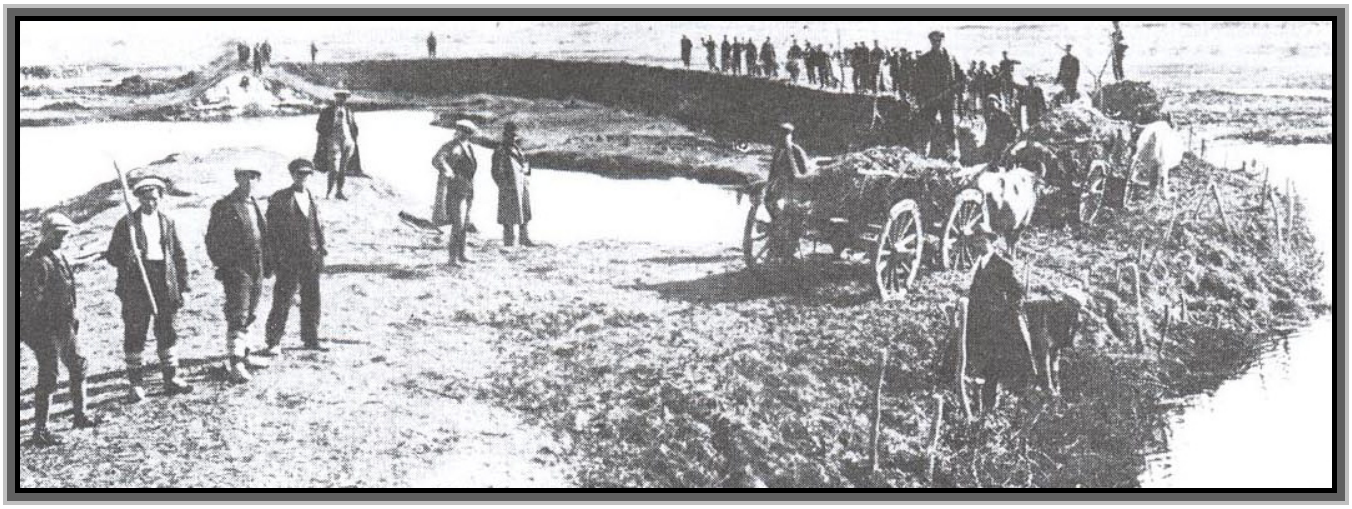


Photo 12 : Construction de digues protectrices (Ancel, 1930)

Les populations, composées de réfugiés et de locaux, réalisèrent la construction des aménagements le long des berges des cours d'eau.

Photo 13 : Canalisation du cours du Gallikos au NW de Nea Magnesia (vue vers l'amont)

Malgré la régularisation du tracé du cours d'eau, le charme de ses berges attire les populations locales qui profitent de la fraîcheur de l'endroit.

Photo 14 : Canal périphérique aux environs de Nea Nikomideia (vue vers le nord)

Ce cours d'eau artificiel collecte les eaux issues du massif du Vermion et du bassin d'Almopie pour les déverser ensuite dans l'Aliakmon.

b) Assèchement du lac de Giannitsa

Les récits de voyageurs du XIX^e^ siècle (Leake, 1835 ; Boué, 1840 ; Delacoulonche, 1859) et du début du XX^e^ siècle (Strück, 1908) nous présentent le lac de Giannitsa comme une vaste zone de marais occupée en son centre par un lac aux eaux turbides et saumâtres (photo 15).

Photo 15 : Lac de Giannitsa en 1897 lors de la bataille qui opposa Grecs et Slaves en ce lieu (Touratsoglou, 1998)

Peu de photographies révèlent les paysages de ce lac avant les aménagements des années 1930. Les sangsues et le paludisme faisaient de ce secteur un territoire peu favorable à l'implantation humaine. Cependant, des pêcheurs, circulant en « monoxyla » (photo) à partir des nombreuses « scala » qui bordaient le lac, avaient pour habitude de fréquenter ce lieu riche en poissons

Les travaux d'assèchement des marais et du lac de Giannitsa débutèrent à partir de 1929 et furent achevés en 1941 (Sivignon, 1987). Le gain en terres cultivables est considérable et les villes de Veria et de Giannitsa bénéficient de l'utilisation de ces nouvelles zones agricoles (Füldner, 1967).

1.1.3.3. Les années d'après guerre : la course à l'irrigation nécessite la construction d'aménagements hydrauliques

La région des deltas formées par les fleuves Axios, Aliakmon, Loudias et Gallikos a été fortement aménagée depuis les années 1950 et la côte régularisée pour empêcher l'ensablement de la ville de Thessalonique, évitant ainsi à cette dernière de connaître la même destinée que la capitale macédonienne, Pella, deux millénaires plus tôt.

a) Régularisation du trait de côte

Sur la carte de 1940, éditée par le service topographique de l'armée allemande (figure 10), les embouchures des fleuves Axios et Aliakmon avancent très avant dans le golfe Thermaïque. Face à la menace d'un ensablement, le trait de côte a été régularisé en plusieurs étapes.

L'ancienne embouchure orientale de l'Axios, appelée *Palaiomana*, a été abandonnée et la construction d'une digue protectrice (photo 16) contre l'avancée des deltas a été entreprise entre 1960 et 1974 (Chronis, 1986 ; Stiros, 2001). La longueur totale de l'ouvrage avoisine 22 km de long et 2.5 m de haut (Kapsimalis *et al.*, 2005).

b) Edification de barrages hydrauliques sur les cours de l'Aliakmon et de l'Axios

L'augmentation des surfaces agricoles irriguées dans la plaine de Thessalonique et l'explosion démographique de la région - qui concentre environ un million d'habitants dans la plaine et sur ses marges (pratiquement autant que la population de la ville de Thessalonique) - ont provoqué l'augmentation des besoins en eau. La plaine de Thessalonique est de nos jours, la plus vaste étendue irriguée de Grèce avec 118 300 ha.

Dès les années 1950, la construction de barrages hydrauliques est entreprise sur les cours de l'Axios et de l'Aliakmon. Un ouvrage est ainsi construit sur chacun des fleuves en 1954 et sont opérationnels en 1958 (Sivignon, 1987). Ce sont ensuite des barrages régulateurs de débit qui sont construits sur l'Aliakmon, en contrebas de la ville de Veria (Agia Varvara) et sur l'Axios, à la hauteur de la ville de Gefyra.

De 1971 à 1975, trois nouveaux ouvrages sont réalisés (Polifiton, Sfikia et Asomata, photo 17, D.E.H., 1972 et 1972a). Le plus imposant d'entre eux, le barrage de Polifiton, possède un réservoir d'une superficie de 7 000 ha pour une capacité de 535 millions de m^3.

Figure 10 : Configuration du trait de côte dans le golfe Thermaïque en 1940

Photo 16 : Digue littorale dans la partie distale du delta de l'Axios (vue vers le sud)

Les aménagements littoraux ont contribué à régulariser le trait de côte et à artificialiser la topographie. Des polders ont été créés pour favoriser la culture du riz.

L'objectif de ces aménagements est bien évidemment la régulation des débits (photo 17) et un piégeage des alluvions en amont des barrages. Depuis les années 1950, les études révèlent une baisse de la charge sédimentaire utile (Poulos *et al.*, 2000) et une tendance à l'érosion des parties distales des deltas (Kapsimalis *et al.*, 2005). Cependant la forme digitée des embouchures deltaïques de l'Axios et de l'Aliakmon, ainsi que le colmatage de la baie de Methoni - Nea Agathoupolis (Ghilardi, 2003, 2006), permettent de préciser les effets réels des aménagements sur l'évolution du littoral du golfe Thermaïque. Ainsi, le secteur situé entre les embouchures du Gallikos et de l'Axios est-il affecté par un phénomène d'érosion littorale (Stiros, 2001 ; Kapsimalis *et al.*, 2005), tandis que l'on note une avancée progressive du trait de côte entre l'embouchure de l'Axios et la région de Nea Agathoupolis.

Photo 17 : Barrage d'Assomata sur l'Aliakmon

La construction de plusieurs barrages a permis une gestion de l'eau essentiellement à des fins agricoles. Depuis quelques années, les périodes de sécheresse répétées et l'augmentation des besoins de la ville de Thessalonique ont nécessité une restriction de la consommation ; les coupures d'eau sont devenues plus fréquentes.

CONCLUSION

L'évolution morphologique contemporaine de la plaine de Macédoine centrale a été largement influencée par les aménagements humains du dernier XX^{e} siècle, destinés à conquérir et à irriguer un espace naturellement dédié à des marais et à des lacs.

Pour des raisons sociales, sanitaires et économiques, la topographie et l'organisation du réseau hydrographique ont été profondément bouleversées. En conséquence de nombreux héritages morphologiques témoins de dynamiques hydrologiques et sédimentaires différentes de celles d'aujourd'hui ont disparu et limitent la compréhension générale de l'évolution des paysages de la plaine. La reconstitution paléogéographique en est rendue que plus complexe.

La platitude actuelle du relief de la plaine ne témoigne donc pas d'un manque de dynamisme morphologique, bien au contraire.

L'histoire géologique complexe du secteur d'études permet toutefois de révéler une mobilité très forte des paysages, où l'influence de la tectonique et de la morphogenèse quaternaire ont progressivement modelé les paysages.

Chapitre 2 : contextes géologique et néotectonique de la Macédoine centrale

INTRODUCTION

D'un point de vue géologique, L. Faugères (1978) constatait, au début de ses recherches en 1964, que la Macédoine centrale était un terrain quasiment vierge de toute étude précise et que les connaissances sur la genèse de la plaine et de ses marges montagneuses présentaient de graves lacunes.

Les premières études remontent au XIX^{e} siècle, et l'on doit à A. Boué (1840) et à son expédition (annexe IV) les premières observations géologiques portant à la fois sur la plaine et sur les chaînes de montagnes la ceinturant.

Juste avant la première guerre mondiale, J. Cjivic (1908) entreprit la visite complète de la Macédoine. Ses observations dans la vallée de l'Axios et dans les bassins occidentaux lui permirent d'émettre l'hypothèse selon laquelle le continent avait été recouvert pendant la période Néogène par un grand lac d'eau douce : la théorie du lac Egéen prit alors une grande place dans les débats de l'époque. Ce lac aurait été, par le biais de la tectonique et des relèvements du relief, progressivement morcelé : les bassins de Giannitsa, de Kastoria, d'Ohrid et de Prespa notamment seraient les reliques de ce paléo-lac.

Les études détaillées en Macédoine centrale ne débutent cependant réellement qu'au début des années 1960, en grande partie grâce aux travaux de J.L. Mercier et J. Sauvage (Mercier, 1960, 1963 ; Mercier & Sauvage, 1963, 1966 ; Mercier & Vergély, 1972). Ceux-ci ont repris et critiqué les travaux pionniers de J. Cvijic et ont permis, grâce au recours systématique à la palynologie, de dater précisément les formations tertiaires de la partie orientale du massif du Païkon et celles de la région proche d'Edessa. On leur doit notamment la création et la révision de certaines cartes géologiques grâce à de nombreux relevés de terrain effectués entre 1958 et 1965, puis complétés par de nouvelles observations effectuées en 1971 par J.L. Mercier, accompagné cette fois-ci par J. Vergély (1975 ; carte géologique I.G.M.E. d'Edessa au 1 / 50 000^{e}, 1984).

Sous l'impulsion de P. Birot et après une rapide visite de ce dernier en 1965 durant laquelle il revisita les problèmes portant sur la morphologie de la Macédoine, L. Faugères entreprit en 1964 sous sa direction une thèse d'Etat qu'il achèvera dix ans plus tard. Ses *Recherches géomorphologiques en Grèce septentrionale* publiées en 1978 ont permis de faire la synthèse sur la genèse des reliefs de Macédoine centrale aux ères Secondaire, Tertiaire et Quaternaire et de préciser la morphologie des terrains. Ce travail constitue toujours une référence incontournable. Cependant, même s'il aborde la formation géologique de la plaine

centrale, il ne détaille pas son évolution holocène et ne précise pas le rôle des variations eustatiques et des effets de la néo-tectonique sur la subsidence.

Au milieu des années 1960, G. Marinos (1964, Marinos *et al.*, 1970) livre une interprétation des formations géologiques de la presqu'île de Kassandra grâce à une revue détaillée des dépôts pléistocènes.

Pour sa part, J. H. Brunn (1973) renseigne de manière détaillée la genèse des roches vertes (ophiolites) du Vermion et permet, grâce à de nombreux relevés de terrain, de livrer des connaissances solides sur l'évolution géologique dans la région de Veria (carte géologique I.G.M.E. de Veria au 1 / 50 000^{e}, 1982).

Les travaux de G. Syrides (1990), complétant chronologiquement ceux de G. Marinos évoqués précédemment, portent sur l'origine des dépôts néogènes de la péninsule de Chalcidique et ont permis, grâce à des études paléontologiques (identification de la malacofaune d'origine marine) d'affiner la chronologie des dépôts d'âge Miocène. Ces recherches ont également favorisé la compréhension, à une échelle géographique plus large, de la nature des dépôts dans la région de Thessalonique et de la partie aval de la vallée de l'Axios.

Au début des années 1990, les monographies régionales laissent progressivement la place, dans la littérature, aux études portant sur la géologie du Quaternaire. Dans ce domaine, les travaux fondamentaux de J. Méladiotis (1984, 1993a, 1993b) portant sur l'épaisseur des dépôts quaternaires au centre de la plaine et sur la subsidence d'origine tectonique et anthropique (conséquences des activités de pompage dans les aquifères), permettent de livrer de précieux renseignements sur la nature des sédiments. A ce sujet, les travaux de la compagnie néerlandaise d'aménagement du territoire, la NEDECO, fondés sur l'analyse sédimentologique très précise d'environ deux cents sondages d'une douzaine de mètres de profondeur, permettent de constater que les formations superficielles de la plaine de Macédoine centrale ont des origines diverses. Des phases d'apport de sédiments marins et continentaux se sont ainsi succédé, sans toutefois être datées.

Au début des années 2000, des recherches ont été menées par S. Stiros pour tenter de déterminer les causes et les conséquences de la subsidence (2001) dans la région de Kalochorion. Plus récemment ces travaux ont été complétés à l'échelle de la plaine et des mesures précises, effectuées grâce à une campagne de relevés D.G.P.S. (Psimoulis *et al.*, 2007), ont permis de quantifier les taux de subsidence.

1.2.1. Histoire géologique de la Macédoine centrale

La plus grande partie du secteur d'études fait partie de la zone du Vardar (Aubouin *et al.*, 1960, 1960-1963 ; Faugères, 1978), en référence au fleuve qui parcourt la plaine du nord au sud. Elle est délimitée à l'ouest par la zone Pélagonienne et à l'est par le massif serbo-macédonien (figure 11).

Les ères Secondaire et Tertiaire correspondent à la mise en place du relief, alors que le Quaternaire est une période marquée par l'alluvionnement des cours d'eau et le remplissage de la zone centrale, fortement déprimée.

J.L. Mercier (1960, 1963) a montré au cours de ses nombreux travaux que la zone du Vardar pouvait être subdivisée en trois entités (figure 12) :

- La zone Almopienne, située entre la zone pélagonienne et celle du Païkon, correspond à une série de nappes séparées les unes des autres par un faisceau de failles chevauchantes parallèles selon une direction méridienne.
- La zone Péonienne se localise entre le fleuve Axios et les monts du Païkon et englobe aussi une partie de la Piérie.
- La zone du Païkon correspond au massif éponyme.

Les formations géologiques qui constituent la plaine de Thessalonique et ses marges (figures 11, 13 et carte géologique hors texte) datent du primaire à l'est de la dépression, du Secondaire dans les massifs du Vermion et du Païkon occidental à l'ouest, du Tertiaire dans les régions méridionale et septentrionale bordant la plaine. Au centre, la vaste dépression est occupée par des formations tertiaires (5 110 m d'épaisseur aux environs de Koryfi, NEDECO, 1970) surmontés par des dépôts quaternaires dont la puissance dépasse 150 m dans la région de Giannitsa (Méladiotis, 1993a).

1.2.1.1. Les principales phases d'orogenèse

a) Ere secondaire : mise en place des massifs montagneux

Deux phases majeures d'orogenèse peuvent être clairement identifiées au Secondaire, au Jurassique supérieur – Crétacé inférieur et pendant le Crétacé supérieur. Elles sont accompagnées d'une importante activité tectonique qui a contribué à soulever les massifs rocheux du Vermion et du Païkon, tandis qu'une vaste zone subsidente se mettait en place au Tertiaire dans la partie centrale (NEDECO, 1970).

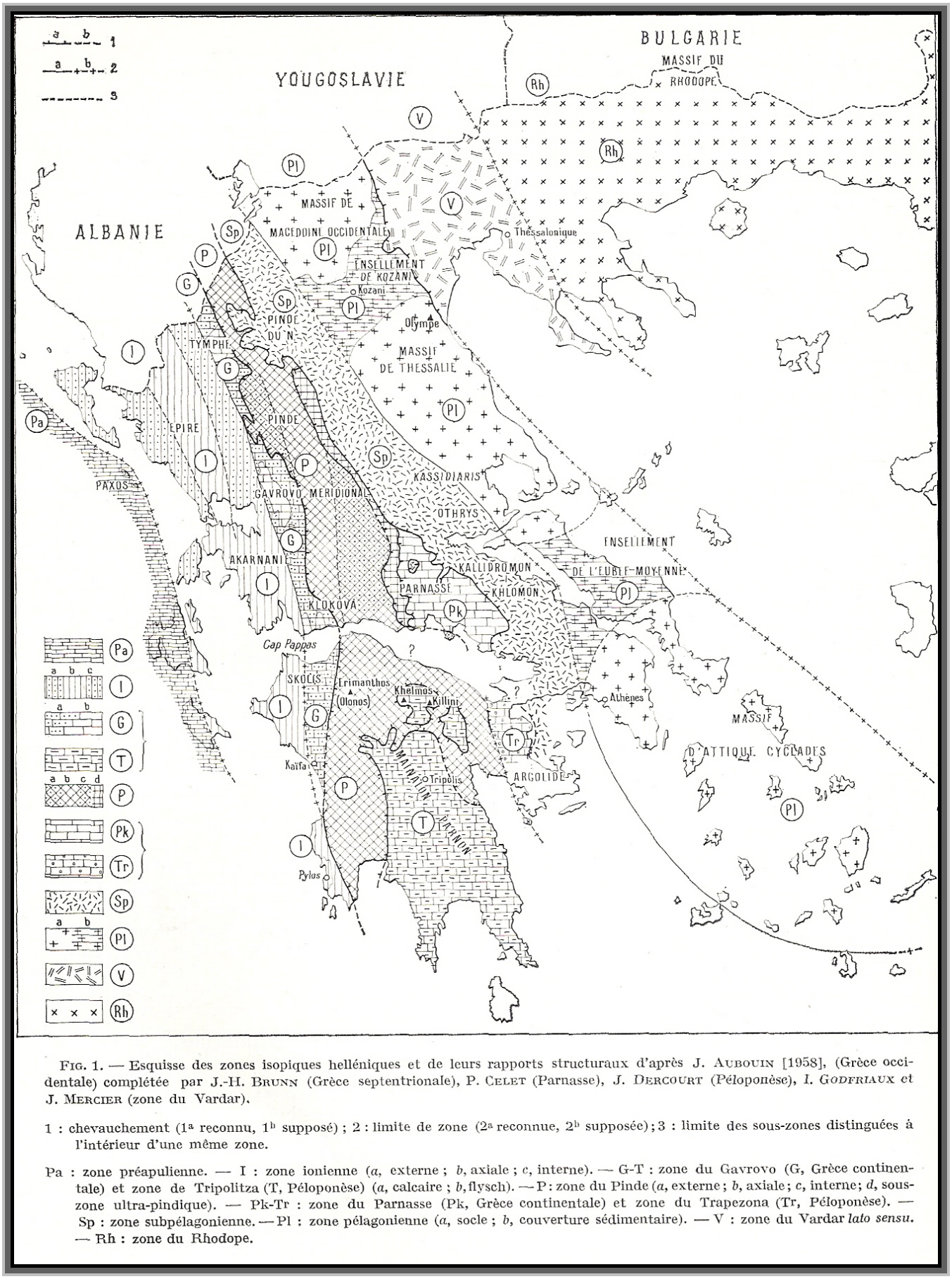


FIG. 1. — Esquisse des zones isopiques helléniques et de leurs rapports structuraux d'après J. AUBOUIN [1958], (Grèce occidentale) complétée par J.-H. BRUNN (Grèce septentrionale), P. CELET (Parnasse), J. DERCOURT (Péloponèse), I. GODFRIAUX et J. MERCIER (zone du Vardar).

1 : chevauchement (1ª reconnu, 1ᵇ supposé) ; 2 : limite de zone (2ª reconnue, 2ᵇ supposée) ; 3 : limite des sous-zones distinguées à l'intérieur d'une même zone.

Pa : zone préapulienne. — I : zone ionienne (*a*, externe ; *b*, axiale ; *c*, interne). — G-T : zone du Gavrovo (G, Grèce continentale) et zone de Tripolitza (T, Péloponèse) (*a*, calcaire ; *b*, flysch). — P : zone du Pinde (*a*, externe ; *b*, axiale ; *c*, interne ; *d*, sous-zone ultra-pindique). — Pk-Tr : zone du Parnasse (Pk, Grèce continentale) et zone du Trapezona (Tr, Péloponèse). — Sp : zone subpélagonienne. — Pl : zone pélagonienne (*a*, socle ; *b*, couverture sédimentaire). — V : zone du Vardar *lato sensu*. — Rh : zone du Rhodope.

Figure 11 : Esquisse des zones structurales de la Grèce (Aubouin *et al.*, 1960)

Figure 12 : Carte structurale de la Macédoine centrale (NEDECO, 1970)

b) Ere tertiaire : création d'un fossé d'effondrement qui correspond à l'actuelle plaine

L'activité tectonique intense observée pendant le Miocène se matérialise par le rejeu de nombreuses failles bordières qui ont progressivement entraîné la subsidence de la zone centrale du bassin (Dinter & Royden, 1993). Les résultats des études géophysiques contenues dans la thèse de L. Faugères (1978) montrent des variations importantes du substratum rocheux au sein de la plaine dans le secteur de Kleidion (Klidi) et de Giannitsa (figure 13).

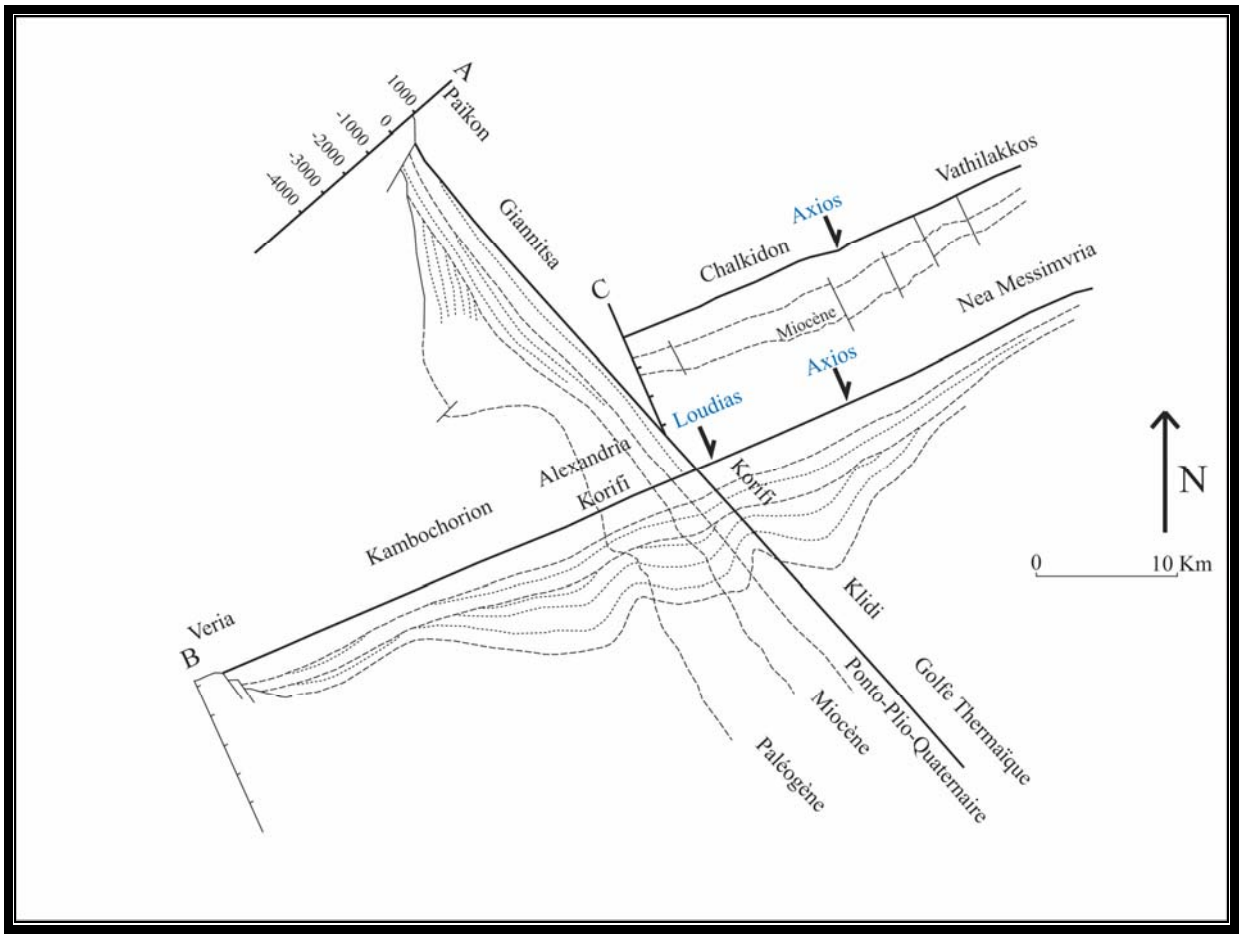


Figure 13 : Profils sismiques de la plaine de Macédoine centrale (d'après Faugères, 1978)

L'histoire tertiaire de la plaine de Thessalonique est caractérisée par une subsidence continue, générée par le mouvement de failles bordières et auto-entretenue par une sédimentation considérable et ininterrompue. Cette dernière est marquée par une phase de sédimentation marine à l'Eocène supérieur – Oligocène inférieur. Au Miocène et jusqu'au Quaternaire, des sédiments d'origine continentale recouvrent les dépôts marins. L'épaisseur totale des sédiments atteint 4 288 m à Klidi (NEDECO, 1970, I.F.P., 1966 ; 1967a ; 1967b).

Dans le secteur de Nea Agathoupolis, un affleurement rocheux en proie à l'érosion marine permet d'observer ces dépôts conglomératiques (photo 18).

Photo 18 : Affleurement de roches miocènes dans le secteur de Nea Agathoupolis

Au sud de la ville actuelle de Nea Agathoupolis, le long du littoral, il est possible d'observer un recul important de la falaise. L'action érosive des vagues sur des roches friables permet de mettre en évidence des différences pétrographiques (en marron des argiles lacustres et en blanc des sables-graviers fluviatiles d'âge Miocène)

Au Pliocène supérieur, un épisode de volcanisme actif est attesté dans les monts du Voras et provoque l'épanchement de roches de type trachytes-andésites dans le nord-ouest de la plaine, le long de lignes de faille très actives.

A la fin du Tertiaire et au début du Quaternaire, on assiste à l'érosion intense des formations crétacées des massifs du Vermion et du Païkon toujours en voie de surrection. Cette érosion est particulièrement observable dans les vallées de l'Aliakmon et de l'Axios, mais la plus impressionnante reste celle du Gramos, où le cours d'eau est encaissé de plusieurs centaines de mètres.

c) *Ere quaternaire : une morphogenèse influencée par les variations eustatiques et la néotectonique*

La subsidence du bassin se poursuit au cours du Quaternaire et les alternances de périodes glaciaires et interglaciaires (effets induits sur le niveau de la Méditerranée) ont sensiblement modifié la morphologie de la plaine et des marges des grands massifs montagneux.

Les transgressions et régressions marines ont fait alterner dépôts marins et continentaux, alors que dans le même temps s'édifient des cônes de déjection au pied des versants abrupts faisant face à la plaine de Thessalonique, au cours du Pléistocène et de l'Holocène. A ce jour, aucune étude n'a été menée sur la géométrie et « l'emboîtement » de ces structures d'âge Quaternaire : il est donc bien difficile de dater précisément ces formes et d'en donner les limites précises. Seuls des indices topographiques, tels que de légères ruptures de pente, nous indiquent un emboîtement de cônes et des indices morphologiques, tels que l'incision du réseau hydrographique dans ces formations meubles, permettent d'attester leur présence.

La géométrie de ces cônes de déjection est également conditionnée par la tectonique tout au long du Quaternaire. Les évènements sismiques enregistrés au cours de l'époque historique à l'échelle du bassin méditerranéen (Pirazzoli, 1986) indiquent une activité tectonique intense (Papazachos & Kiratzi, 1996), il semble même que Pella fut partiellement détruite au I^{er} siècle av. J.-C. par un tremblement de terre (Stiros & Pirazzoli, 1995 ; Stiros, 1998, 2006). La plaine de Macédoine centrale est affectée de façon récurrente par des séismes importants, ceux de 1978 et de 1995 ayant été à ce sujet largement étudiés et leur origine abondamment détaillée (Mountrakis *et al.*, 1998 ; Tranos *et al.*, 2003). Les conséquences sur le profil des cours d'eau mais aussi sur les variations du niveau de base sont évidentes.

Ere – période géologique	**Lithologie représentative**	**Activité tectonique et phases d'orogenèse**
Quaternaire	Alluvions indifférenciées de la plaine, cônes d'épandage, travertins,	Subsidence continue de la plaine de Thessalonique
Pliocène (Pontien)	Dépôts lacustres et continentaux faiblement consolidés	Eruptions de roches trachytes-andésites dans les monts du Voras
Miocène	Sables peu consolidés	Tectonique peu active
Eocène supérieur - Oligocène inférieur	Transgression marine du Lutétien. Dépôts marins et formation de grès dans la dépression centrale	Formation de la dépression correspondant à l'actuelle plaine
Crétacé supérieur	Erosion des roches crétacées des massifs du Vermion et du Païkon (brèches), Flysch	Phase majeure d'orogenèse accompagnée de métamorphisme régional
Crétacé moyen	Calcaires d'âge Crétacé et phyllites dans les massifs du Vermion et du Païkon	
Crétacé inférieur	Flysch de la partie septentrionale du Païkon	Phase majeure d'orogenèse avec métamorphisme régional
Trias – Jurassique	Marbres du Trias – Jurassique de la zone pélagonienne	Extrusion des ophiolites d'âge Jurassique
Primaire	Schistes et gneiss de la région de Thessalonique (Chortiatis)	

Tableau 2 : Phases d'orogenèse et lithologie représentative des roches constituant la plaine de Thessalonique et ses marges (NEDECO, 1970)

1.2.1.2. Les unités géologiques majeures

a) La fin de la série pélagonienne dans la partie centrale du massif du Vermion

Vers l'intérieur du Vermion, de nombreux flyschs fortement tectonisés et légèrement métamorphisés (présence de schistes), incorporent d'innombrables « copeaux » de calcaires crétacés de taille hectométrique. Ces flyschs reposent directement sur des marbres datés du Trias par l'intermédiaire d'un plan de glissement jalonné de lambeaux de serpentines (Faugères, 1978).

Au sud de la ville de Naoussa, les ophiolites sont largement dominantes.

b) La nappe du Haut Vermion

Cette unité lithologique, abaissée en direction de la plaine de Macédoine centrale, est particulièrement complexe en raison du rejeu violent de nombreuses failles parallèles de direction méridienne. L'essentiel des roches est constitué par des conglomérats stratifiés présentant un pendage variable.

c) Les travertins des avants-monts du Vermion

- Localisation et morphologie

Lorsqu'on arrive dans le massif du Vermion, de grands replats de couleur claire, sur lesquels ont été bâties les villes de Veria, de Naoussa, de Flamouria et d'Edessa, peuvent être observés. Ces plateaux sont en fait des travertins qui ont atteint un développement impressionnant. L. Faugères (1978) a porté une attention particulière à la période de genèse de ces formations composées essentiellement de carbonates et a discuté l'impact de l'alternance des périodes de stades et d'interstades des glaciations et interglaciaires pendant le Quaternaire.

L'origine hydrothermale exclusive doit être ici écartée, car les températures des eaux de sources karstiques du système de Veria varient entre 0°C en hiver et + 12,5°C en été pour les sources les plus stables (Faugères, 1978).

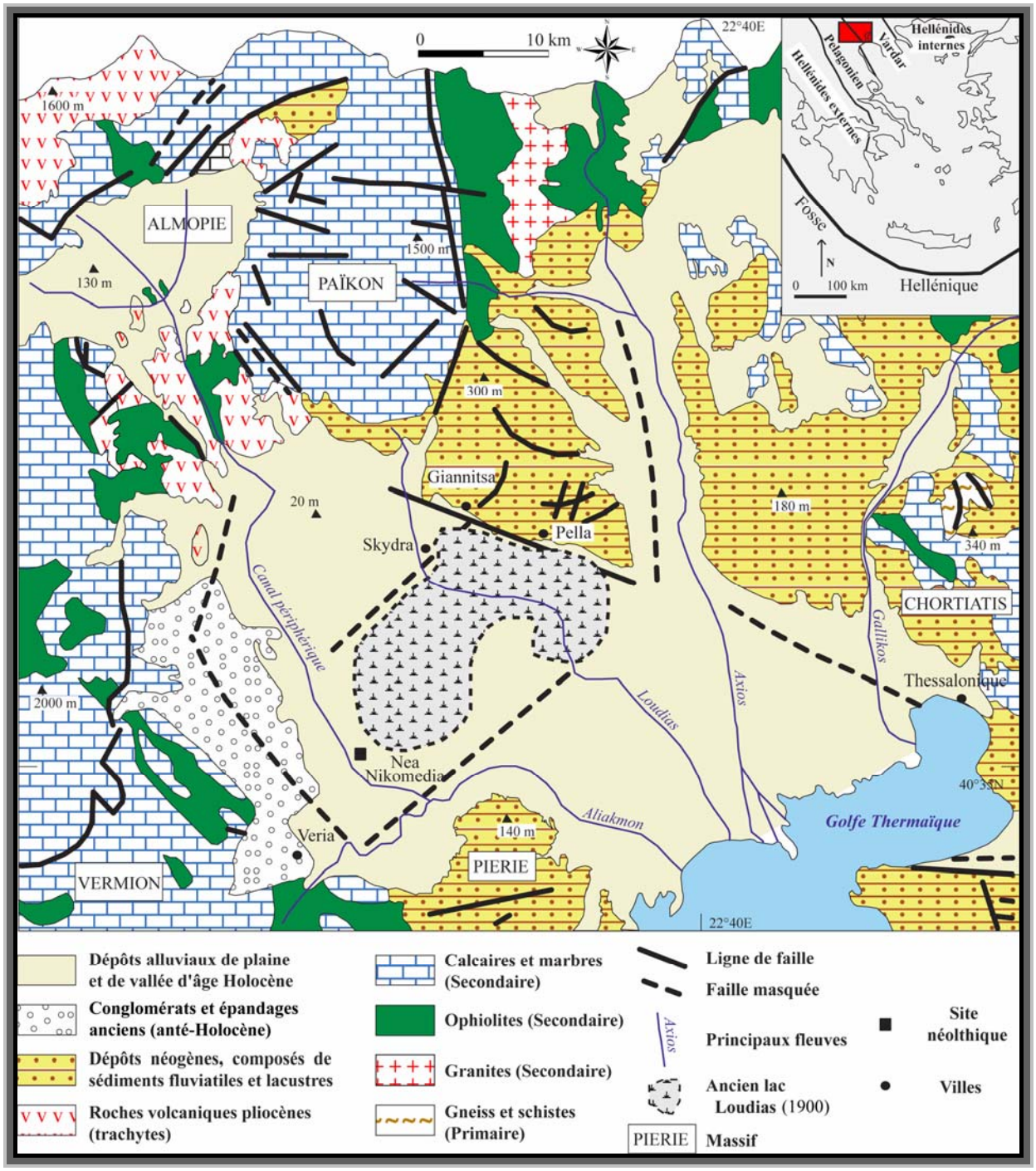


Figure 14 : Carte géologique simplifiée de la Macédoine centrale (d'après Astaras & Sotiriadis, 1988)

La présence de plusieurs ruptures de pente (dont l'origine tectonique ne fait aucun doute), associée à un écoulement tourbillonnaire des eaux issues des massifs environnants (contenant des roches carbonatées de type calcaire), est responsable de la formation de ces terrasses travertineuses. L'épaisseur de ces plateaux reste indéterminée, mais elle peut

localement atteindre la centaine de mètres dans la région de Veria. La présence de ces travertins est directement liée à la présence de résurgences d'eau souterraine. Les eaux contiennent en plus d'une grande charge de carbonates, des quantités importantes de magnésium et de sulfates (Faugères, 1978). Ainsi les eaux de la rivière Tripotamos, qui s'écoulent juste au nord de Veria, présentent-t-elle des teneurs en calcium de 50 à 70 mg/l en moyenne, de 15 à 30 mg/l pour le magnésium et des valeurs supérieures à celles du calcium pour les sulfates (prélèvements effectuées en 1969-1970 par L. Faugères).

L'étude de ces concrétions carbonatées révèle l'absence totale de pendage ; il y est impossible de déterminer de manière précise différentes phases de formation. La flore pétrifiée est assez commune et on y retrouve notamment des espèces hydrophiles telles que des roseaux (photo 19) et un nombre impressionnant de tiges (de Vaumas, 1967). Cette roche présente une porosité importante, les vides sont nombreux.

- Une formation essentiellement attestée pendant les périodes d'interstades

La littérature abondante présentant les périodes de formation des travertins s'accorde pour considérer que des interstades pluvieux à températures estivales élevées ont favorisé l'accrétion de ces dépôts. Il serait hasardeux de vouloir généraliser à l'ensemble du bassin méditerranéen ou du continent européen les phases maximales de développement des travertins car les conditions climatiques et parfois microclimatiques locales peuvent localement accélérer ou ralentir les processus d'élaboration des formations carbonatées.

J. Sauvage (Sauvage & Mercier, 1967), a particulièrement étudié le secteur de Naoussa et sa région. Grâce à des études palynologiques ponctuelles, l'auteur a pu distinguer trois niveaux de concrétions bien distincts et marqués topographiquement, alors que la NEDECO (1970), pour sa part, en distingue six. La morphologie ainsi que la dégradation des surfaces et des escarpements permettent d'attribuer leur édification à différentes périodes du Quaternaire. La ville de Naoussa semble se situer sur un plateau intermédiaire, à une altitude oscillant entre 340 et 370 m d'altitude. Les analyses palynologiques révèlent la présence d'espèces se développant tout particulièrement pendant les périodes interglaciaires. On retrouve parmi les différentes espèces, certains arbres typiques des milieux tempérés tels que *Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*, *Fagus*, *Alnus* et *Corylus*.

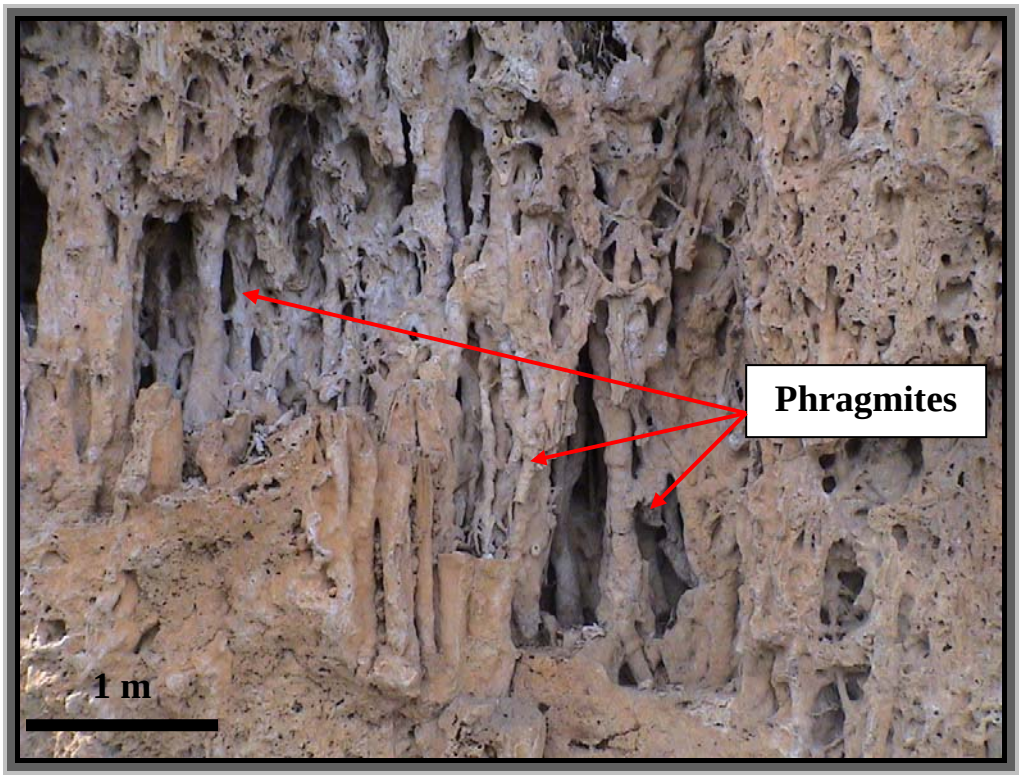


Photo 19 : Travertins de Mieza (photo prise sur le site archéologique)

La végétation pétrifiée qui constitue les travertins de Mieza se compose de tiges de roseau. On retrouve également de nombreuses feuilles d'espèces caducifoliées. Le Nymphaeum d'Aristote est un habitat troglodyte et l'architecture des bâtiments indiquent un travail importante du Poros.

d) Les formations volcano-détritiques du secteur nord-ouest de la plaine (région au nord de Profitis Ilias), au sud-ouest du massif du Païkon

Au nord-ouest de la plaine de Macédoine centrale, s'écoule la rivière Mavrotopos dont le cours décrit des méandres à travers la plaine d'Aridéa avant de prendre une direction NW-SE et de serpenter à travers de petites collines au sommet arrondis. L'altitude de ces dernières n'excède que très rarement les 300 m et sont constituées de matériel volcano-détritique s'échelonnant du Miocène supérieur (I.F.P., 1967a) au Pliocène supérieur (Mercier et Sauvage, 1963 ; 1966). Leur origine est à mettre en relation directe avec la surrection des massifs montagneux environnants accompagnée d'une tectonique et d'un volcanisme actif des monts du Voras (massif ceinturant au nord la plaine d'Aridéa). Cette dernière correspondrait vraisemblablement à la vidange puis à l'effondrement de la partie méridionale de la chambre magmatique localisée sous les monts du Voras à la suite d'une puissante poussée magmatique (Faugères, 1978).

La notice de la carte géologique de Veria nous renseigne précisément sur les différents empilements sédimentaires de ces formations volcano-détritiques (Bijon, 1982 ; carte I.G.M.E. d'Edessa au 1 / 50 000^{e}) :

- Un niveau A superficiel. On retrouve des tufs chaotiques de type « nuées ardentes ». Ce sont des blocs de taille très hétérométrique englobés dans une matrice de cinérites sableuses, produit de l'altération de cendres. On les observe très bien à proximité de la localité de Profitis Ilias où l'incision du réseau hydrographique a dégagé, par le jeu de l'érosion différentielle, de nombreux blocs.

- En dessous de ces blocs, on trouve un niveau B constitué par des formations volcano-détritiques dont l'épaisseur atteint 40 m environ. Leur origine est probablement lacustre. Dans la région de Lakka, au sud du Païkon, des conglomérats à galets de trachytes-calcaires lacustres d'âge Pontien affleurent (Faugères, 1978).

- Le troisième niveau, le niveau C, est caractérisé par la présence de cendres de couleur blanche.

Des datations obtenues grâce à la technique du K/Ar ont permis de préciser l'âge de ces formations (Mercier et Sauvage, 1963 ; 1966). Dans les monts du Voras, les cinérites des niveaux B et C contiennent une flore à *Pinus sylvestris* (prédominant) et *Pinus haploxylon* datée de 2,65 ± 0,15 et 4 ± 0,2 millions d'années. Ces formations doivent donc être rattachées au Pliocène supérieur – Miocène supérieur.

e) Le Païkon et son piémont méridional

Le Païkon est caractérisé par deux hautes crêtes méridiennes dont les altitudes atteignent respectivement 1450 et 1650 m. Elles sont séparées par les gorges vertigineuses de la rivière Gramos. La géologie du massif du Païkon est de nouveau bien étudiée par L. Faugères (1978) et J. Vergély (Vergély & Mercier, 2000). Il s'agit d'un anticlinal dont le versant occidental est conforme au basculement vers l'ouest de la puissante série des calcaires dolomitiques (identiques à ceux constituant le massif de l'Olympe) du Crétacé moyen-supérieur.

Au nord de la ville d'Edessa et de la rivière Vodas, trois unités lithologiques et morphologiques se succèdent d'ouest en est. Les formations volcano-détritiques du nord-ouest de la plaine, qui se prolongent dans le bassin de l'Almopie, succèdent aux longues écailles calcaires de direction méridienne du rebord oriental du Vermion, dans le secteur de Nea Zoï. Viennent ensuite plus à l'est les roches calcaires de la partie orientale du massif du Païkon qui

laissent brusquement leur place à des formations miocènes, annonçant ainsi la transition avec la chaîne du Chortiatis à l'est de la plaine (et de la ville de Thessalonique). Le contact entre ces deux unités est marqué par la présence d'un impressionnant escarpement de faille dont le commandement atteint quelques centaines de mètres. La transition vers le sud avec la plaine centrale est dissymétrique entre le versant ouest, où un système de cônes d'épandage d'âges variés assure une pente réglée, et le versant est où un système de collines s'abaissant vers le sud-est limite l'extension de la plaine vers le nord.

- Le versant occidental du Païkon

La crête occidentale correspond à un crêt de forte énergie formé de calcaires d'âge Crétacé. La vallée du Gramos, dont l'encaissement atteint au maximum 800 m, peut être localement considérée comme une combe de grande ampleur en raison de l'incision rapide du cours d'eau dans les roches calcaires. La rivière prend une direction NNW-SSE, sa direction étant déterminée par un faisceau de failles de même direction.

- Le versant oriental du Païkon

Les recherches de J.L. Mercier (1960, 1963) dans ce secteur nous renseignent sur la nature exacte des dépôts. Les formations détritiques et bio-clastiques du Miocène supérieur : brèches, conglomérats, sables, argiles, lentilles calcaires, calcaires lacustres. Les études palynologiques menées par J.L. Mercier et S. Sauvage (1963, 1966) ont d'ailleurs permis de reconstituer localement la flore et de livrer une interprétation paléo climatique précise.

Cette unité lithologique est particulièrement sensible à l'érosion où les nombreux affluents de l'Axios ont entaillé le substratum en suivant la direction générale d'abaissement du relief, du NW au SE.

- Le piémont méridional du Païkon

Les villes de Palaios et de Neos Mylotopos sont bâties sur un cône de déjection dont le profil est bien réglé et la pente douce. On note simplement une légère rupture de pente qui traduit un étagement des formations d'origine détritique. Les matériaux qui composent cet emboîtement de cônes sont constitués de blocs émoussés et anguleux pris dans une matrice sablo-graveleuse. Le sommet de cette forme polyphasée se situe près du village

d'Achladochorion (alt. 67 m), tandis que la base se situe aux environs de Gypsochorion (alt. 17 m) ; la distance séparant ces deux localités est de 6 km environ.

A l'est, entre les villes de Giannitsa et de Pella, on retrouve un système de cônes de déjection à l'aval des nombreux cours d'eau en provenance du Païkon. Sur la composition colorée de l'image satellitaire LANDSAT TM (figure 15), la morphologie du secteur est parfaitement révélée et les cônes de déjection évoqués précédemment, observables.

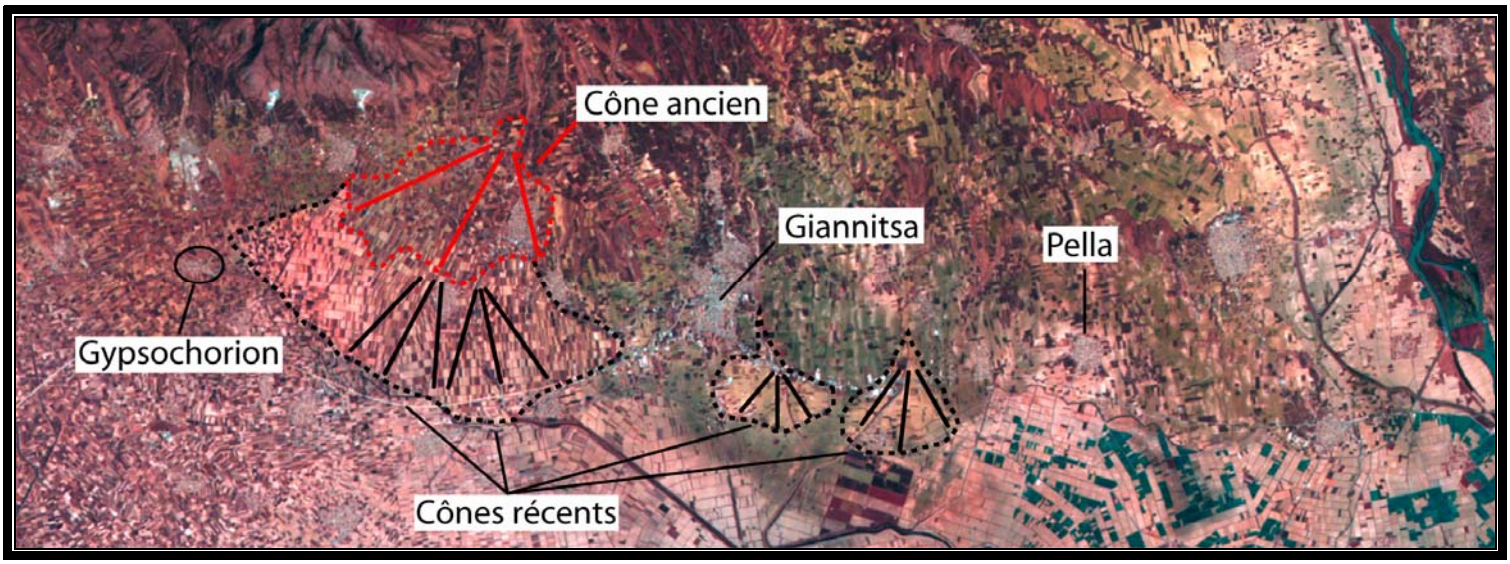


Figure 15 : Bordure méridionale du massif du Païkon (LANDSAT TM, composition colorée, bandes spectrales 2, 3, 5)

f) La chaîne du Chortiatis

Il s'agit d'une crête allongée suivant une direction NW-SE dont le point culminant dépasse très légèrement les 1200 m. Les altitudes s'abaissent progressivement en direction du NW à partir du fleuve Gallikos jusqu'à la vallée de l'Axios.

Ce massif rocheux très compact limite à l'est notre secteur d'études et assure la transition avec les massifs serbo-macédonien et du Rhodope plus vers l'est. Les roches qui composent le Chortiatis sont de nature et d'âge bien différents. On retrouve au centre, des gneiss de l'ère primaire enserrés par des schistes, des marbres, des calcaires et des ophiolites datés du Secondaire.

g) Les collines de Piérie et la région de piémont

Au sud de la plaine, le massif de Piérie, constitué dans sa partie centrale et orientale de dépôts d'âge Miocène, assure la continuité vers le sud des formations déposées dans le bassin de l'Axios au moment du début de sa subsidence. Nous ne reviendrons pas sur la nature lithologique évoquée précédemment, où dépôts fluvio-torrentiels alternent avec des dépôts fluvio-lacustres. Quelques failles perpendiculaires au trait de côte actuel sont signalées sur la carte géologique au 1 / 50 000^{e} de Katerini et sont visibles dans le paysage, notamment dans le secteur situé au nord du site archéologique de Methoni.

La transition entre le massif de la Piérie et la plaine est assurée dans la partie occidentale par la présence de nombreux cônes de déjection quaternaires impossible à dater précisément. La topographie et la nature des matériaux permettent cependant de révéler un emboîtement de cônes alluviaux dans le secteur de Vergina (figure 16, photo 20). Le site archéologique principal comprenant le théâtre antique, la tombe de Philippe II et des centaines d'autres tombes, installé sur une racine d'un cône d'épandage ancien, date peut être du Quaternaire ancien. A l'aval de ce dernier, on trouve un épandage plus récent, en pente plus douce.

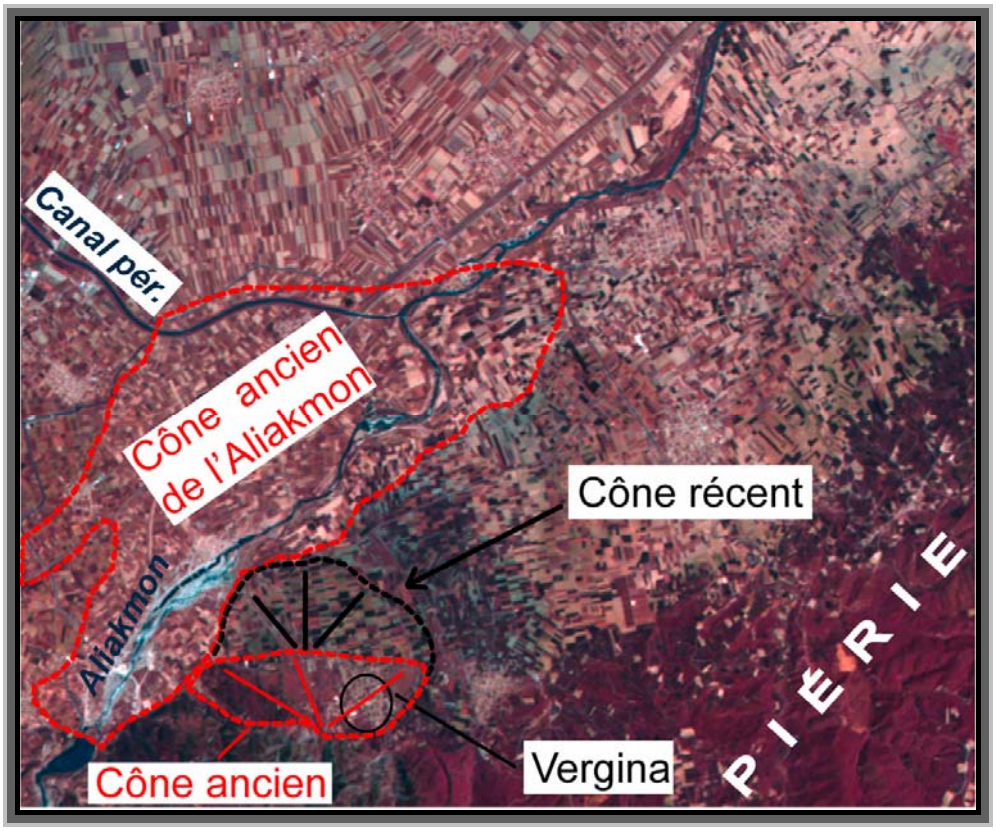


Figure 16 : Bordure septentrionale du massif de Piérie (LANDSAT TM, composition colorée, bandes spectrales 2, 3, 5)

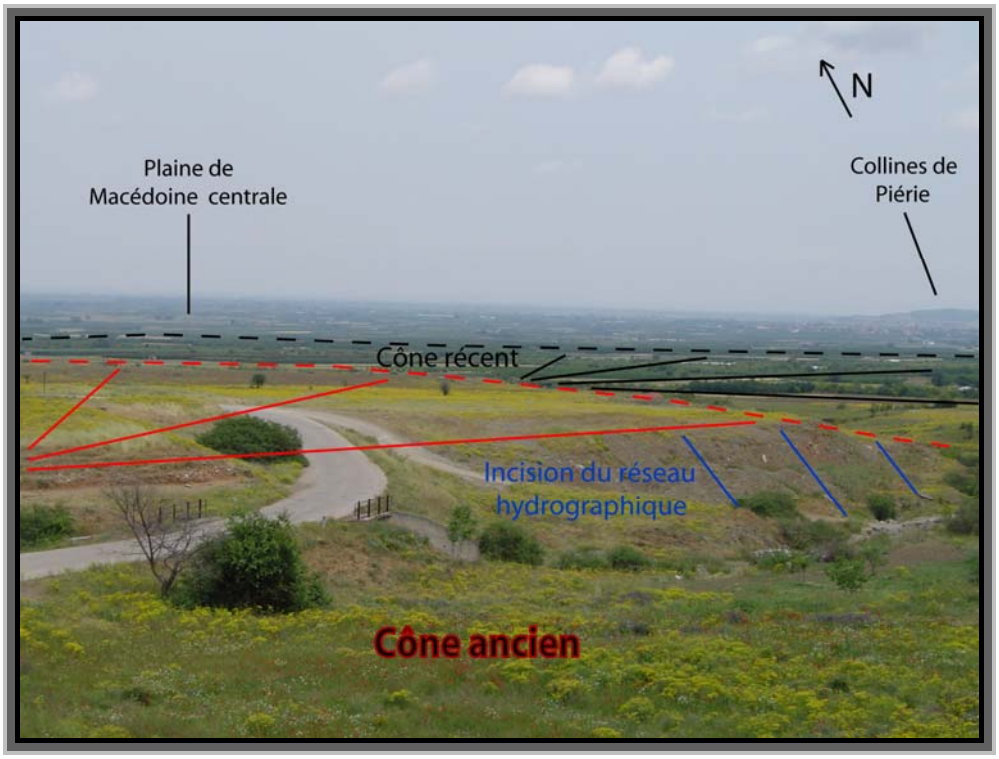


Photo 20 : Etagement de cônes alluviaux au pied de la ville de Vergina

Le tombeau de Philippe II, mis au jour par M. Andronikos en 1977, est installé sur la racine d'un cône de déjection. Les dépôts qui recouvrent le bâtiment ont une puissance de plusieurs mètres

1.2.2. Etude des formations superficielles de la plaine de Macédoine centrale

1.2.2.1. Etude menée par la NEDECO

En 1970, la compagnie hollandaise d'aménagement du territoire NEDECO entreprit une étude complète des formations superficielles de la plaine de Macédoine centrale.

200 sondages légers, d'une profondeur maximale de 12 m, ont été répartis de façon homogène dans un périmètre s'étendant entre les villes de Pella et de Chalkidon au nord, le fleuve Loudias à l'ouest, l'autoroute Athènes – Thessalonique au sud-ouest, la partie terminale du delta de l'Axios au sud-est et la ville de Sindos à l'est (figure 22, p.102). Les résultats présentant des analyses sédimentologiques qui prennent notamment en compte la granulométrie, la teneur en carbonates et la malacofaune, ont permis de reconstituer différents paléo-environnements.

Les objectifs de l'étude étaient pédologiques et agronomiques (identification d'aquifères dans le sous sol) ; la détermination de la nature des sols en fonction de leur salinité et de leur alcalinité ont permis par la suite de préciser des zones adaptées à certaines pratiques agricoles.

Les principaux résultats permettent de révéler la stratigraphie complète de la première dizaine de mètres des sédiments de la plaine.

Afin de pouvoir comparer les stratigraphies simplifiées (Vol.C, NEDECO, 1970), cinq transects ont été établis suivant deux directions principales (figure 22, p.102) :

- les transects 1, 3 et 5 ont une direction généralement NW-SE : les transects 1 (20 km) et 3 (10 km) concernent le secteur s'étendant entre Pella au nord et Trikala au sud. Le transect 5 (7 km) a été défini dans la région comprise entre les fleuves Axios et Gallikos, depuis la ville de Chalastra au nord vers le trait de côte actuel.
- Les transects 2 et 4 ont une direction W-E et se situent dans le secteur de Pella (transect 2) et au sud de la ville de Chalastra, dans la partie distale du delta de l'Axios (transect 4).

1.2.2.2. Etablissement de transects fondé sur l'étude des sondages effectués par la NEDECO

a) Secteur entre les fleuves Axios et Gallikos, aux environs de Pella

Le transect 1 (figure 17) qui comporte 5 sondages (E544, E547, E542, E531, E644) d'une profondeur maximale de 10 m, révèle la présence du substrat rocheux dans deux sondages (E544, E547), ainsi que différents niveaux sédimentaires.

La présence d'une première unité, qui correspond à des dépôts marins situés au-dessus du substrat rocheux, est attestée dans un sondage (E547) à une profondeur de 4,50 m par rapport à la surface et de + 1,00 m au-dessus du niveau moyen actuel de la mer. Une phase de sédimentation marine est également attestée dans deux autres sondages (E542 et E531) car ces dépôts à texture limoneuse recèlent une malacofaune d'origine marine. Les espèces identifiées sont en grande majorité bivalves de type *Cardium edule* (Vol.C, NEDECO, 1970).

La deuxième unité est caractérisée par une sédimentation de type lagunaire, relativement peu épaisse, de 50 à 130 cm (E542, E547). La faune est relativement pauvre, essentiellement composée de quelques gastéropodes marins et de mollusques terrestres.

Immédiatement au-dessus, la troisième unité sédimentaire est caractérisée par des sédiments lacustres. On les retrouve dans trois sondages (E542, E544, E547) et leur épaisseur est peu importante (70 à 100 cm). Les analyses granulométriques révèlent la prédominance de longues séquences argileuses.

La quatrième unité d'origine fluviatile est relativement épaisse (de 150 à 650 cm) et est observée dans les cinq sondages. Le sondage E542 présente l'épaisseur la plus importante, environ 6,50 m. Le matériel est caractérisé par une alternance de sables et de limons pauvres en matière organique.

La cinquième phase de dépôt, sub-actuelle, est caractérisée par une sédimentation de marge lacustre que l'on la retrouve dans les cinq sondages. Les sédiments ont une texture argilo-limoneuse.

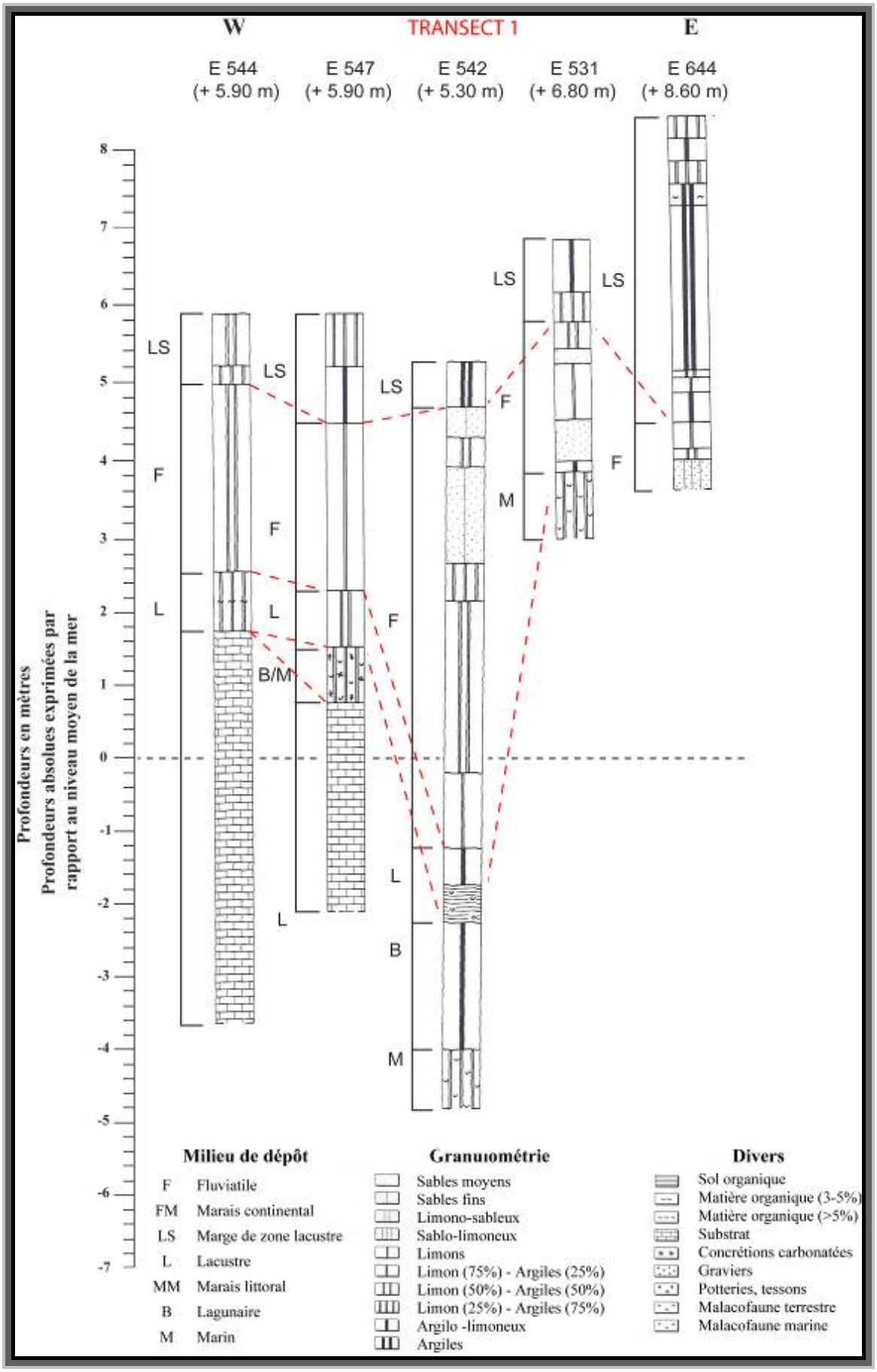


Figure 17 : Transect 1 (sondages E544, E547, E542, E531, E644)

Le transect 2 (figure 18), parallèle au piémont du Païkon oriental, entre les villes de Pella et de Chalkidon, présente les mêmes caractéristiques que le transect 1 pour les différentes phases de dépôt. Cependant, les sondages n'atteignent pas le substrat rocheux.

La première unité sédimentaire est composée de dépôts marins, dans lesquels la présence d'une malacofaune d'origine marine confirme ce qui a été dit précédemment. L'épaisseur de cette strate sédimentaire est relativement fine. Elle ne dépasse pas un mètre d'épaisseur. Les espèces *Cardium edule* et *Cerastoderma edule* sont identifiées en grande majorité. La granulométrie révèle la présence d'argiles et de limons moyens.

La deuxième unité sédimentaire, présente dans un sondage uniquement (E565), est constituée de dépôts lagunaires. Son épaisseur est de 120 cm environ et est essentiellement composée de limons, et comme pour les sondages E542 et E545, la malacofaune recensée est peu abondante et peu variée.

La troisième unité est constituée de des dépôts lacustres dont on retrouve la présence dans 4 sondages (E749, E549, E565, E744). L'épaisseur varie entre 150 et 300 cm et décroît progressivement d'ouest en est. La granulométrie indique la présence d'argiles en large majorité, des passages limoneux étant également enregistrés. La transition avec l'unité marine est généralement caractérisée par des dépôts de matière organique (E549) dont l'épaisseur n'excède pas 50 cm.

L'épaisseur de la quatrième unité, la plus puissante, observée dans les 5 sondages (de 350 à 750 cm), augmente progressivement de l'ouest vers l'est (augmentation proportionnelle à la baisse simultanée de l'épaisseur des dépôts lacustres). La granulométrie, typique d'un apport fluviatile, présente des alternances de passages sableux (les plus importants) et limoneux (de fines couches ne dépassant pas les 20 cm).

La cinquième et dernière unité, présente dans seulement deux sondages (E749, E565), indique la présence de sédiments caractéristiques d'une marge lacustre, dans la partie occidentale du transect seulement. Les dépôts sont assez peu épais, environ 80 cm au maximum et sont constitués d'argiles.

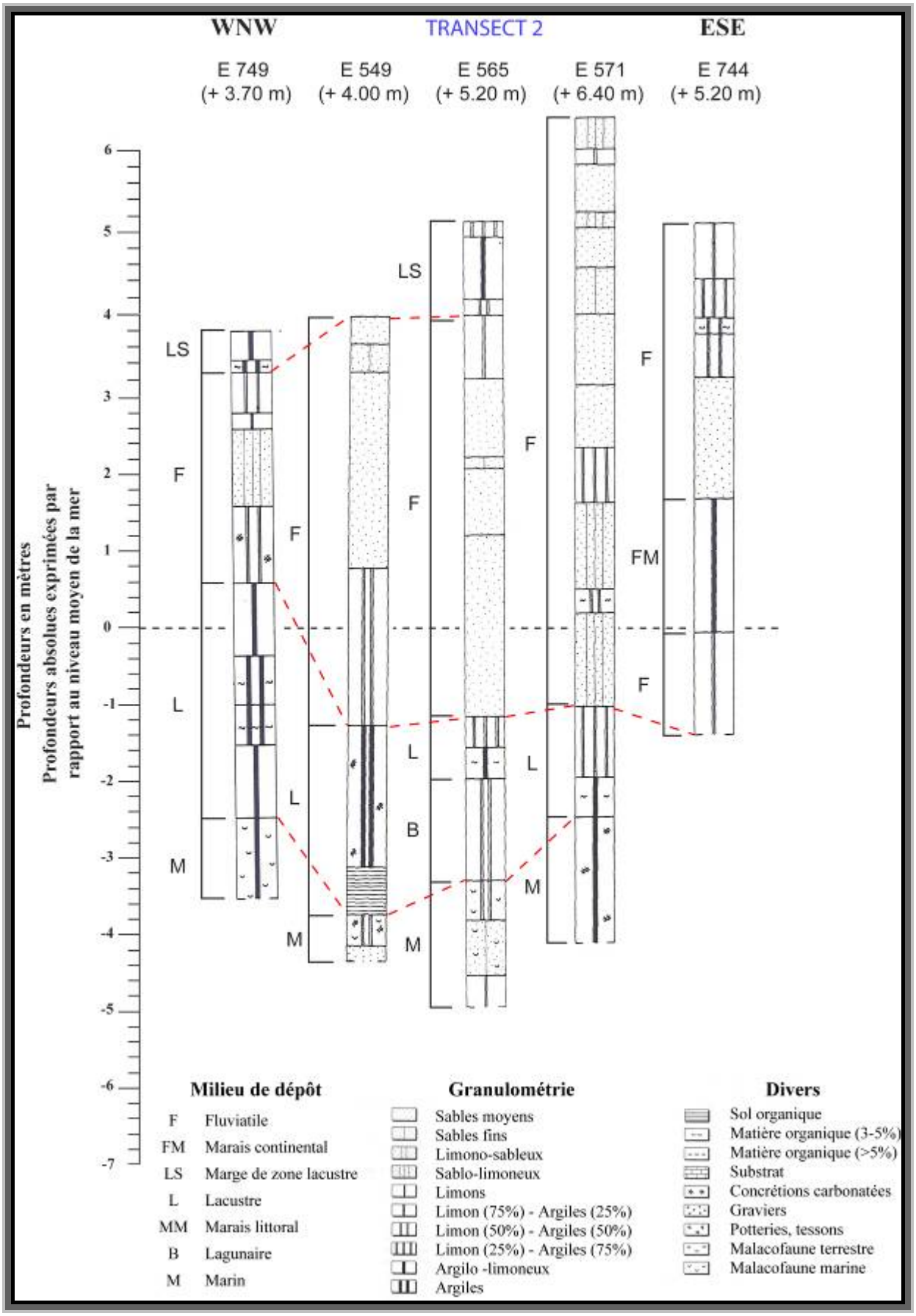


Figure 18 : Transect 2 (sondages E749, E549, E565, E571, E744)

Le transect 3 (figure 19) est orienté NNW-SSE, entre Pella au nord et Trikala au sud.

L'analyse stratigraphique des cinq sondages confirme la présence d'un niveau marin dans leur partie inférieure. Les différents milieux de vie et unités sédimentaires décrits précédemment se retrouvent suivant la même disposition.

L'unité marine est présente dans les sondages E545, E569 et E630. L'épaisseur des dépôts n'excède pas 150 cm. Les sondages ne permettent pas d'obtenir l'épaisseur totale des sédiments marins. La granulométrie est identique aux précédents résultats obtenus dans les sondages des transects 1 et 2 : les argiles et limons fins sont les fractions prédominantes. La malacofaune identifiée confirme de nouveau l'abondance des bivalves de type *Cardium edule* et *Cerastoderma edule*.

L'unité sédimentaire, reposant sur les sédiments d'origine marine, est formée de dépôts lagunaires dont l'épaisseur est d'environ 100 cm. Ils sont constitués de limons moyens qui contiennent une grande quantité de bivalves dans le seul sondage E569.

La troisième unité sédimentaire présente dans les cinq sondages du transect est constituée de dépôts lacustres. L'épaisseur de la séquence sédimentaire augmente progressivement du nord vers le sud, passant de 120 cm (E545) à 400 cm (E630). Les dépôts sont essentiellement argileux et recèlent des lentilles de matière organique ainsi que de concrétions calcaires (E545, E569, E630). La présence de ces concrétions carbonatées atteste d'un environnement de sédimentation calme.

La quatrième unité sédimentaire, également identifiée dans les sondages des transects précédemment étudiés, est caractéristique d'une sédimentation fluviatile. Les dépôts se caractérisent par l'alternance de niveaux argileux, limoneux et sableux. L'épaisseur de cette unité diminue du nord vers le sud entre les sondages E545 et E630, passant progressivement de 600 à 100 cm. Le sondage E676 révèle la présence de 600 cm de dépôts fluviatiles essentiellement sableux, surmontés d'un niveau argilo-limoneux.

La cinquième et dernière unité sédimentaire est composée de sédiments présentant une texture relativement fine (argiles-limons) et dont l'épaisseur n'excède pas 100 cm : Ils correspondent à des dépôts de marge de lac ou de marais (niveaux de matière organique) et seuls les sondages E545, E674 et E630 révèlent leur présence.

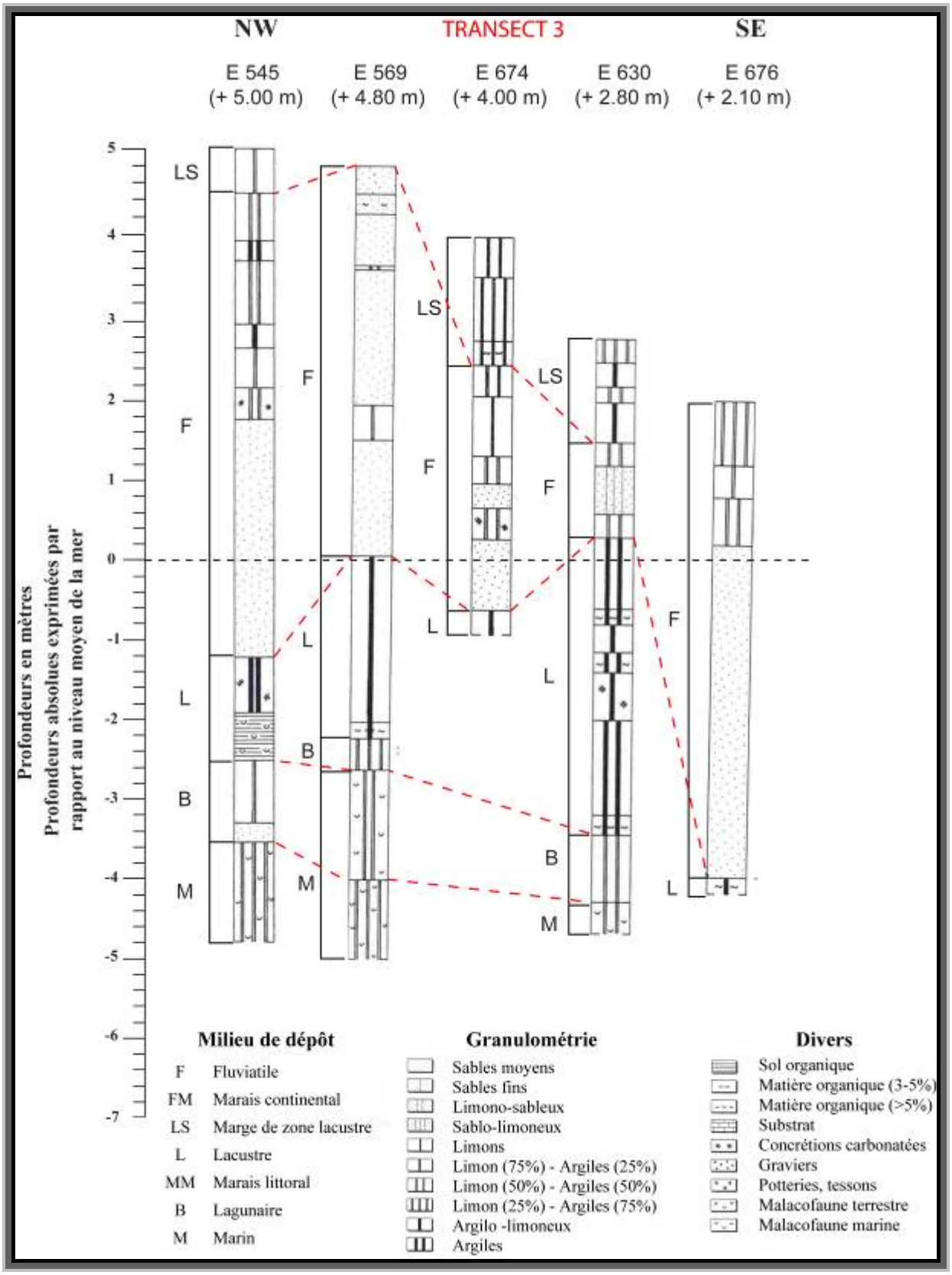


Figure 19 : Transect 3 (sondages E545, E569, E674, E630, E676)

b) Secteur entre l'Axios et le Gallikos, au sud de Chalastra

Le transect 4 (figure 20), de direction W-E révèle de nouveau la succession de plusieurs unités sédimentaires présentant les mêmes caractéristiques que les précédents transects.

La première unité sédimentaire correspond à un niveau marin (sondages E625, E686, E725). L'épaisseur des dépôts varie de 40 à 200 cm d'ouest en est. La présence de bivalves de type *Cardium edule* confirme les observations déjà effectuées pour les précédents sondages. La granulométrie indique une texture argilo-limoneuse.

La seconde unité, uniquement reconnue dans le sondage E686, est caractérisée par la présence de dépôts lagunaires dont la texture présente des variations significatives de granulométrie. La base de l'unité est constituée de particules argileuses tandis que la partie supérieure est dominée par la présence de sables et de limons moyens. La malacofaune est assez pauvre et les espèces identifiées sont typiques d'environnements calmes.

La troisième unité sédimentaire est constituée de dépôts de marais continental dont la granulométrie indique la prédominance de particules argilo-limoneuses. L'identification d'une malacofaune d'origine continentale permet donc de confirmer la présence d'une zone de marais.

La quatrième unité, sub-actuelle, correspond à une phase de sédimentation fluviatile dont l'épaisseur oscille entre 200 et 400 cm. Seul un sondage (E686) n'atteste pas la présence de cette séquence sédimentaire. La texture présente des variations granulométriques importantes. Des phases de dépôts sableux prédominent dans la partie inférieure de l'unité (E625, E761), tandis que les dépôts limoneux prédominent dans la partie supérieure de l'unité, constituant la surface actuelle. Le sondage E761 révèle une épaisseur de sédiments d'origine fluviatile largement supérieure à celle des deux autres sondages situés plus à l'ouest (E623, E625). Trois séquences sableuses d'une épaisseur variant entre 20 et 60 cm alternent avec des séquences plus fines.

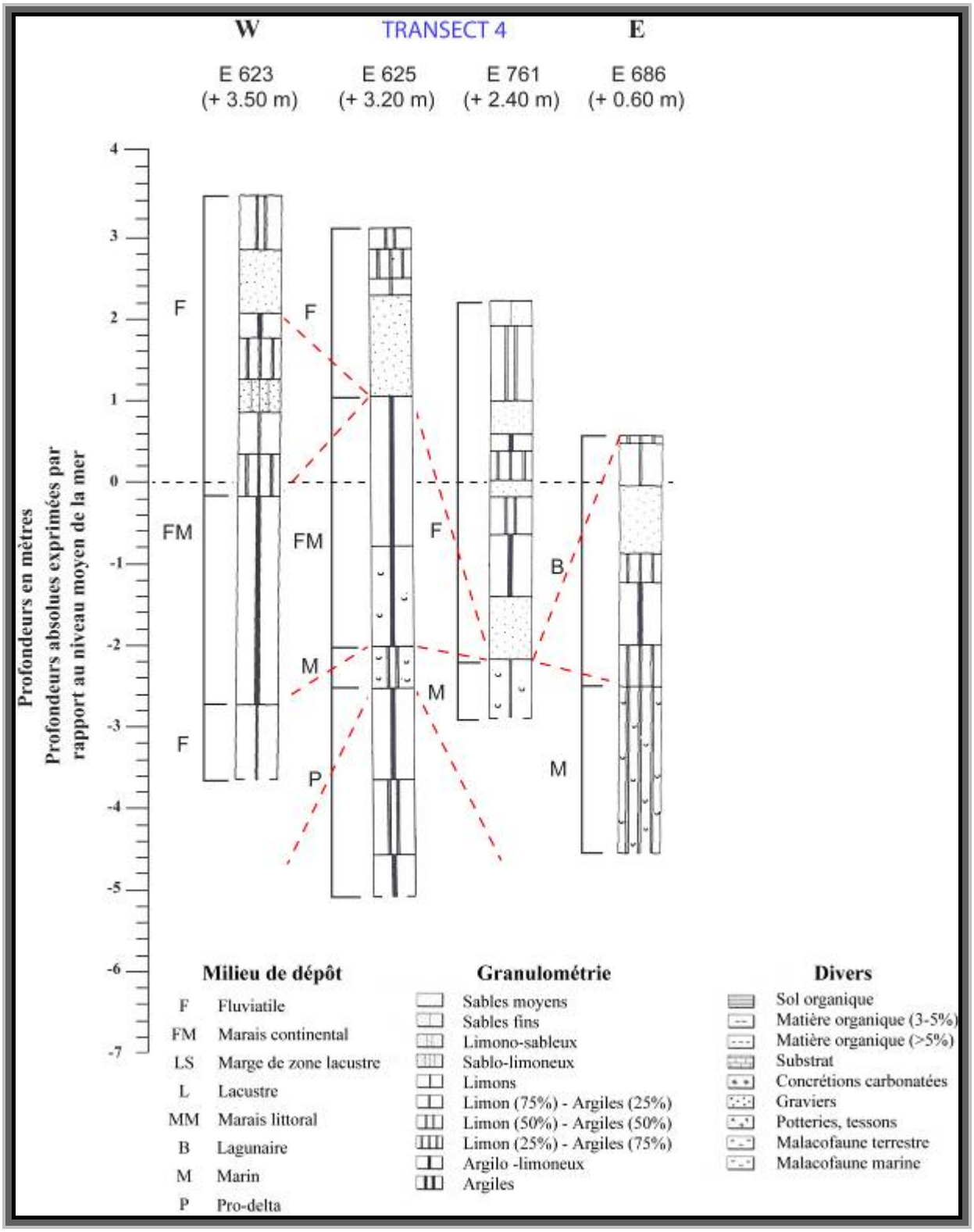


Figure 20 : Transect 4 (sondages E623, E625, E761, E686)

Le transect 5 (figure 21), de direction NW-SE qui comprend les sondages E625, E619, E622, E683 va de la ville de Chalastra au trait de côte actuel.

L'analyse stratigraphique révèle la présence de plusieurs unités sédimentaires d'origine marine et continentale.

La première unité sédimentaire correspond à la partie inférieure des sondages E625 et E683. Il s'agit de dépôts de pro-delta formés d'argiles (E625) et de sables (E683). Aucune information n'est par ailleurs donnée sur la présence d'une malacofaune. Cette unité atteint une épaisseur de 200 cm dans le sondage E625 où les sédiments argileux alternent avec des limons.

La seconde unité sédimentaire est à l'évidence formée de sédiments marins. L'ensemble des sondages atteste de ce niveau marin, même si les épaisseurs varient sensiblement du nord-ouest vers le sud-est, avec environ 40 cm de sédiments pour E625 et 400 cm pour E683. La malacofaune identifiée dans les quatre sondages met de nouveau en évidence l'omniprésence de bivalves de type *Cardium edule*.

La troisième unité, uniquement présente dans les sondages E625 et E619, correspond à des dépôts de marais continental dont les caractéristiques granulométriques sont identiques à celles décrites pour le transect 4, il s'agit essentiellement d'argiles.

La quatrième unité sédimentaire, uniquement identifiée dans les sondages E625, E619 et E622, est constituée de sédiments d'origine fluviatile. L'épaisseur de cette unité est peu importante comparativement aux transects 1 à 4, ne dépassant pas 300 cm. La granulométrie est similaire à celle précédemment évoquée pour le transect 4. Des alternances de séquences sableuses et limoneuses (stratifications entrecroisées) caractérisent ces dépôts fluviatiles. Le sondage E619 révèle toutefois la présence d'une phase de sédimentation fluviatile s'intercalant entre les dépôts marins et ceux de marais continental, attestant probablement le passage d'un ancien chenal.

La cinquième unité sédimentaire, seulement reconnue dans le sondage E683, est formée de dépôts de marais littoral. La faible épaisseur des dépôts, environ 50 cm, atteste une sédimentation récente. La texture est caractérisée par des argiles dans la partie inférieure de l'unité et par des limons dans la surface sub-actuelle.

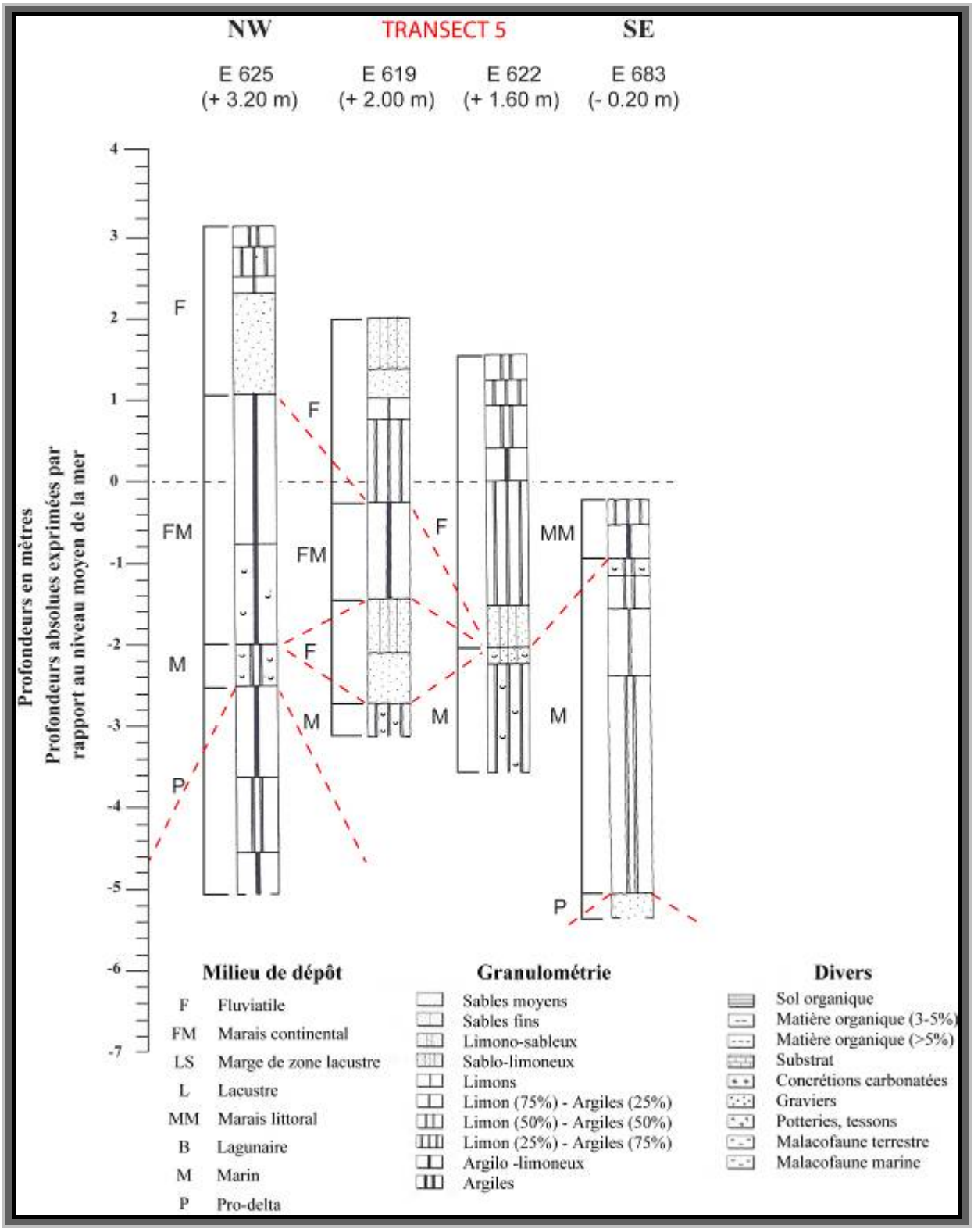


Figure 21 : Transect 5 (sondages E625, E619, E622, E683)

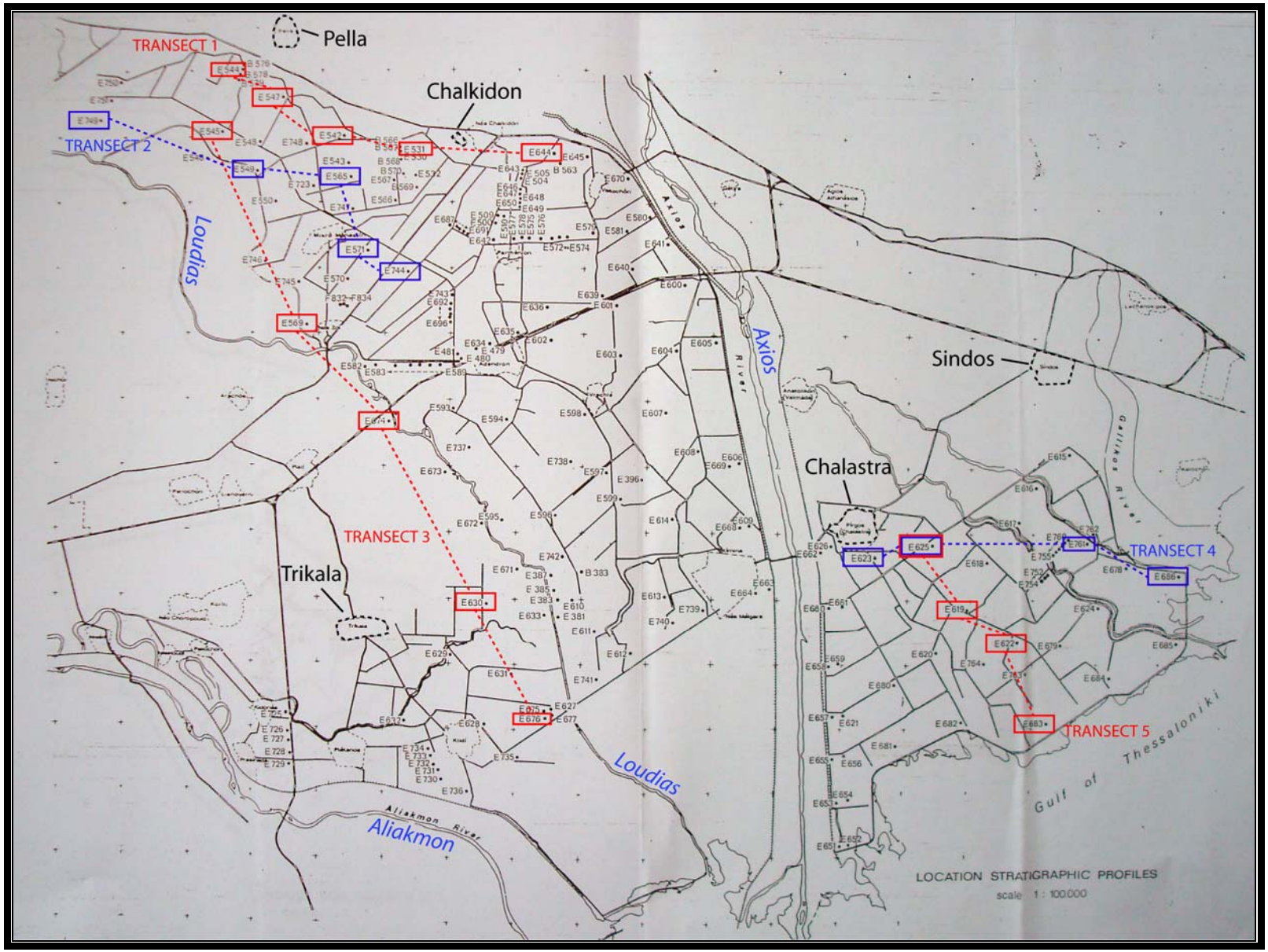


Figure 22 : Localisation des sondages effectués par la NEDECO et des transects établis

1.2.2.3. Interprétation régionale des phases successives de sédimentation : mise en évidence d'un mécanisme de progradation deltaïque

Les différentes phases de sédimentation ayant permis l'édification de la plaine de Thessalonique peuvent être classées selon leur mode de dépôt et la malacofaune identifiée, en accord avec les transects précédemment décrits. A ce titre, des phases de sédimentation marine, lagunaire, lacustre et fluviatile peuvent être retenues. Il faut également nuancer chaque phase précédemment évoquée en invoquant les variations de salinité qui peuvent localement modifier la composition chimique des sols et la diversité malacologique des milieux.

a) Une importante sédimentation d'origine marine puis lagunaire à la base des profils stratigraphiques

Les sondages effectués par la NEDECO et les transects établis dans ce travail révèlent la présence d'un vaste golfe marin peu profond sous les dépôts de l'actuelle plaine de Macédoine centrale. Les études sédimentologiques révèlent une forte proportion de particules argileuses et limoneuses, riches en coquilles. Les espèces les plus abondantes sont des bivalves de type *Cardium edule* ou *Cerastoderma edule*.

L'extension marine peut être proposée et synthétisée sur la figure 23. Elle englobe un secteur qui s'étend depuis les villes de Pella et de Giannitsa, au nord jusqu'à celles de Trikala et de Kleidion vers le sud. Vers l'ouest, il semble que l'extension marine arrive à proximité de la ville de Kria Vrysi, des dépôts lacustres y surmontent des dépôts d'origine marine. Cependant, la NEDECO n'a entrepris aucun sondage dans le secteur occidental de la plaine : il s'agit donc plus d'une interprétation que d'une évidence basée sur des résultats stratigraphiques et des identifications malacologiques. Les sédiments marins sont moins épais à proximité du trait de côte actuel. Dans le secteur de Pella, le sondage E542 du transect 1 indique la présence du niveau marin à 9.30 m de profondeur. En raison de l'importante épaisseur des dépôts, il n'a été possible que d'identifier la partie supérieure de la séquence marine. Les sondages E545 et E 569 du transect 3 révèlent également la profondeur importante à laquelle la série marine est identifiée : 8.00 m par rapport à la surface.

Les sondages du transect 5 révèlent tous une submersion d'origine marine et permettent de constater que l'épaisseur de sédiments recouvrant les dépôts marins tend à

diminuer à mesure que l'on se rapproche du trait de côte. Ainsi, on passe de 6.00 m pour E625, à 5.00 m pour E619, à 4.00 m pour E622 et à peine 1.00 m pour E683.

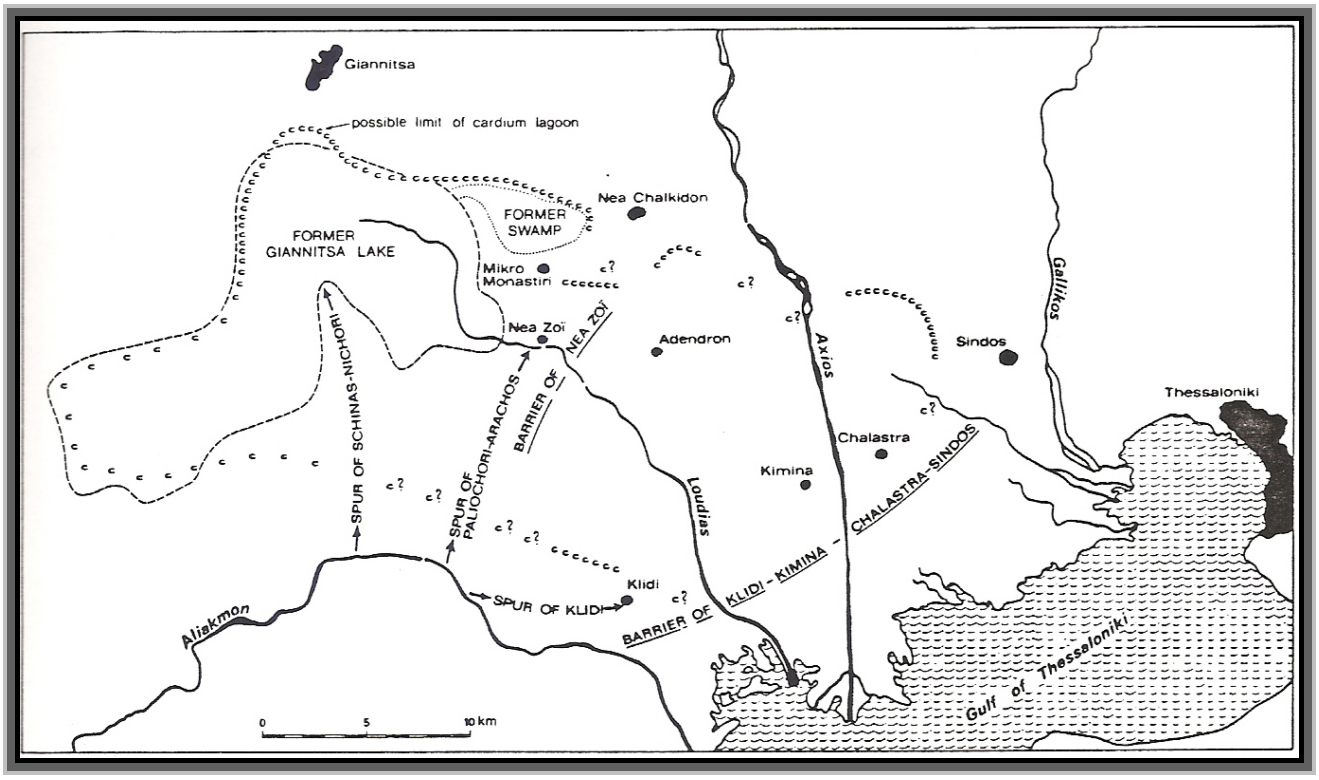


Figure 23 : Eléments pour comprendre l'histoire sédimentaire de la plaine de Macédoine centrale

La partie supérieure des séquences marines est caractérisée par une baisse conséquente de la salinité (NEDECO, 1970) et un stade lagunaire s'installe progressivement grâce à des apports sédimentaires d'origine continentale. Les identifications malacologiques suggèrent la présence de bivalves de type *Cardium edule*. La granulométrie indique des variations dans la taille des particules, les argiles alternant fréquemment avec les limons et les sables fins.

Il est possible d'envisager que les lagunes aient été partiellement fermées par des cordons littoraux édifiés par d'anciens chenaux, de l'Aliakmon en particulier. Au moins quatre cordons littoraux sont distingués d'après les études de la NEDECO (figure 23) :

- la barrière de Schinas-Nichori, à l'est,
- la barrière de Palaichori-Arachos au centre de la plaine,
- la barrière de Klidi au sud,
- la barrière de Klidi-Kimina-Chalastra-Sindos qui relie la Piérie au massif du Chortiatis, ceinturant ainsi la partie occidentale du golfe Thermaïque.

Le manque de datations absolues empêchent la reconstitution précise de l'espace et limite les interprétations spatiales.

b) Une phase de transition : un stade lagunaire

Les apports sédimentaires des fleuves dans les lagunes contribuent à faire baisser considérablement le taux de salinité des eaux, provoquant ainsi un appauvrissement de la malacofaune. Des horizons riches en matière organique indiquent la présence d'une végétation aquatique en milieu saumâtre. Les études menées par la NEDECO montrent que l'épaisseur des dépôts lagunaires est relativement peu importante et assure seulement la transition entre sédiments marins et continentaux.

c) Un stade lacustre attesté dans les parties occidentale et centrale de la plaine

Les transects 1 à 3 révèlent une phase lacustre dont l'épaisseur des dépôts peut atteindre localement 3.00m pour le sondage E749, mais ne dépasse pas en moyenne 1.00 m à 1.50 m au pied de la ville de Pella.

La granulométrie varie peu et révèle l'alternance d'argiles et d'argiles limoneuses. La malacofaune est typique des milieux lacustres car on y retrouve en majorité des gastéropodes de type *Helicidae sp.*

d) Une sédimentation fluviatile mise en évidence au sommet des sondages

Au sommet des sondages, des sédiments fluviatiles reposent directement sur des sédiments lacustres. L'épaisseur varie sensiblement au sein de la plaine. Les transects 1 à 3, situés dans la partie septentrionale soulignent des épaisseurs qui oscillent entre 1.00 m pour le sondage E630 (transect 3) à 7.50 m pour le sondage E 571 (transect 2). La sédimentologie montre l'alternance d'importantes séries sableuses avec de brefs passages limoneux ou limono-sableux. La malacofaune est rare et non précisée par la NEDECO (1970).

L'observation des profils stratigraphiques révèle une augmentation sensible des dépôts de l'ouest vers l'est au sein de la plaine : plus les sondages sont proches du tracé actuel de l'Axios et plus les dépôts fluviatiles sont épais. Le transect 2 illustre parfaitement cette remarque : l'épaisseur passe de 2.50 m pour le sondage E749, puis à 5.50 pour E549 et à 6.25 m pour E565 et enfin 7.50 pour E571. Il est fort probable que l'alluvionnement du fleuve Axios a fortement influencé le secteur, mais, en l'absence d'études minéralogiques, il est impossible d'en déduire la provenance des matériaux. La NEDECO (1970) indique qu'il s'agit d'un ancien delta formé par l'Axios. Cependant, les aménagements dont il a été fait état

plus haut ont quelque peu aplani les paléochenaux ; seule la topographie et les analyses sédimentologiques permettent d'avancer cette hypothèse.

A l'inverse, du nord vers le sud, on constate une progressive diminution des dépôts fluviatiles. Le transect 3 permet d'illustrer le propos : l'épaisseur passe de 5.50 m pour le sondage E545, puis à 4.75 pour E569 et à 3.00 m pour E674 et enfin 1.00 pour E630. Seul le sondage le plus méridional E676 atteste de dépôts fluviatiles épais de 6.00 m.

e) Des marais récents attestés dans le secteur de Pella

Dans le secteur de Pella, les transects 1 à 3 révèlent un épisode lacustre ou de marais peu profond. L'extension spatiale est de moindre importance que celle relevée pour la phase de sédimentation lacustre précédemment évoquée. L'épaisseur des dépôts est généralement inférieure à 1.00 m pour les sondages E531, E542, E544, E547 du transect 1, pour les sondages E565 et E749 du transect 2, pour les sondages E630 et E674 du transect 3. Enfin, seul le sondage E644 du transect 1 indique une épaisseur d'environ 2.50m.

Les analyses granulométriques indiquent l'alternance de sédiments argileux et limoneux.

Les données de la NEDECO confirment les études menées par J. Méladiotis (1984, 1993a) sur la stratigraphie superficielle de la plaine avec la présence sur les dix premiers mètres de dépôts liés à la remontée générale du niveau marin en Méditerranée. L'épaisseur totale de la séquence holocène avoisine les 45 mètres. La sédimentation très intense des cours d'eau au cours des derniers millénaires dans le contexte sud balkanique est un fait incontestable (Fouache, 1999 & 2003 ; Lespez, 1999). Cependant, la tectonique active de la région et l'épaisseur importante des dépôts holocènes en particulier, laisse entrevoir un phénomène de subsidence assez répandu dans les secteurs deltaïques (Van Straten, 1964).

1.2.3. Etude de la subsidence actuelle de la plaine de Macédoine centrale

1.2.3.1. Un phénomène mis en évidence pour la première fois dans les années 1980 – 1990

Les premiers travaux, fondés sur des études stratigraphiques (NEDECO, 1970 ; Palasis, 1972-1973) et géophysiques (Méladiotis, 1984, 1993a), mettent en évidence l'affaissement de la plaine de Macédoine. Une étude particulière du secteur localisé entre les fleuves Axios et Gallikos a donc permis de préciser l'épaisseur des dépôts quaternaires récents. La structure sédimentaire du delta de l'Axios a révélé une subsidence importante dans le secteur septentrional de la plaine, dans la région de Giannitsa – Sindos.

a) Utilisation de forages d'exploration pétrolière

Au milieu des années 1980, des prospections pétrolières sont menées dans la plaine de Macédoine centrale. Les résultats d'analyses granulométriques, pétrographiques, morphoscopiques et géochimiques de matériaux provenant de deux forages d'exploration G1 et G2 (figure 24), effectués dans la partie septentrionale de la plaine, permettent de conclure que les 100 premiers mètres analysés doivent être rattachés au Quaternaire.

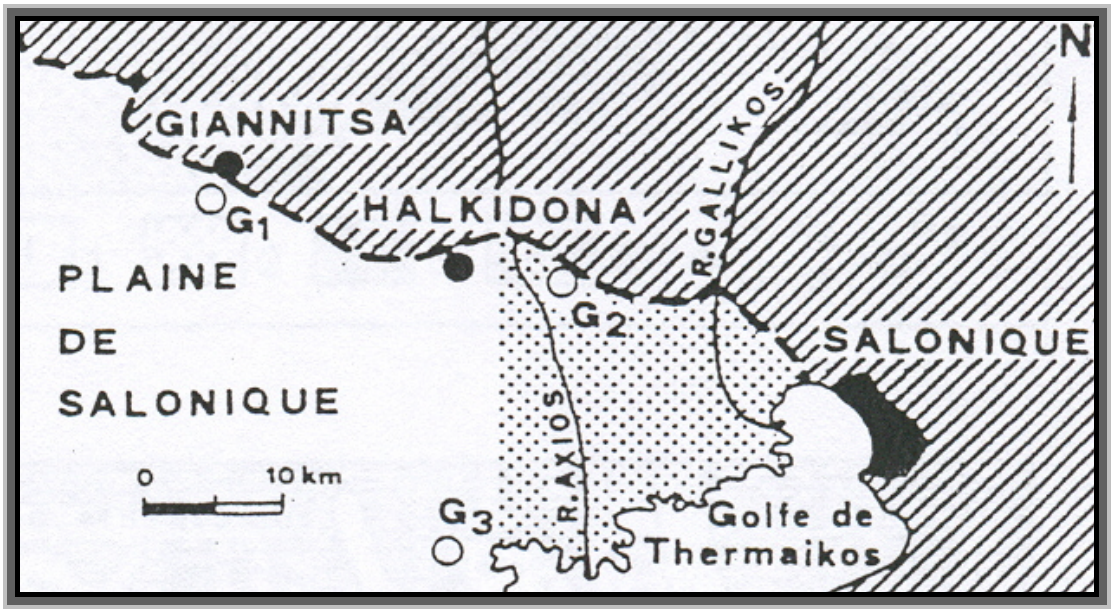


Figure 24 : Localisation des forages d'exploration pétrolière (Méladiotis, 1993a)

J. Méladiotis, dans ses recherches (1984 ; 1993a), considère que la partie supérieure, de 56 à 57 m d'épaisseur, est composée de sédiments holocènes (figure 25).

La partie supérieure de la séquence holocène est constituée de sables, limons et argiles exclusivement fluviatiles, sur environ 10 m d'épaisseur (1).

Une longue série de 41 à 42 m d'épaisseur environ se présente comme une alternance entre des couches lenticulaires argileuses et sableuses, correspondant aux dépôts littoraux du complexe deltaïque formé en partie par l'Axios (2), ainsi qu'à une formation argileuse sous-jacente, assez compacte, qui correspond aux formations du pro-delta de l'Axios (3).

A la base de la série holocène entre 52 et 56-57 m de profondeur, une série riche en fossiles, de faciès littoral correspond aux dépôts d'une transgression marine (Méladiotis, 1993a).

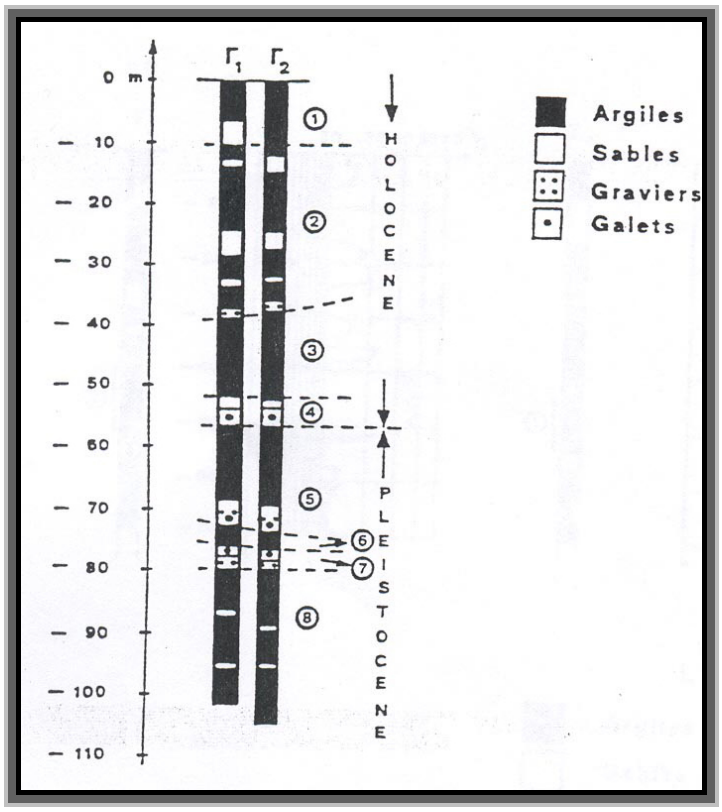


Figure 25 : Coupes lithologiques et stratigraphiques de forages effectués dans la partie orientale de la plaine Thessalonique entre l'Axios et le Gallikos (Méladiotis, 1993a)

*Légende : **1** : Dépôts récents de la plaine deltaïque, **2** : Dépôts du front deltaïque de l'Axios, **3** : Dépôts du Pro-delta de l'Axios, **4** : Dépôts littoraux de la transgression flandrienne, **5** : Dépôts fluvio-torrentiels du Würm supérieur, **6** : Dépôts fluviatiles du Würm supérieur, **7** : Dépôts littoraux de la transgression grimaldienne, **8** : Dépôts néritiques du Würm inférieur – Würm supérieur*

Entre 57 m et 106 m de profondeur, on retrouve des matériaux déposés au cours du Pléistocène (le niveau n'est pas complet). Les analyses sédimentologiques révèlent l'alternance de dépôts lors d'épisodes transgressifs et régressifs contemporains.

b) Apport des prospections géophysiques pour déterminer la structure sédimentaire du delta de l'Axios

En plus des deux forages d'exploration pétrolière, des prospections géophysiques, fondées sur 29 sondages électriques, ont été réalisées dans la partie orientale de la plaine, entre les fleuves Axios et Gallikos, à proximité des villes de Sindos et de Kalochorion.

Les résultats obtenus permettent de distinguer, pour une profondeur de prospection de 50 m environ et sur l'ensemble de la région prospectée, trois niveaux de résistivité dans les dépôts holocènes (figure 26) :

- Le niveau superficiel, d'une épaisseur de 8 à 18 m environ, présente une résistivité variant entre 2 et 5 Ωm.
- Le niveau intermédiaire de 18 à 33 m d'épaisseur présente une résistivité de 2 à 7 Ωm.
- Le niveau inférieur, d'épaisseur inconnue, présente une résistivité variant entre 2,5 et 9 Ωm.

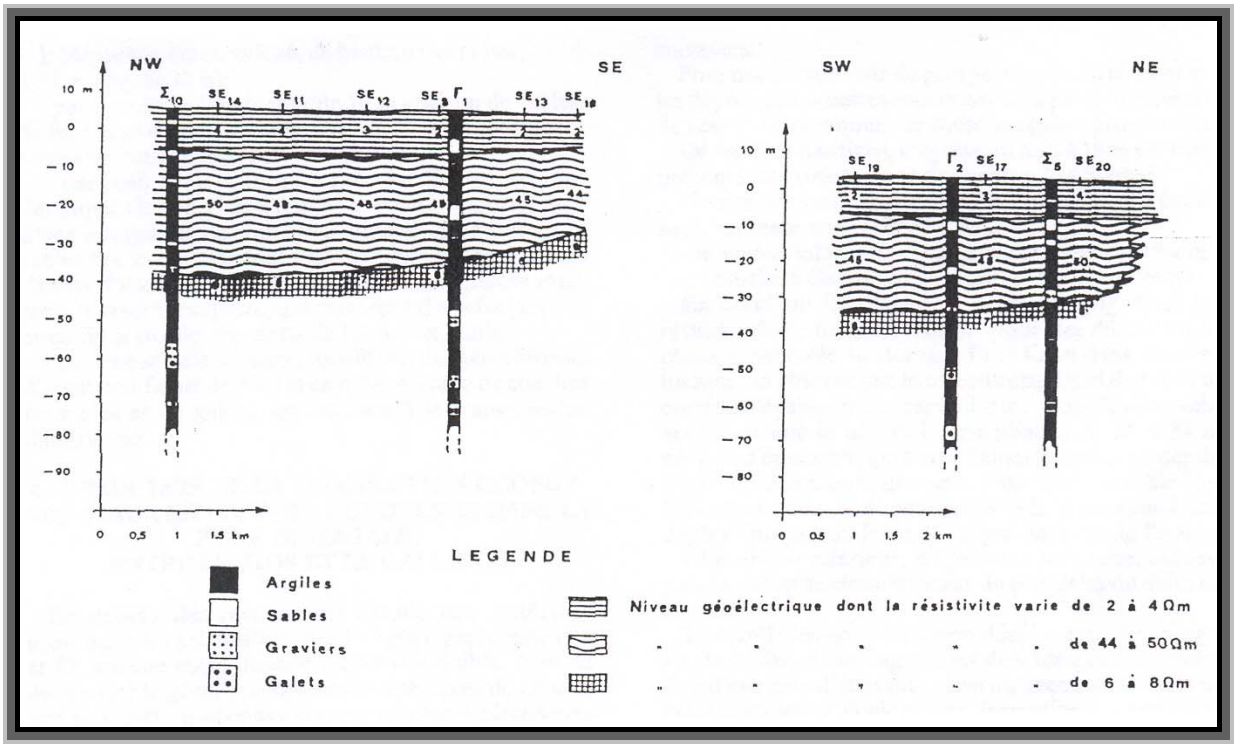


Figure 26 : Coupes de résistivité sur 9 sondages électriques et corrélation avec les forages G1 et G2 (Méladiotis, 1993a)

Ces données géophysiques corrélées avec les analyses sédimentaires des deux sondages ont permis de préciser l'épaisseur, la nature et la géométrie des dépôts quaternaires du secteur d'études au contact avec les terrains miocènes du massif du Païkon et du Chortiatis (figure 27).

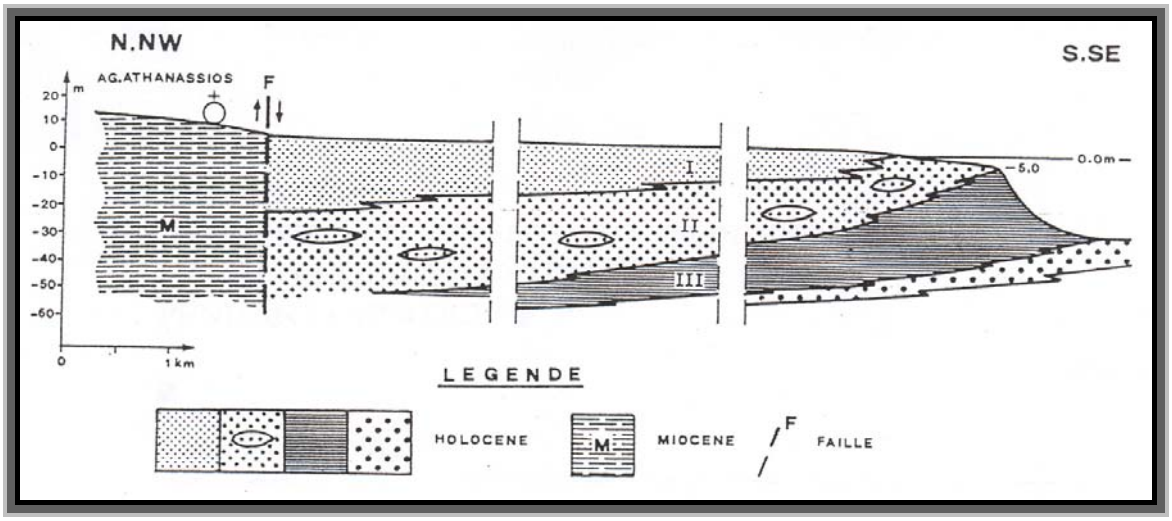


Figure 27 : Essai de synthèse du prisme sédimentaire du delta de l'Axios. I : plaine deltaïque, II : front deltaïque, III : pro-delta (Méladiotis, 1993a)

On constate un affaissement des terrains quaternaires sur toute leur épaisseur au contact avec les terrains miocènes qui bordent la plaine au nord. L'hypothèse tectonique est avancée (Mercier, 1977) et tenue comme responsable de l'effondrement puis du basculement du delta de l'Axios du nord vers le sud. L'importance des dépôts holocènes (56 – 57 m) implique une sédimentation importante mais également un phénomène de subsidence extrêmement prononcé. Cependant, aucun rythme n'a pu être proposé de manière précise en l'absence d'études plus approfondies sur la question.

Pour répondre à cette question, de nouvelles études ont été menées dans un premier temps, dans le secteur de Kalochorion (Stiros, 2001), puis à l'échelle de la plaine dans un second temps (Psimoulis *et al.*, 2007), pour tenter d'évaluer l'importance de la subsidence pendant les cinquante dernières années.

1.2.3.2. Evaluation de la subsidence dans la partie orientale de la plaine de Macédoine centrale au cours de la période 1960-1999

a) Premières observations significatives

La ville de Thessalonique connaît un essor économique et social sans précédent après la seconde guerre mondiale. L'Etat grec décide d'accroître les superficies destinées à accueillir les industries lourdes (pétrochimie, raffinerie de pétrole, etc.) à l'ouest de la ville, dans un secteur gravitant autour des infrastructures portuaires.

En réponse aux importants besoins en eau de la ville de Thessalonique, vingt-cinq puits (localisés à l'est de la plaine, dans le secteur de Kalochorion) ont été ordonnés par la *Thessaloniki Water District,* puis construits en 1955 délivrant ainsi des débits horaires de 1600 à 1900 m^3 pour la période 1958-1963. En complément, 300 puits privés (construits dans la région de Kalochorion également) assurent les besoins d'irrigation pour l'agriculture locale et les petites industries locales (Andronopoulos *et al.*, 1991).

Dès les années 1960, les premiers signes d'une subsidence sont observés dans la région de Giannitsa –Aravissos où de nombreux aménagements de drainage semblent être victimes d'affaissement. Les études menées alors concluent à un rôle majeur joué par la décomposition de la matière organique contenue dans les strates sédimentaires superficielles (ETOME, 1974).

En 1964, dans la région de Kalochorion, une incursion de la mer est observée. En 1969, en raison de vents violents du sud et de faibles pressions atmosphériques, la mer pénètre dans les terres et arrive à proximité des maisons de la ville de Kalochorion et les dégâts sont importants. Pour résoudre ce problème devenu récurrent, la construction d'une digue côtière protectrice est entreprise puis achevée en 1973 (Stiros, 2001). Quelques temps après son édification, un nouveau phénomène de subsidence endommage sévèrement l'ouvrage et les habitations de Kalochorion sont de nouveau affectées par une inondation venue de la mer. Des travaux sont alors entrepris pour rehausser les habitations et l'église de 1.00 à 1.20 m (Andronopoulos *et al.*, 1991).

En 1974, la première étude portant sur les phénomènes de subsidence qui affectent la plaine de Thessalonique est entreprise dans le cadre de la Foire internationale de Thessalonique (ETOME, 1974). Cette dernière devait être initialement installée dans la région de Kalochorion. Pour pallier aux problèmes liés à la subsidence, les études préconisent la construction d'une digue littorale et un rehaussement général des terrains de 1.00 à 2.70 m

(Stiros, 2001). L'accomplissement de ce dernier projet n'aura finalement pas lieu, car le volume estimé des matériaux, constitués essentiellement par des alluvions du fleuve Gallikos, est d'environ 7.6 millions de m^3.

En 1976, la digue littorale est édifiée entre l'embouchure du Gallikos et celle de l'Axios, permettant ainsi un gain de terres aménageables d'une superficie d'environ 3-4 km².

On y observera quelque temps après l'affaissement de nombreux ouvrages tels que des murs ou des canaux de drainage (photo 21). Une tempête ayant eu lieu pendant l'hiver 1979-1980 endommage sérieusement l'ouvrage et les terres situées entre le littoral et la ville de Kalochorion sont de nouveau inondées. De plus, les installations routières et électriques sont fortement affectées par ce nouveau sinistre (photo 22).

En réponse à l'inefficacité des aménagements préventifs des incursions de la mer et aux affaissements répétés de bâtiments et d'ouvrage, il est décidé dans l'urgence de réduire de manière très importante les activités de pompage des nappes phréatiques dans la région de Kalochorion dès le milieu des années 1980. 10 000 à 15 000 m^3 d'eau sont pompés chaque jour, principalement par l'intermédiaire de puits privés et essentiellement pendant la période estivale (Stiros, 2001).

Malheureusement, le 23 octobre 1991, après une période de relative accalmie, la digue littorale située à l'ouest de l'Axios se rompt une nouvelle fois, laissant une zone inhabitée totalement inondée par les eaux marines.

b) Une première estimation des causes de la subsidence

En 1980, la première étude complète est menée par l'I.G.M.E. sur les causes du phénomène de subsidence qui affecte la région de Kalochorion. L'analyse de trois carottages permet de livrer plusieurs certitudes (Stiros, 2001) : la première d'entre elles confirme que la région de Kalochorion est entièrement affectée par un enfoncement progressif des terrains et que la subsidence atteint localement 2 à 3 m. La deuxième certitude concerne le niveau supérieur des surfaces piézométriques qui n'a cessé de baisser entre les années 1970 et 1976, avant de se stabiliser au milieu des années 1980 (figure 28). La troisième conclusion indique que le phénomène est imputable également au compactage de certaines séquences sédimentaires présentant une granulométrie très fine (Andronopoulos *et al.*, 1990 ; Hadzinakos *et al.*, 1990).

Photo 21 : Exemple de manifestation de la subsidence : affaissement de 80 cm d'un canal
(chiché pris en 1985 ; Stiros, 2001)

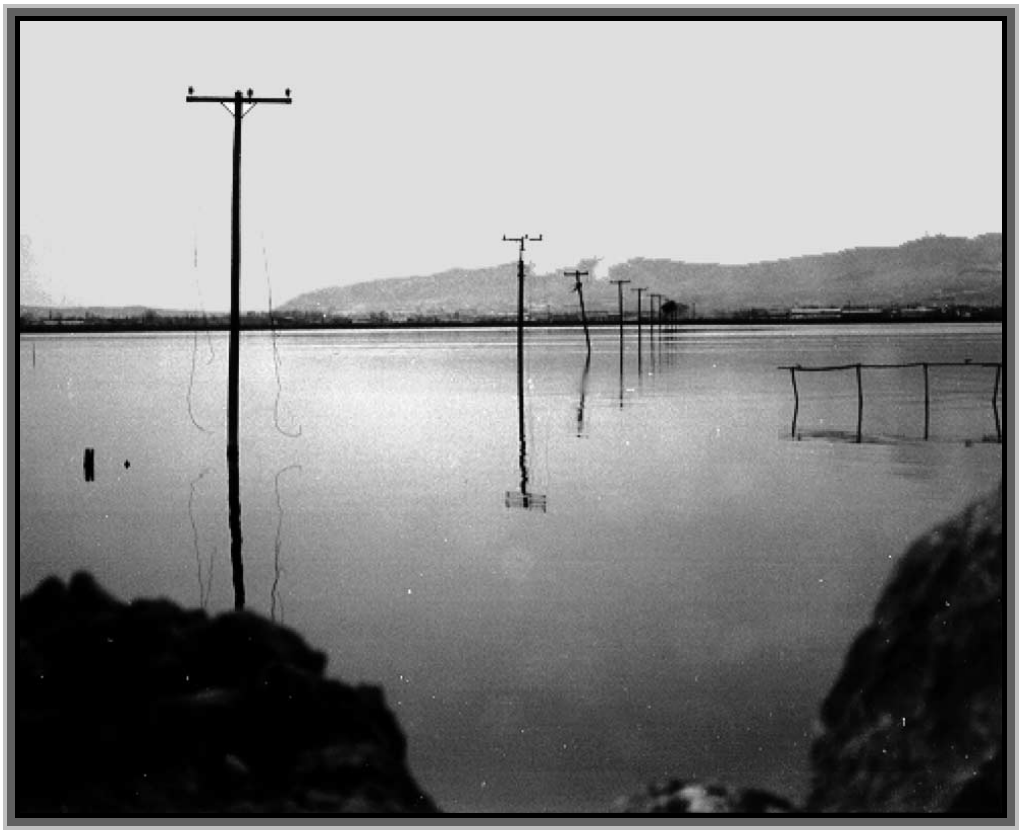
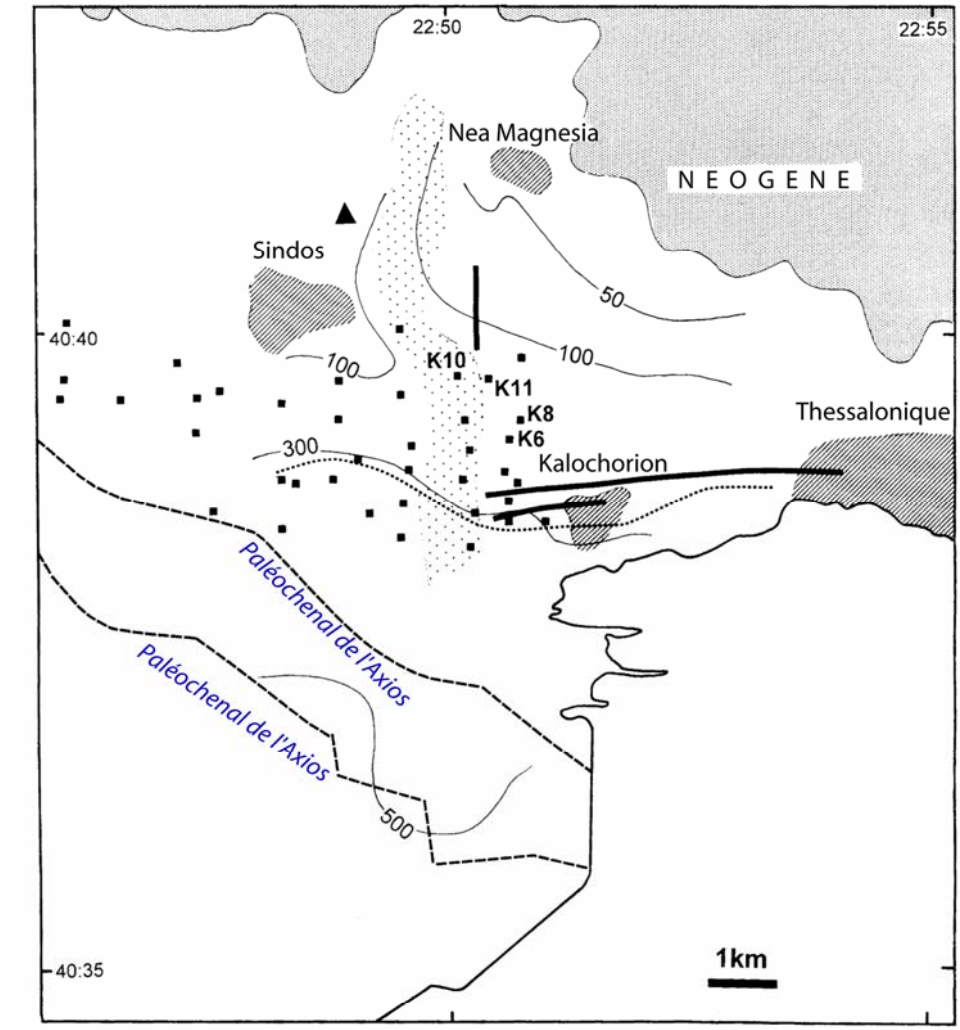


Photo 22 : Incursion de la mer dans la région de Kalochorion
Suite à une rupture de digue, une incursion marine inonde des terres inhabitées (cliché pris en 1991 ; Stiros, 2001)



Les carrés représentent les puits, les lignes continues avec nombres représentent la profondeur des sédiments pré-holocènes, la ligne discontinue indique la limite septentrionale de l'incursion des eaux salines, les traits épais soulignent les failles, le triangle révèle l'emplacement de la station géodésique de référence.

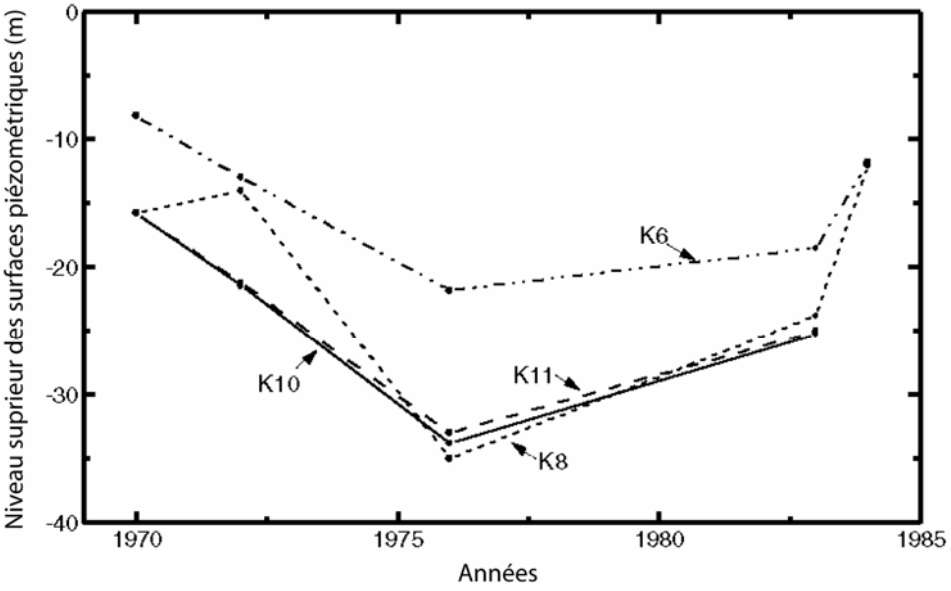


Figure 28 : Localisation des carottages réalisés par l'I.G.M.E. et variation des niveaux supérieurs des surfaces piézométriques

1.2.3.3. Evaluation du phénomène de subsidence et établissement d'une typologie des secteurs subsidents

En mai 2005, une nouvelle étude a été menée grâce à une collaboration conjointe du département de géodésie de l'Université de Patras et l'E.A. 435 GEONAT de l'Université Paris XII (avec un financement du programme M.A.L.R.H.O.), pour estimer les rythmes de subsidence au cours des cinquante dernières années.

La méthode a reposé sur une nouvelle mesure altimétrique de bornes géodésiques installées au début et dans la première moitié du XX^{e} siècle, lors des grands travaux d'aménagement de la plaine menés dans les années 1930. Ces repères furent recherchés puis de nouveau mesurés en 1985 par une équipe de géologues de l'I.G.M.E (Stiros, 2001 ; Psimoulis *et al.*, 2007).

a) Inventaire complet des bornes géodésiques présentes dans la plaine (années 1950)

Dans le cadre des travaux d'aménagement de la plaine et du réaménagement du cours de l'Axios, le Ministère grec des travaux publics entreprit l'inventaire complet des bornes géodésiques de la plaine de Thessalonique. Les informations furent compilées en 1950 par V. Grammatikopoulos puis reportées dans un catalogue contenant les caractéristiques (description, localisation) d'environ 500 bornes géodésiques dont l'espace latéral n'excède jamais 1 km (figures 29 et 30).

Les repères altimétriques, généralement fabriqués en bronze, ont été placés sur des bâtiments remarquables (ponts, églises, écoles…) au cours de différentes périodes. Les premières bornes furent installées par le Service Topographique du Gouvernement Ottoman avant le rattachement de la Macédoine à la Grèce en 1912. A partir de cette date, le Ministère grec de l'agriculture a continué le nivellement de la plaine entrepris par les ottomans, puis le service topographique de l'armée grecque et le service géodésique grec ont poursuivi le travail.

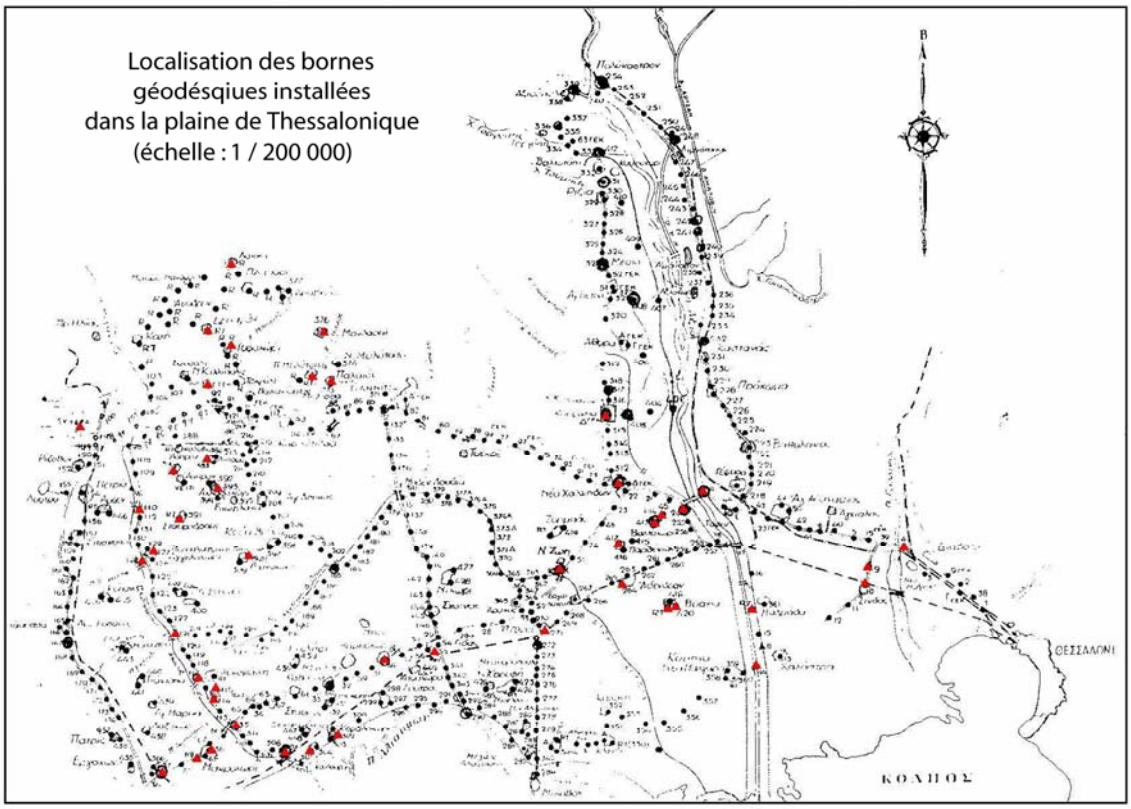


Figure 29 : Localisation des bornes géodésiques installées dans la plaine de Thessalonique

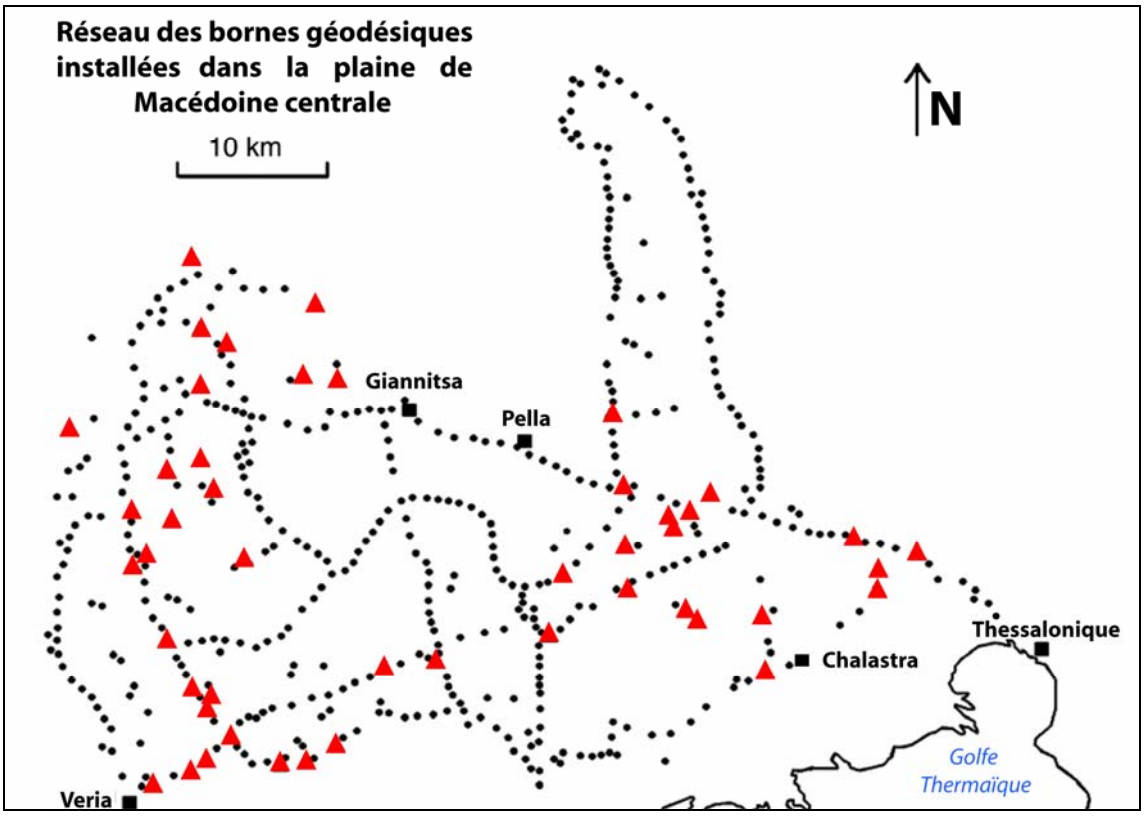


Figure 30 : Carte simplifiée de la localisation des bornes géodésiques réparties dans la plaine de Thessalonique
(en rouge les repères utilisés pour le nivellement réalisé en 2005)

b) Le zéro de référence défini par la Foundation Company of New York et l'estimation de la précision des données

Les altitudes mesurées se réfèrent à un niveau moyen de la mer défini par la *Foundation Company of New York* se trouvant à 0.442 m au-dessus du niveau 0 de référence établi par le service hydrographique grec. Ce niveau correspond au niveau des plus hautes eaux dans le port de Thessalonique (Psimoulis *et al.*, 2007).

La précision des données altimétriques des bornes géodésiques a été favorisée d'une part, par une distance assez faible (1 km) entre les différents repères et d'autre part par le fait que l'espace formé entre chaque borne constitue un segment d'1 km de longueur dont la juxtaposition forme un cercle, bouclant ainsi les opérations de nivellement. C'est pour cette raison que l'imprécision des mesures au sein d'un terrain aussi plat que forme la plaine de Thessalonique est assez faible, quelques millimètres seulement par kilomètre carré (Stiros & Rondogianni, 1985). A l'échelle de la plaine, soit une longueur maximale de 70 km, l'erreur n'excède pas quelques centimètres (Davies *et al.*, 1997 ; Stiros, 2006).

Un fait important est à prendre compte : il s'agit des restaurations et réhabilitations de certains bâtiments (maisons, écoles, etc.) dont les travaux ont parfois nécessité le déplacement non intentionnel des repères géodésiques. En Grèce, c'est la cause principale des erreurs observées lors de nouveaux relevés topographiques.

c) Campagne de terrain menée en mai 2005

En mai 2005, les repères géodésiques relevés et cartographiés à la fin des années 1980, furent en partie identifiés. 47 bornes se répartissant de façon homogène dans la plaine ont été formellement reconnues et leur nouvelle altitude mesurée. Le matériel utilisé comprenait une base réceptrice G.P.S. fixe basée à Chalastra (figure 31) et un récepteur Rover G.P.S. statique localisé à proximité des repères géodésiques (distance maximale de 10 m, annexes I).

L'acquisition des données satellitaires fut menée par jour de beau temps de préférence, afin d'éviter tout interférence des signaux. Les mesures ont été enregistrées pendant une durée de quinze minutes, à une fréquence de 1 Hz, quand au moins sept satellites se trouvaient à plus de quinze degrés au-dessus de l'horizon (voir annexe II pour plus de détails).

Les différences altimétriques entre les anciens repères géodésiques et les données acquises grâce aux informations délivrées par G.P.S. ont ensuite été mesurées deux fois grâce à l'utilisation d'un théodolite et d'une mire (annexe I).

Nom du repère (localité)	Code	Geometric Height 1950	Ellipsoid Height 2005	Geoid Height (m) RAPP81	Geoid Height (m) GEM10B	Geoid Height (m) GINA-DTM	Subsidence (m)		
							RAPP81	GEM10B	GINA-DTM
Lakka	R	103.835	150.300	43.6	40.9	43.80	0.0	0.0	0.0
Malgara	R	7.249	49.462	41.7	39.3	42.65	2.4	2.7	3.1
Vrachia	RT	5.817	49.042	42.0	39.4	42.70	1.6	1.8	2.1
Vrachia	R420	6.518	49.306	42.0	39.4	42.70	2.1	2.2	2.6
Adendron	R264	6.245	49.269	42.3	39.5	42.70	2.1	2.1	2.3
Parthenion	R417	8.016	51.219	42.3	39.6	42.80	2.0	2.0	2.3
Valtochorion	R414	8.862	51.973	42.3	39.7	42.90	2.1	2.2	2.5
Valtochorion	R413	8.112	51.329	42.3	39.7	42.90	1.9	2.1	2.3
Vardabasi	R20	13.237	56.613	42.3	39.8	42.95	1.7	2.0	2.2
Axios - Pont	R19	14.926	58.782	42.2	39.8	43.00	1.2	1.6	1.8
Valmada	RT	6.884	49.605	41.8	39.4	42.8	1.9	2.3	2.7
Chalkidon	R71	27.566	72.456	42.5	39.8	42.9	0.5	0.5	0.7
Koufalia	R-ΓΕΚ	37.950	81.416	42.7	40.0	43.1	2.1	2.1	2.3
Ag. Georgios	R373	41.304	85.053	43.3	40.6	43.5	2.4	2.5	2.4
Palaios Milotopos	RT	23.447	67.193	43.3	40.6	43.5	2.4	2.5	2.4
Axladohori	R376	66.947	109.814	43.4	40.7	43.6	3.4	3.4	3.4
Drosero	RT	23.617	67.433	43.5	40.8	43.7	2.5	2.6	2.5
Gypsochorion	R	16.761	61.538	43.4	40.8	43.6	1.5	1.6	1.5
Kalipoli	R-ΓΕΚ	20.669	64.995	43.4	40.8	43.6	1.9	2.0	1.9
Angelochorion	R127	18.419	62.103	43.2	40.5	43.3	2.4	2.4	2.3
Angelochorion	R128	29.473	73.808	43.2	40.5	43.3	1.7	1.8	1.6
Zervochorion	R121	28.097	72.300	43.1	40.3	43.1	1.8	1.7	1.6
Akrolimni	R398	7.994	52.014	43.4	40.5	43.1	2.2	2.1	1.7
Stavrodromion	RT	12.624	56.898	43.3	40.6	43.3	1.8	1.9	1.7
Arsenion	R110	29.633	74.598	43.3	40.6	43.4	1.2	1.3	1.1
Aspro	R390	17.039	61.113	43.3	40.6	43.4	2.1	2.1	2.0
Esovalta	R393	13.507	57.071	43.3	40.5	43.3	2.6	2.6	2.4

Tableau 3 : Résultats obtenus pour chaque repère géodésique (47) remesuré

Nom du repère (localité)	Code	Geometric Height 1950	Ellipsoid Height 2005	Geoid Height (m) RAPP81	Geoid Height (m) GEM10B	Geoid Height (m) GINA-DTM	Subsidence(m)		
							RAPP81	GEM10B	GINA-DTM
Lipiro	R383	15.968	60.44057	43.3	40.6	43.4	1.6	1.7	1.6
Skidra	RT	34.229	78.87123	43.4	40.8	43.7	1.6	1.7	1.7
Platy	R271	5.860	47.929	42.3	39.4	42.6	3.1	2.9	3.1
Kefalochorion	R301	12.689	56.384	42.6	39.5	42.7	1.8	1.4	1.7
Kouloura	R305	17.688	61.143	42.6	39.5	42.7	2.0	1.7	1.9
Pont ferroviaire	R307	25.510	68.143	42.8	39.5	42.7	3.0	2.5	2.7
Makrochorion	R36	41.358	86.388	42.8	39.8	42.9	0.6	0.4	0.5
Makrochorion	R69	52.929	98.351	42.8	39.8	42.9	0.2	0.0	0.1
Veria-Pont	R35	27.377	71.928	42.8	39.9	42.8	1.1	1.0	0.9
Nikomideia	R114	19.909	64.197	43.0	40.0	42.9	1.6	1.3	1.3
Nikomideia	R115	19.409	63.156	43.0	40.0	42.9	2.1	1.9	1.8
Likogianni	R117	26.955	70.431	43.0	40.1	43.0	2.4	2.2	2.2
Brisaki	R58	8.359	51.790	42.7	39.6	42.7	2.1	1.8	1.9
Alexandria	RT	9.002	51.677	42.6	39.5	42.6	2.8	2.4	2.6
Gallikos - Pont	R4	21.931	66.134	41.6	39.7	43.4	0.3	1.1	1.9
Sindos	R9	9.749	54.064	41.6	39.6	43.2	0.1	0.9	1.5
Sindos	R10	10.026	52.658	41.6	39.6	43.2	1.8	2.6	3.2
Loudias - Pont	R25	6.400	48.968	42.5	39.0	42.7	2.8	2.0	2.8
Veria	R37	80.447	121.934	42.9	39.9	43.0	4.2	4.0	4.2
Ag. Athanasios - Pont	R42	6.952	53.563	41.8	39.8	43.2	-1.9	-1.2	-0.8

Tableau 3 (suite) : Résultats obtenus pour chaque repère géodésique (47) remesuré

d) Résultats et typologie des secteurs subsidents

Les résultats obtenus (tableau 3, figure 31) indiquent un phénomène général de subsidence à l'échelle de la plaine. Les enregistrements indiquent des valeurs qui atteignent 1.9 m au maximum dans la région de Sindos, confirmant ainsi les précédentes recherches (Andronopoulos *et al.*, 1991 ; Stiros, 2001). Le taux moyen de subsidence à l'échelle de la plaine peut être estimé à **0.8 ± 0.35 m** (tableau 3) sur les 50 dernières années. Les résultats indiquent également une forte dissymétrie entre secteurs très subsidents (secteurs de Sindos – Kalochorion), et secteurs moins subsidents (secteur central dans les environs de Nision – Nea Malgara). Une typologie peut donc être effectuée (figure 31) :

- Secteur de Sindos – Kalochorion

Les plus fortes valeurs enregistrées indiquent en moyenne une subsidence de 1.50 m au cours des 50 dernières années. La corrélation avec de précédentes recherches (Stiros, 2001) permet de supposer à une subsidence nettement plus importante. L'étude diachronique de cartes topographiques à grande échelle (1 : 5000^{e}) a indiqué des valeurs proches de 3 m pour la période 1955-1980, les rythmes annuels offrant des données proches de 10 cm par an. Les raisons de cette forte subsidence tiennent pour une grande part à la consolidation des couches sédimentaires les plus fines causées par les activités d'extraction d'eau des nappes phréatiques.

- Secteur de Giannitsa – Aravissos

Les premières observations des années 1930 indiquaient déjà des phénomènes d'enfoncement des structures hydrauliques lors de la mise en place des canaux de drainage du lac de Giannitsa. La décomposition de la matière organique suivant la baisse de niveau des aquifères avait alors été invoquée pour expliquer le phénomène de subsidence mais aucune quantification du phénomène n'avait alors pu être fournie. En l'absence de tout repère géodésique dans l'ancien lac de Giannitsa, il n'a pas été possible de livrer des informations précises pour ce secteur. Néanmoins, au nord, dans le secteur d'Aravissos – Giannitsa, des valeurs importantes indiquent une subsidence comprise entre 0.5 et 1.0 m à l'échelle des cinq dernières décennies.

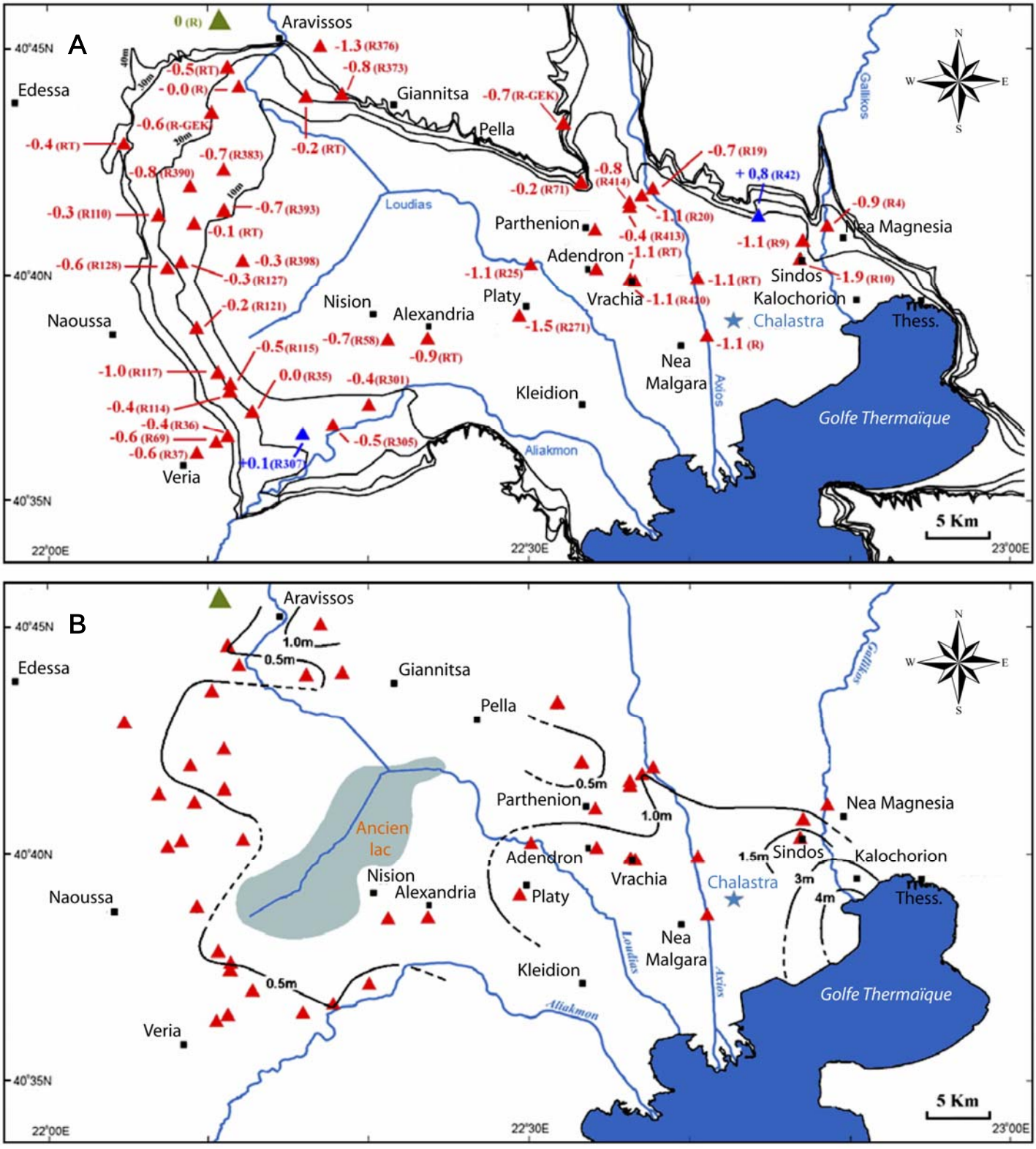


Figure 31 : Bornes géodésiques (triangles rouges) remesurées en 2005 avec indication du changement d'altitude.

La borne GPS fixe a été installée à Chalastra (étoile bleue), la borne de référence stable est fixée à Lakka (triangle vert), sur la figure 30B, les isohypses indiquent une estimation locale de la subsidence. D'après Psimoulis et al., 2007

- Secteur de Nision – Nea Malgara

La partie centrale de la plaine, où les sondages S3 à S6 ont été effectués, indique des valeurs comprises entre 0.5 et 1.5 m, augmentant progressivement vers l'est.

L'axe d'écoulement du fleuve Loudias semble indiquer une subsidence plus forte, les valeurs étant comprises entre 1.1 et 1.5 m. De même, le secteur d'écoulement du fleuve Axios suggère une subsidence importante (1.1 m). La figure 32 permet de constater les différents secteurs subsidents entre Nision et Nea Malgara.

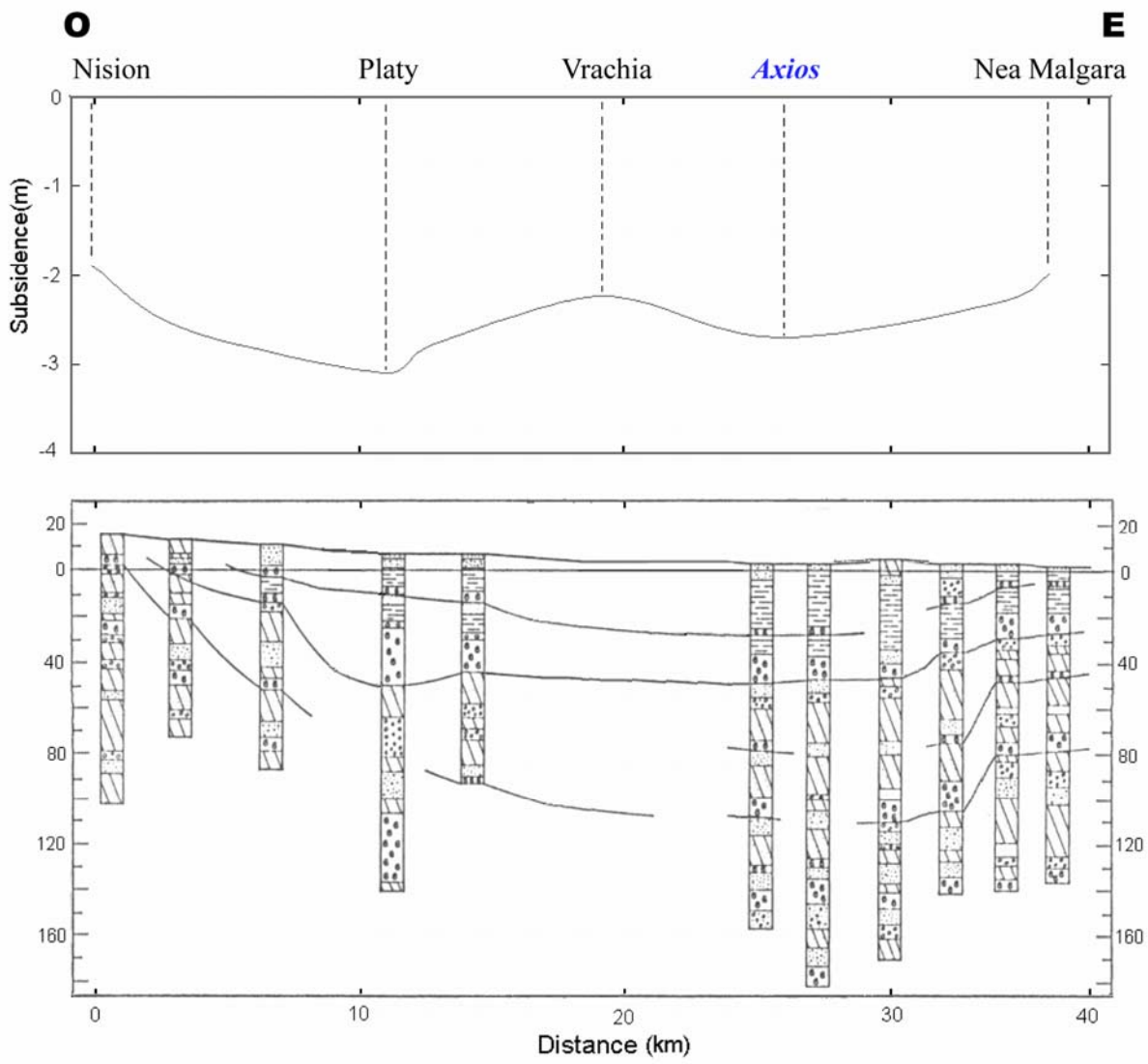


Figure 32 : Corrélation entre subsidence et contexte géologique
(Psimoulis et al., 2007 ; Palasis, 1972-1973)

La plaine de Thessalonique présente donc une subsidence caractérisée à l'ensemble du secteur étudié, néanmoins aucune fissuration du sol ni manifestation tectonique ne peuvent être observées et mises en évidence de manière formelle. La nature des sols, essentiellement composés de sédiments détritiques d'origine fluviatile, entraîne une plasticité importante des strates et empêche tout développement apparent de rejeu de failles (lesquelles n'affectent que le substrat géologique antérieur au remplissage par du matériel détritique). Il est donc logique de penser que les caractères mécaniques des dépôts holocènes et le remplissage sédimentaire de la plaine puissent être affectés par ce phénomène de subsidence. Les conséquences peuvent être directes sur les variations du niveau de base et les profils d'équilibre des cours d'eau.

CONCLUSION

L'édification de la plaine de Thessalonique résulte d'un lent mouvement de subsidence amorcé dès le Tertiaire et prolongé tout au long du Quaternaire. La diversité lithologique des marges montagneuses témoigne également d'une évolution géologique complexe, fortement influencée par des rejeu de failles.

La stratigraphie des formations superficielles de la plaine a révélé la présence de dépôts relativement récents, correspondant à une structure sédimentaire caractéristique d'une progradation deltaïque. Sur les dix premiers mètres, le passage d'un milieu de vie marin à un milieu d'origine continentale est caractérisé par une diversité malacologique et granulométrique. Les variations de salinité, liées à des apports d'eau douce importants, ont contribué à faire évoluer l'espace d'une baie marine vers une vaste plaine deltaïque. Des phases de sédimentation lagunaires et lacustres ont également pu être caractérisées. En l'absence de datations absolues, les différentes étapes de mise en place des faciès sédimentaires n'ont pu être précisées et aucune reconstitution paléogéographique de l'espace n'a été interprétée.

Ces dépôts subissent de nos jours les effets induits de la subsidence, phénomène relevé dès les années 1920-1930, mais étudié de manière précise depuis les années 1980. Récemment, une estimation de la subsidence a pu être donnée, fondée sur de nouvelles mesures altimétriques de repères géodésiques. Les résultats ont mis en évidence une valeur moyenne de 0.8 m à l'échelle des 50 dernières années. Les activités anthropiques ont contribué à accélérer les phénomènes naturels causés par la compaction des strates riches en matière organique (zones lacustres et lagunaires) et présentant également une texture fine (argiles et limons).

La présence de ces dépôts d'origines variées témoignent d'une évolution morphologique récente du golfe Thermaïque là où le rôle joué par la remontée générale du niveau marin depuis 20 000 ans semble être un paramètre à ne pas négliger. Les variations climatiques sur la péninsule balkanique depuis le tardiglaciaire, corrélées avec les variations eustatiques, doivent également permettre de dégager une tendance régionale.

Chapitre 3 : évolution climatique pendant le Quaternaire récent et conséquences sur les variations eustatiques et sur l'alluvionnement

INTRODUCTION

Le précédent chapitre a permis de révéler la nature des formations superficielles (jusqu'à une profondeur de 10 m). La succession de phases de sédimentation marine, lagunaire, lacustre et fluviatile montre que la plaine de Thessalonique a connu une évolution morphologique certaine, au gré des manifestations tectoniques, des variations du niveau de la mer Méditerranée, des oscillations climatiques et de leurs effets induits sur le fonctionnement hydrologique des cours d'eau. En effet, il semble qu'un golfe marin peu profond se soit progressivement transformé en lagune, puis en lac avant de devenir un vaste complexe fluvio-deltaïque.

Les deltas méditerranéens ont été essentiellement édifiés grâce, d'une part, au ralentissement de la courbe de remontée du niveau marin, observée en Méditerranée depuis 6 000 ans environ (Fouache, 2006) et d'autre part à des apports alluvionnaires importants.

Il convient donc désormais d'étudier les relations entre oscillations climatiques et variations eustatiques. Les conséquences sur la morphologie du golfe Thermaïque traduisent un retrait rapide du trait de côte entre -20 000 et -6 000 environ (Lykousis *et al.*, 2005). Depuis cette période, on note à l'inverse une progradation deltaïque et un déplacement de la ligne de rivage.

Afin de retracer l'évolution globale du climat de Macédoine centrale, il a fallu dans un premier temps caractériser les conditions de précipitations et de températures régnant en Macédoine centrale (**1^e^ section**), puis mettre en évidence une forte variabilité climatique depuis le tardiglaciaire (17 000 – 12 300 BP) dans un deuxième temps **(2^e^ section)**.

Dans un troisième temps, les conséquences morphologiques relatives à la remontée du niveau général en Méditerranée orientale ont été étudiées (**3^e^ section**) et les conséquences sur les changements du tracé des cours d'eau analysées (Lykousis *et al.*, 2005).

1.3.1. Un climat méditerranéen avec des influences continentales

J. Lefort (1986) soulignait déjà la particularité du climat régnant sur la Macédoine centrale, lui attribuant le nom de « climat salonicien ». La région de Thessalonique est l'une des moins arrosées de Grèce (figure 33) et l'on peut noter un contraste entre les régions montagneuses (de 800 à 1 000 mm de précipitations annuelles) et la plaine centrale (entre 400 et 600 mm de précipitations par an). L'influence des vents, en particulier le Vardaris venant du nord (Livadas & Sahsamanoglou, 1973 ; Angouridakis *et al.*, 1981), contribue à nuancer le climat méditerranéen et à abaisser de manière importante les températures pendant l'hiver et le printemps.

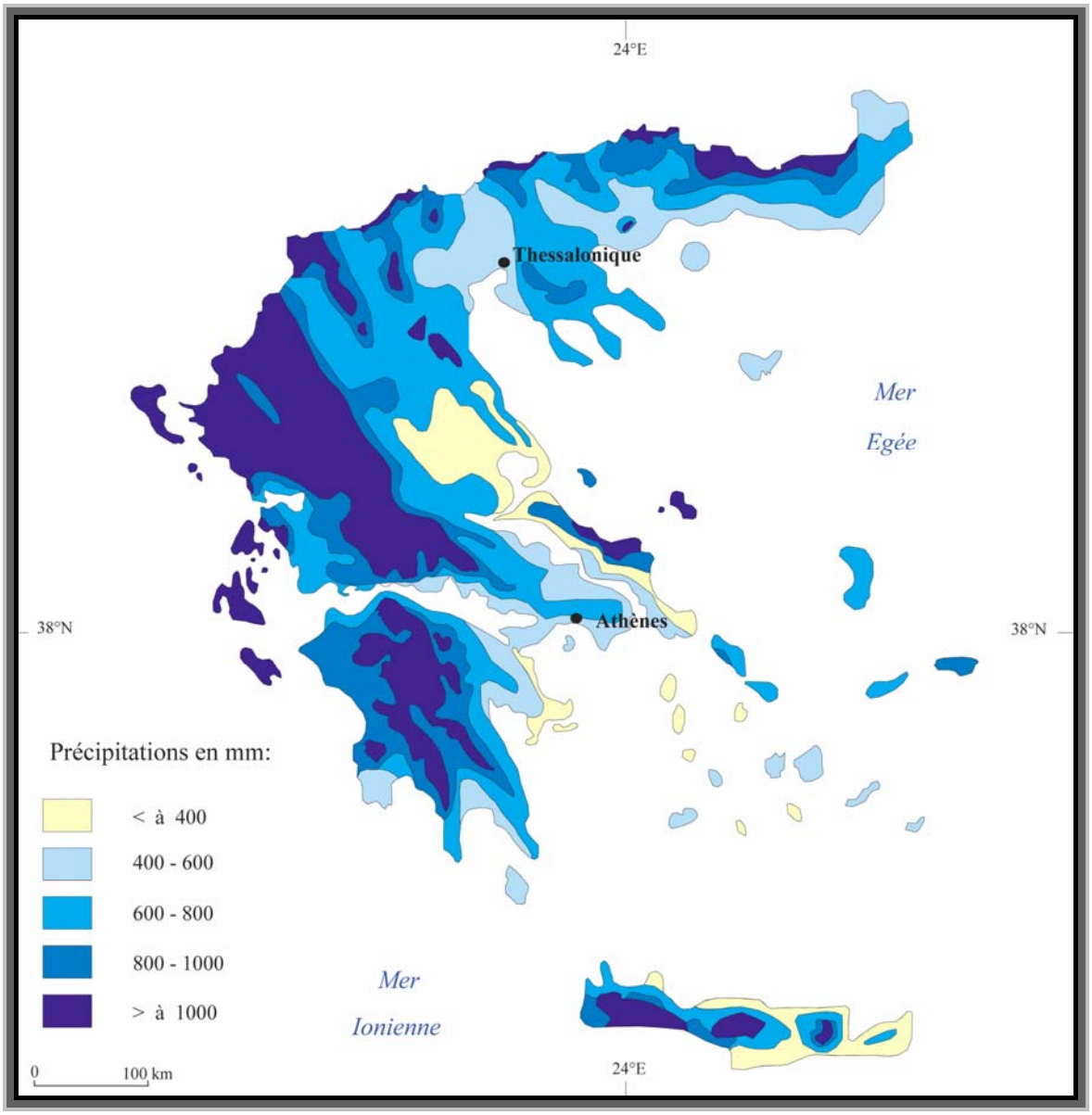


Figure 32 : Carte des précipitations de la Grèce (d'après Fouache, 1999)

1.3.1.1. Un régime pluviométrique de type méditerranéen

Au cours de la période 1970-2000, les relevés pluviométriques effectués pour la station de Thessalonique ont indiqué une moyenne annuelle de 438,7 mm (tableau 4). Les précipitations se concentrent essentiellement au printemps (le mois de mai enregistre des valeurs moyennes de 47,7 mm) et à l'automne (le mois de novembre est le plus pluvieux de l'année avec en moyenne 55,2 mm). Les périodes de sécheresse se concentrent bien évidemment pendant la saison estivale (figure 34), où de début juin à fin septembre, il ne tombe en moyenne que 25 mm de précipitations par mois. Cependant, de fréquents orages se développent pendant les mois de juillet et d'août. Ainsi les pluviomètres enregistrèrent 53,5 mm de précipitations le 24 juillet 1979, et 60,7 mm le 7 juillet 1995.

Les variations interannuelles pour la période 1970–2000 indiquent de fortes irrégularités (figure 34). Ainsi en 1977, il n'est tombé que 262,8 mm, alors que l'année d'après il en tombait 553,2 mm. Durant la période 1970 – 2000, le maximum de précipitations enregistrées est de 650,4 mm pour l'année 1987, tandis que le minimum enregistré le fut en 2000, avec seulement 231,7 mm, soit un rapport de 1 à 3 (Ghilardi, 2003). Depuis le début des enregistrements pluviométriques, l'année la plus pluvieuse fut celle de 1914, où il tomba 795 mm de pluies et à l'inverse, l'année la plus sèche a été celle de 1922, avec seulement 172 mm de précipitations (Lefort, 1986).

Si l'on observe les relevés d'autres stations météorologiques de Macédoine centrale, on constate des différences qui tiennent essentiellement à la configuration géographique, avec un rôle important joué par le relief. Ainsi la ville de Veria, située sur le piedmont du Vermion reçoit annuellement en moyenne 556 mm de précipitations, soit à peu près 120 mm de plus que Thessalonique, alors que les villes d'Edessa (période de 1919 à 1939) et de Giannitsa (période de 1931 à 1942) enregistrent respectivement 789 et 621 mm de précipitations par an.

A noter également que la neige tombe assez fréquemment dans la région : la présence de reliefs importants dans la Macédoine centrale l'expose à 5 jours de neige par an en moyenne, essentiellement durant les mois de janvier et de février. Cependant, depuis quelques années, des épisodes plus intenses sont enregistrés, et il est fréquent d'avoir des fortes chutes de neige pendant l'hiver.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
P mm	30,0	36,7	37	37,3	47,7	30,4	30,3	23,6	22,9	42,7	55,2	44,9	Tot : 438,7
T°C	9,8	11,4	14,4	19,1	24,3	29,2	31,5	31,1	27,4	21,6	15,4	11,4	Moy : 20,6

Données : relevés de températures effectués à 14 h, Université Aristote de Thessalonique

Tableau 4 : Moyennes mensuelles des températures et des précipitations pour la période 1970 – 2000 (Ghilardi, 2003)

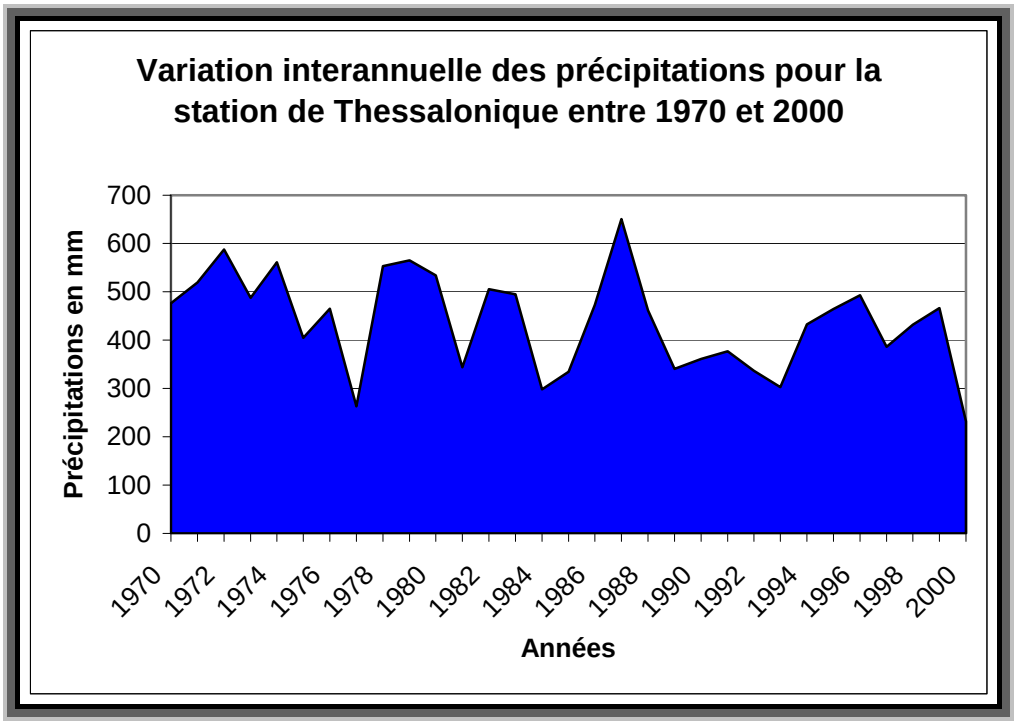


Figure 34 : Variation interannuelle des précipitations pour la station de Thessalonique entre 1970 et 2000 (Ghilardi, 2003)

1.3.1.2. Les températures : des influences continentales

L'amplitude thermique annuelle est quasiment identique à la moyenne annuelle (20.6°C), de 21,7°C pour la période 1970 – 2000 (relevés de températures effectués à 14 h). Le minimum se situe en janvier, avec des valeurs moyennes de 9,8°C (le record de froid sur une journée pour la ville de Thessalonique étant de -9,5°C) et le maximum est enregistré en juin avec 31.5°C (le record absolu enregistré étant de 42,6°C le 6 juillet 2000). Il est cependant très fréquent d'observer pendant les mois d'hiver de longues périodes froides, alors qu'à l'inverse, pendant l'été, les températures peuvent dépasser 40°C plusieurs jours consécutivement, comme ce fut le cas pendant le mois de juin 2007.

La particularité du « climat salonicien » tient surtout aux températures qui peuvent osciller de -5°C en hiver à + 42°C pendant l'été. La position littorale de la ville de

Thessalonique ne contribue pas à adoucir et à réduire l'amplitude thermique annuelle. L'influence du Vardaris, vent régional issu du nord de la Macédoine grecque et de l'Europe centrale, autorise à donner une nuance continentale au climat méditerranéen de la région de Thessalonique.

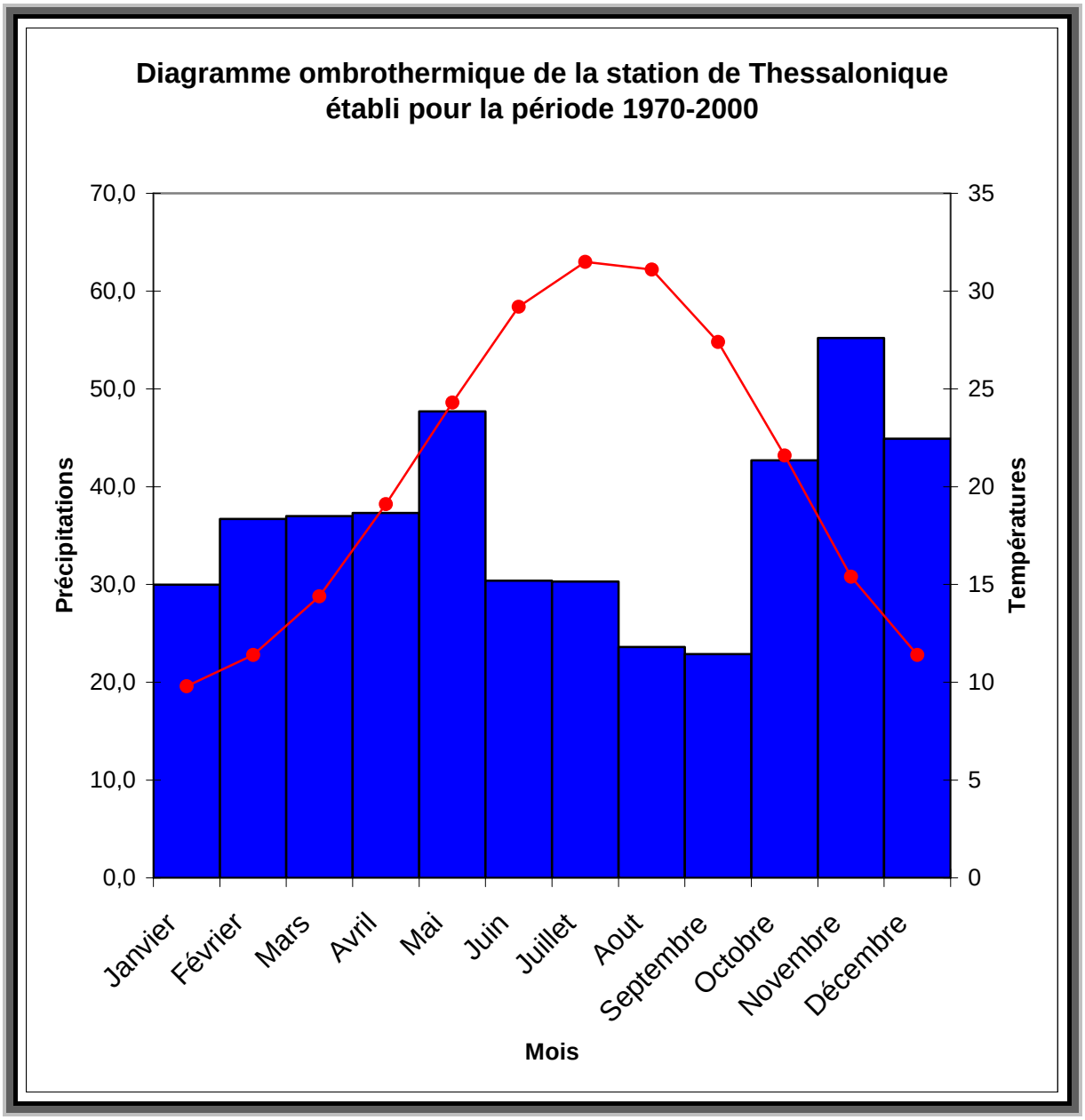


Figure 35 : Diagramme ombrothermique pour la station de Thessalonique entre 1970 et 2000
(relevés effectués à 14h)

1.3.1.3. Les vents dominants

Le vent le plus important est le Vardaris. De secteur nord (tableau 5, figure 36), il s'écoule depuis la vallée de l'Axios sur la région de Thessalonique et est, par définition populaire locale, un vent fort soufflant principalement durant la période hivernale.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Mois								
J	40,39	17,25	13,82	7,2	4,71	3,59	3,5	9,54
F	37,71	15,62	12,65	7,93	5,48	4,94	4,28	11,39
M	29,53	13,37	12,95	9,11	9,15	9,8	6,14	9,95
A	24,76	9,69	9,24	8,79	14,66	17,47	6,11	9,28
M	25,22	7,96	6,02	7,26	15,21	21,34	7,27	9,72
J	26,92	7,78	4,46	5,82	16,57	20,64	6,01	11,8
J	29,34	6,42	3,1	5,07	17,17	21,58	5,59	11,73
A	29,37	8,18	3,93	5,26	17,36	20,51	5,36	10,03
S	23,45	9,85	8,07	8,01	16	18,55	5,44	10,63
O	26,97	13,54	13,64	10,46	9,58	9,97	5,66	10,18
N	31,15	14,58	19,92	10,97	5,31	4,42	4,02	9,63
D	34	16,43	18,71	9,68	5,7	2,75	3,18	9,55
Année	29,90	11,72	10,54	7,96	11,41	12,96	5,21	10,29

Tableau 5 : Direction des vents exprimée en pourcentages pour la période 1931 - 1971[1]

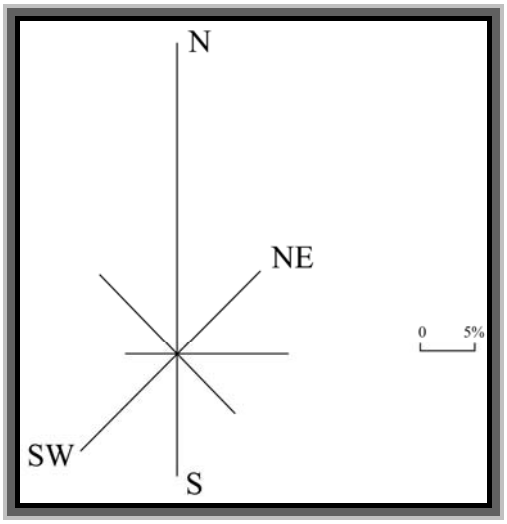


Figure 36 : Rose des vents annuels pour la station de Thessalonique pour la période 1931-1971[1] (Angouridakis *et al.*, 1981)

[1] Pour la station de Thessalonique, la période 1940-1949 et l'année 1965 n'ont pas été prises en compte

Les auteurs (Livadas & Sahsamanoglou, 1973 ; Angouridakis *et al.*, 1981) ont proposé comme seuil inférieur à ce vent une vitesse comprise entre 3,33 et 4,17 m/s.

Le Vardaris est par bien des aspects semblable au Mistral qui s'écoule dans la vallée du Rhône. D'une part, il est canalisé par une vallée, en l'occurrence celle de l'Axios et d'autre part, il s'accompagne de températures assez froides pendant les mois d'hiver mais aussi d'un temps relativement dégagé. Ce vent contribue donc à assécher l'atmosphère.

En plus du Vardaris, deux autres vents dominants peuvent être signalés :

Le premier de ces vents locaux s'écoule depuis les pentes du Vermion en direction de la plaine de Thessalonique : c'est le Livas qui souffle principalement au mois de mars et explique la baisse des températures qui l'accompagne.

Le deuxième vent local est le Karatowitis, un vent puissant venant du nord-ouest de la plaine, s'écoulant dans le couloir du fleuve Mavrotopos (Moglenitsa). Il est aussi redouté que le Livas par sa fraîcheur.

1.3.1.4. Conditions locales de marnage

Le marnage est généralement compris entre 16 et 43 cm (tableau 6) et semble être directement influencé par les vents, notamment le Vardaris, ainsi que par les pressions atmosphériques. Le tableau indique qu'en période de vives eaux le marnage moyen est de 1,3 pied soit environ 43 cm (1,8 – 0,5 ; 1 pied = 32 cm), contre 0,4 pied (1,4 - 0,9), soit environ 16 cm de marnage moyen en période de mortes eaux. Les surcôtes peuvent localement atteindre 1 m lors de périodes de faibles pressions atmosphériques et de vent de secteur Sud. Les marnages maximaux (différence entre marées de mortes eaux exceptionnelles et vives eaux exceptionnelles) dans le golfe Thermaïque avoisinent 1,50 m.

Tidal Information

Place	Height above datum of soundings			
	High Water		Low Water	
	Mean Springs	Mean Neaps	Mean Springs	Mean Neaps
Thessaloníki	*1·8 feet*	*1·4 feet*	*0·5 feet*	*0·9 feet*

Tableau 6 : Extrait de la carte marine Kolpos Thessalonikis (H.N.H.S., 1974) indiquant des informations relatives aux marées

1.3.2. Evolution morphoclimatique de la plaine de Thessalonique depuis 20 000 ans

1.3.2.1. Evolution climatique depuis la fin du Tardiglaciaire (-12 300 BP)

Des études menées en glaciologie ont permis d'établir que la Grèce du Nord a été partiellement recouverte de glaciers locaux (de vallée), essentiellement dans les régions de haute altitude (> à 2 000m). Les recherches menées récemment dans l'Ouest de la Grèce (Epire, Pinde) ont révélé une importante extension des glaciers (Hughes *et al.*, 1993, 2003, 2006a, 2006b, 2007 ; Hughes & Woodward, 2006). La région de Macédoine a fait l'objet d'études beaucoup moins importantes, essentiellement concentrées dans le massif de l'Olympe (Faugères, 1969 ; Smith & Nance, 1997). Les régions du Vermion et du Voras (à l'ouest de l'Almopie) n'ont fait l'objet d'aucune étude. Cependant, les altitudes élevées (comprise entre 2 000 et 2 500 m), la massivité des chaînes de montagnes et la présence de dépôts corrélatifs d'une activité glaciaire (moraines) indiquent un probable recouvrement des sommets par des glaciers.

La reconstitution des variations climatiques depuis le Tardiglaciaire (17 000 – 12 300 BP) a fait l'objet de très nombreuses recherches palynologiques dans la péninsule balkanique, effectuées dans des milieux sédimentaires lacustres.

D'importantes études palynologiques, entreprises à la fin des années 1960, ont permis d'obtenir de précieuses informations sur les oscillations climatiques observées en Macédoine centrale depuis 8 000 ans environ. A ce titre, les travaux pionniers de T.A. Wijmstra (1969) et de S. Bottema (1974, 1984) effectués à partir de sédiments prélevés dans l'ancien lac de Giannitsa, peuvent être cités comme exemple. Des travaux plus récents, mettant notamment en relation l'occupation humaine avec les changements de végétation, ont permis d'obtenir des informations complémentaires en Grèce du Nord (Gerasimidis & Athanasiadis, 1995 ; Athanasiadis *et al.*, 2000, 2003 ; Valamoti, 2004 ; Wenninger *et al.*, 2006), en Albanie (Denèfle *et al.*, 2000 ; Bordon *et al.*, *sous presse*) et d'affiner la reconstitution climatique au cours des 20 000 dernières années, de l'Holocène en particulier. Il convient ici de présenter les grandes phases de l'évolution depuis la fin du Tardiglaciaire.

Après l'expansion d'une végétation steppique à la fin de la dernière grande phase de refroidissement climatique (- 11 200), les arbres ont progressivement recolonisé les versants et une forêt essentiellement composée de chênes à feuilles caduques a reconquis les parties inférieures des versants et les secteurs de plaine (Andreou *et al.*, 1996).

Entre le **sixième** et le **troisième millénaire** avant notre ère, la composition floristique de la forêt a changé. L'un des faits majeurs est l'extension des conifères dans les zones de haute altitude et celle des forêts caducifoliées dans les régions de plaine. Ces modifications paysagères sont bien évidemment imputables à certaines modifications climatiques (Bottema, 1974), entraînant la reconquête des versants depuis certaines aires refuges (Bennett *et al.*, 1991 ; Willis, 1994).

Au début de l'Holocène, les températures ont graduellement augmenté pour atteindre au **cinquième millénaire** avant notre ère, des valeurs estivales supérieures de 4°C par rapport à l'actuel (Hantley & Prentice, 1988). De plus, des conditions plus humides proches de l'actuelle s'installent durablement dans la région après le **milieu du troisième millénaire** avant notre ère (Andreou *et al.*, 1996).

Ce n'est qu'à partir du **deuxième millénaire** avant notre ère que les activités agricoles entraînent la modification de la végétation ; cela inclut :

- l'apparition d'arbres fruitiers exploités par des populations (Bottema, 1974). Parmi les différentes espèces, on compte le noyer et le noisetier dans la partie supérieure des versants et l'olivier dans les secteurs de piémonts et de plaines.
- Un abaissement de la couverture forestière et dans le même temps une augmentation des surfaces de pâturage (Bottema, 1974 ; Willis, 1994). La déforestation pratiquée sur les versants a provoqué une érosion importante des formations superficielles et un alluvionnement accru des cours d'eau (Fouache, 1999, 2003).

En Macédoine centrale, les sites attestant d'une occupation au Néolithique ancien (tableau 7) sont très peu représentés. On note cependant une augmentation sensible de l'occupation dans les régions à partir de l'âge de Bronze récent. Les principales activités agricoles recensées sur les sites néolithiques étudiés se composent d'une part de l'engrain (*Triticum monococcum*), exploité en Macédoine centrale à partir de 6000 avant notre ère (Zohary & Hopf, 2000 ; figure 37). D'autre part, l'orge est également largement cultivée dès le Néolithique.

Les variations climatiques identifiées au cours des derniers millénaires ont eu pour conséquence de modifier la composition floristique de la péninsule balkanique.

L'alternance des périodes de refroidissement et de réchauffement climatique se traduit également par d'importantes variations eustatiques. Ainsi depuis 20 000 ans, le niveau moyen de la Méditerranée s'est rehaussé de 120 m (Pirazzoli, 1996).

Phase d'occupation	Début	Fin
Néolithique ancien	6700 / 6500 BC	5800 / 5600 BC
Néolithique moyen	5800 / 5600 BC	5400 / 5300 BC
Néolithique récent	5400 / 5300 BC	4700 / 4500 BC
Néolithique final	4700 / 4500 BC	3300 / 3100 BC
Âge de Bronze ancien	3300 / 3100 BC	2300 / 2200 BC
Âge de Bronze moyen	2300 / 2200 BC	1700 / 1500 BC
Âge de Bronze récent	1700 / 1500 BC	1100 BC
Âge de Fer ancien	1100 BC	700 BC

Tableau 7 : Périodes d'occupation des sites en Macédoine

(Andreou et al., 1996)

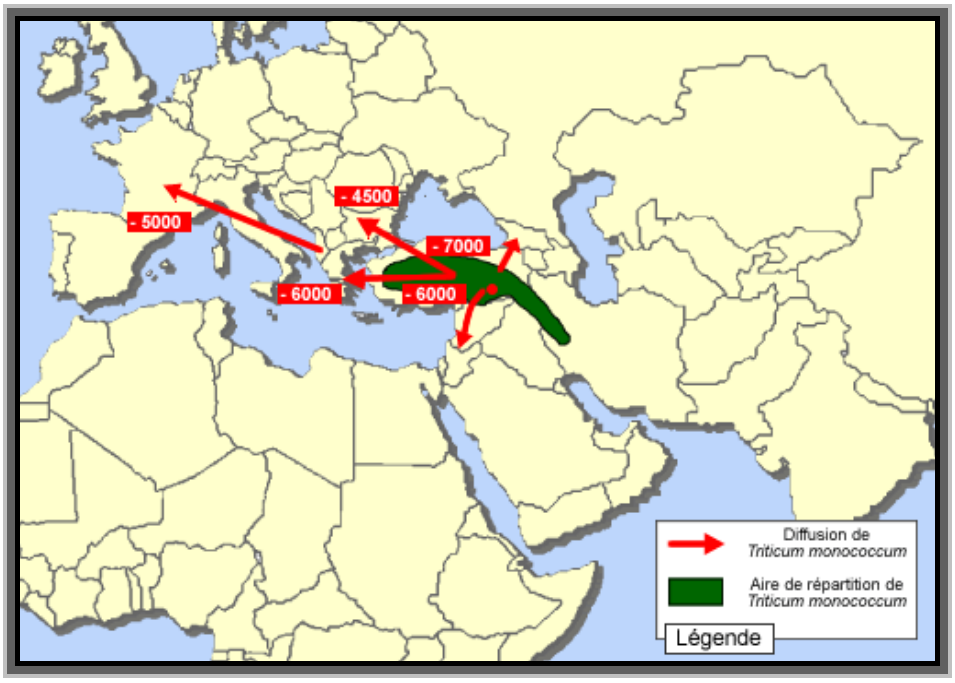


Figure 37 : Diffusion de l'engrain (*Triticum monococcum*) au Néolithique

(d'après Zohary & Hopf, 2000)

1.3.2.2. Variations eustatiques dans le domaine nord égéen (golfe Thermaïque) au cours des 20 000 dernières années : conséquences morphologiques

La remontée globale du niveau marin en Mer Egée s'inscrit dans une approche plus régionale à l'échelle de la Méditerranée et met en évidence un rehaussement du niveau de la mer de 120 m depuis 17 000 ans (Lambeck, 1995, 1996 ; Pirazzoli, 1991, 1996 ; Bruse *et al.*, 2001 ; Lambeck & Chapell, 2001 ; Lambeck & Purcell, 2005 ; Fouache & Pavlopoulos, 2005), de 35 m au cours des 10 000 dernières années (Vouvalidis *et al.*, 2005) et de 0,5 – 2 m au cours des deux derniers millénaires sur des littoraux plus ou moins stables d'un point de vue tectonique (Pirazzoli, 1976 ; Fouache *et al.*, 2005b, Vouvalidis *et al.*, 2005). La figure 38 confirme ainsi la tendance générale de remontée du niveau marin. Un ralentissement est également confirmé depuis 5 000 ans environ pour le golfe Thermaïque (1 m par millénaire).

L'évolution morphologique du golfe Thermaïque au cours des 20 000 dernières années est redevable à des travaux relativement récents (Chronis, 1986 ; Chronis *et al.*, 1991 ; Lykousis, 1991 ; Mimikou *et al.*, 1999 ; Poulos *et al.*, 2000 ; Perissoriatis & Mitropoulos, 1989 ; Perissoratis & Conispoliatis, 2003 ; Kapsimalis *et al.*, 2005 ; Lykousis *et al.*, 2005).

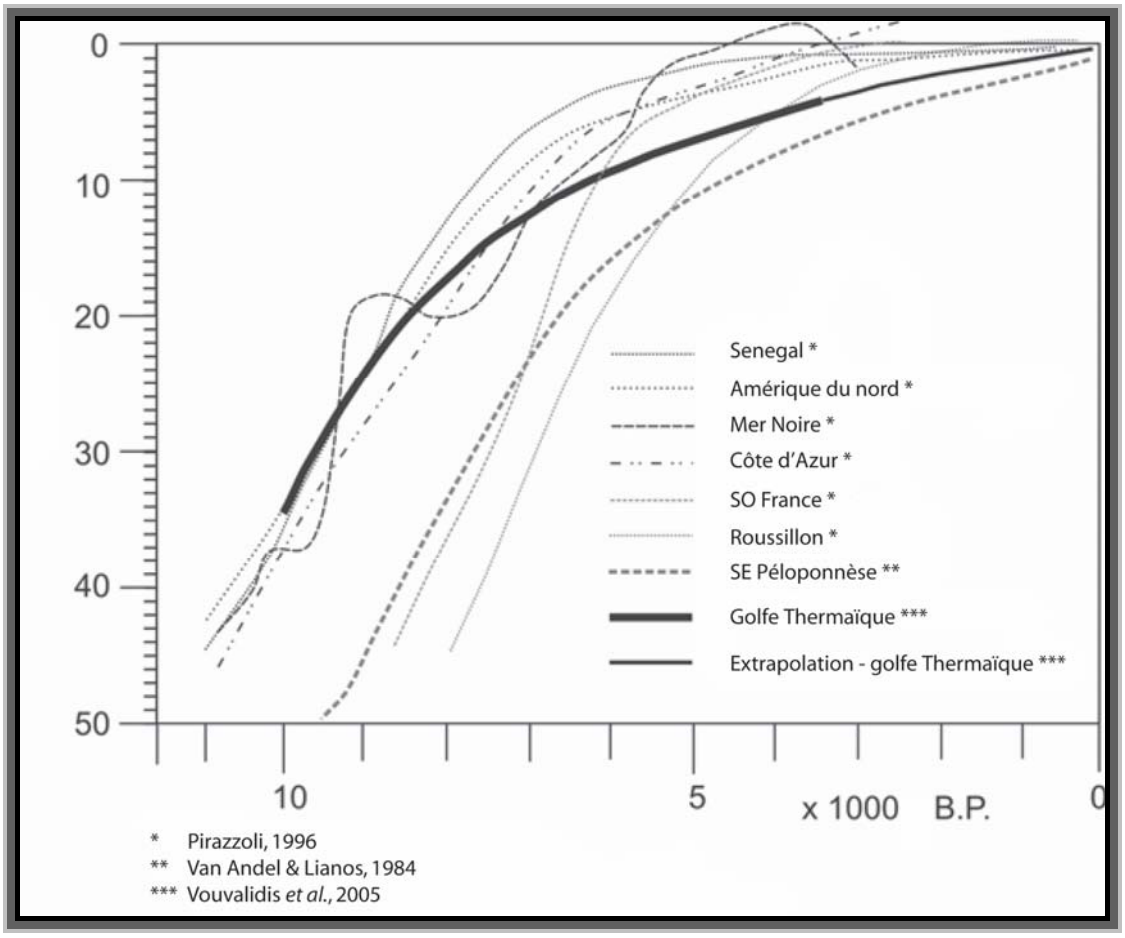


Figure 38 : Courbes de remontée du niveau marin pour quelques littoraux (Vouvalidis *et al.*, 2005)

L'évidence d'une position du trait de côte 90 km en retrait par rapport à l'actuel est un fait incontestable (Lykousis *et al.*, 2005). L'une des conséquences morphologiques est la modification du tracé des principaux cours d'eau. En effet, Il semble que l'Aliakmon, l'Axios et le Pinios aient eu un tracé commun avant de se jeter dans le golfe Thermaïque (figure 39).

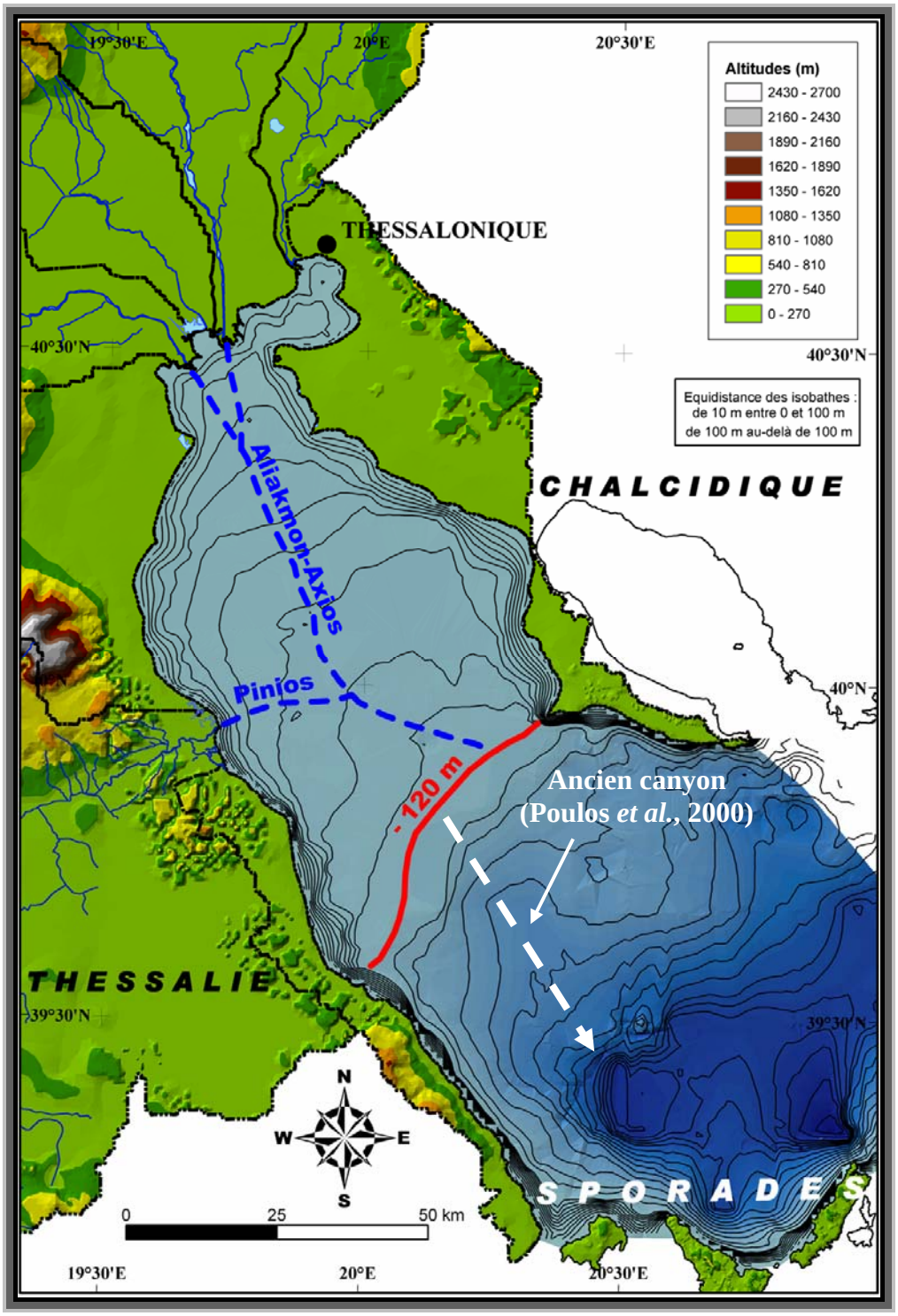


Figure 39 : Position du trait de côte il y a 20 000 ans (en rouge) et d'un ancien cours commun de l'Aliakmon, de l'Axios et du Pinios (en tirets bleus).
D'après Lykousis et al., 2005

a) Evolution morphologique du golfe Thermaïque au cours des 20 000 dernières années

Au cours des 20 000 dernières années, les variations du niveau marin et les apports sédimentaires des fleuves ont contribué à édifier une plate forme deltaïque composite dans le golfe Thermaïque et le bassin des Sporades (Mer nord égéenne). Trois unités majeures ont pu être distinguées et datées précisément (figure 40 ; Lykousis *et al.*, 2005) :

- L'unité A (figure 40a) est caractérisée par des sédiments relativement fins (argiles à sables), déposés au cours des 6000 dernières années. Elle se localise majoritairement dans le golfe Thermaïque actuel et le long de la côte de Piérie.

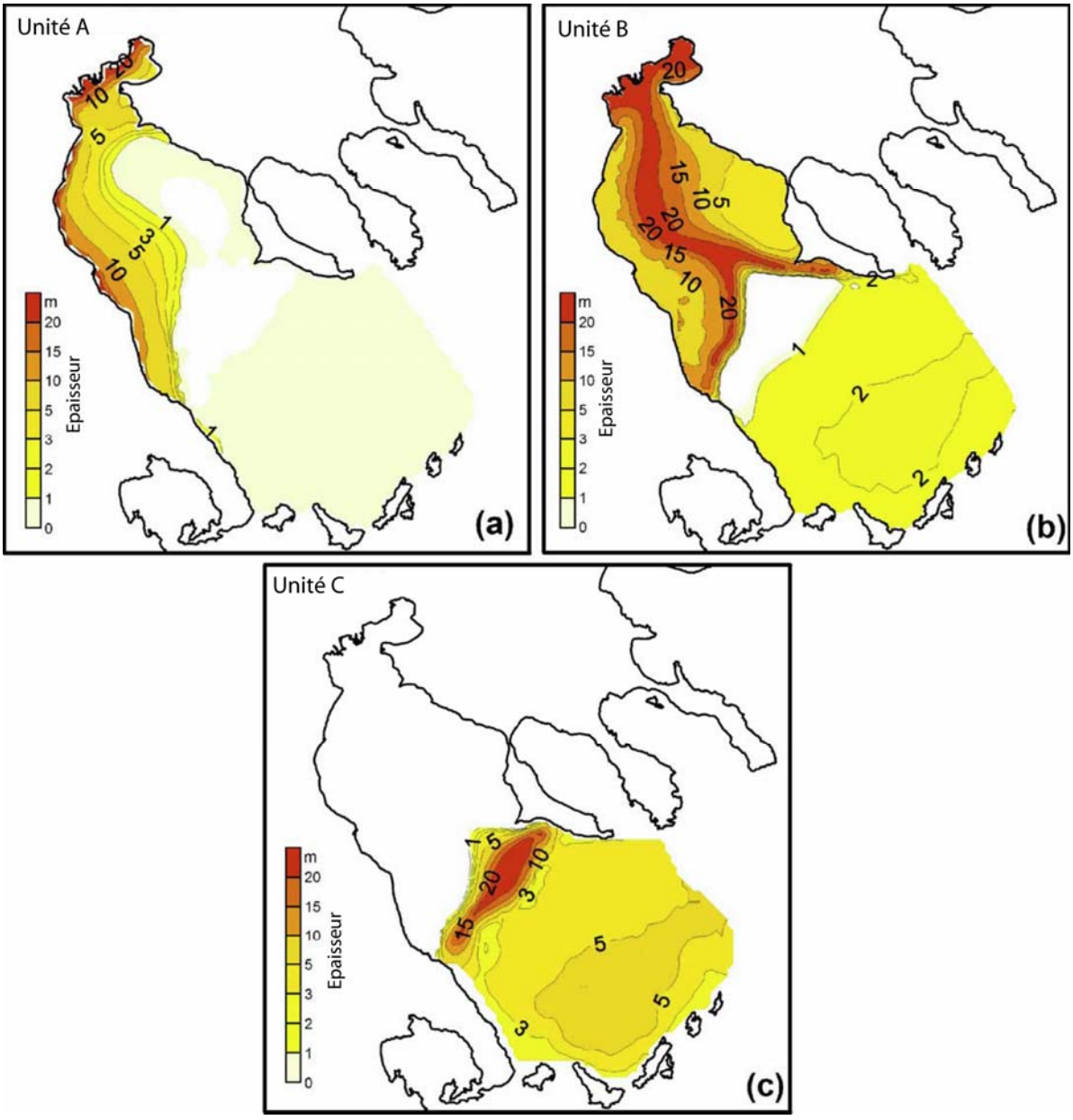


Figure 40 : Epaisseur des sédiments pour les unités A, B et C (Lykousis *et al.*, 2005)

Cependant, les précédentes recherches n'ont pas pu prouver avec certitude l'extension des sédiments déposés dans le golfe Thermaïque au cours des 6 000 dernières années. En effet, aucun carottage ni aucune étude chronostratigraphique n'a pu préciser la période d'édification de l'actuelle plaine de Thessalonique.

- L'unité B (figure 40b) est composée par des sédiments très plastiques de type argileux et limoneux. Ces dépôts ont été transportés par les différents fleuves (Aliakmon, Axios et Pinios), puis remaniés pendant une phase de transgression marine assez rapide entre -18 000 et -6 000 avant notre ère. En se basant sur l'étude la figure b, il est possible dans un premier temps de localiser approximativement l'ancien tracé du cours commun formé par l'Aliakmon et l'Axios, puis celui formé avec le Pinios dans la partie aval. L'épaisseur importante de sédiments composant l'unité B (20 m) au centre de l'actuel golfe Thermaïque, permet de l'affirmer.
- L'unité C (figure 40c) est composée de sédiments prodeltaïques, très plastiques (argiles à limons). Les dépôts ont été mis en place entre -24 000 et -18 000 avant notre ère et indiquent une extension des influences continentales jusqu'à 90 km vers le sud par rapport à l'actuel et de 125 km par rapport à il y a 6 000 ans. On peut en déduire qu'entre -24 000 et -6 000, le recul du trait de côte s'est effectué à un rythme moyen de 7 m par an.

Les études menées par Lykousis *et al.*, (2005) ont permis d'estimer la superficie totale des bassins-versants drainant la plaine de Thessalonique il y a 20 000 ans, supérieure de 10 % par rapport à l'actuel.

b) Conséquences sur l'étude de l'occupation humaine

Outre une modification certaine du tracé des différents cours d'eau et de la position du trait de côte, la remontée progressive du niveau marin a probablement dû submerger de nombreux habitats paléolithiques et néolithiques (Van Andel & Shackleton, 1982 ;Van Andel, 1989). Seuls subsistent quelques sites bien connus sur les marges de l'actuelle plaine de Thessalonique (French, 1967 ; Andreou *et al.*, 1996 ; Grammenos, 1997, 2003).

CONCLUSION

La région de Macédoine centrale est donc l'une des moins arrosée de Grèce (moins de 450 mm de précipitations annuelles en moyenne). Le climat actuel est de type méditerranéen à nuance continentale.

L'influence locale des vents, au premier rang desquels le Vardaris, s'écoulent depuis les plaines d'Europe centrale vers la vallée de l'Axios. Les températures fraîches et les fréquentes chutes de neige qui l'accompagnent contribuent à donner une nuance continentale au climat. C'est pour cette raison que J. Lefort (1986) parle de climat « salonicien ». Outre l'incidence sur les conditions climatiques, le Vardaris semble également influencer les phénomènes de marée.

L'évolution climatique depuis la fin de la dernière grande phase de glaciation, attestée dans l'hémisphère nord et en Grèce en particulier, est relativement bien connue et les productions écrites abondantes sur le sujet mettent en exergue de fréquentes fluctuations climatiques.

Les études palynologiques ont révélé des changements progressifs de végétation en lien avec des phases de réchauffement et de refroidissement, mais également avec le début des activités agricoles sur les versants dès le milieu du troisième millénaire avant notre ère, c'est à dire pendant le Néolithique.

Les variations eustatiques liées aux changements climatiques ont permis de révéler une hausse de 120 m du niveau de la mer depuis 20 000 ans. Les conséquences morphologiques dans le golfe Thermaïque ont été un retrait important du trait de côte entre – 20 000 et – 6000, modifiant considérablement le tracé des principaux cours d'eau (Lykousis *et al.*, 2005). Depuis 6 000 ans, on observe un phénomène de progradation deltaïque important de ce qui est aujourd'hui la plaine de Thessalonique.

Au cours du XX^{e} siècle, des archéologues, des historiens, des palynologues et des géologues ont justement tenté d'appréhender les rythmes d'avancée du trait de côte de la plaine de Macédoine centrale au cours des 6 000 dernières années. Les scénarii élaborés vont désormais être présentés puis discutés.

Chapitre 4 : évolution morphologique de la plaine de Macédoine centrale au cours des 6 000 dernières années, bilan des précédentes reconstitutions paléogéographiques

INTRODUCTION

L'évolution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale a nourri des interrogations dès la fin du XIX^{e} siècle et au début du XX^{e} siècle auxquelles des historiens ont tenté de répondre en proposant des schémas d'évolution des paysages.

Les scénarii élaborés reposent sur l'herméneutique des sources littéraires datant de la période antique et des récits de géographes voyageurs du XIX^{e} siècle et prennent en considération l'évolution morphologique du trait de côte, l'organisation du réseau hydrographique, les toponymes des cours d'eau, la localisation de l'ancien lac Loudias et un essai de restitution de l'emplacement des villes antiques.

Les premiers scénarii élaborés, en se basant sur cette méthode, sont l'œuvre d'A. Strück (1908) et de N.G.L. Hammond (1972). Au cours de la **première** et de la **deuxième section**, leurs travaux sont analysés de façon critique en prenant le soin de noter les contradictions et les problèmes d'interprétation des sources documentaires. L'exemple de Pella (intérêt archéologique majeur) a particulièrement été étudié dans la mesure où il apparaît qu'elle soit passée d'un statut de ville portuaire au V^{e} siècle av. J.-C. à une ville sans rapport avec la mer au début du VI^{e} siècle ap. J.-C.

La seconde reconstitution paléogéographique livrée par N.G.L. Hammond (1972) intervient 60 ans après celle d'A. Strück : les périodes d'instabilité politique et les guerres à l'origine de cette longue absence de recherches dans la région ont entravé la publication de nombreuses recherches archéologiques effectuées dans la région.

Avec l'intensification de recherches archéologiques menées dans la plaine de Macédoine centrale (Petsas, 1978 ; Andronikos 1984, 1993 ; Rodden, 1962, 1964, Rodden & Wardle, 1996), un regain d'intérêt pour l'évolution historique du « berceau » de la puissance macédonienne sera observé. De même des études paléoenvironnementales vont être menées autour de sites archéologiques majeurs et de nouveaux scénarii évolutifs de la plaine de Macédoine centrale vont pouvoir être affinés puis proposés. Les scénarii proposés par S. Bottema (1974), J. Bintliff (1976) et T.A. Astaras (Astaras & Sotiriadis, 1988) permettent d'obtenir une vision multimillénaire (**3^{e}, 4^{e}, 5^{e} section)**.

La **sixième section** replace la plaine de Macédoine centrale dans un cadre plus général d'étude géoarchéologique des aires deltaïques méditerranéennes, et grecques en particulier. Il conviendra de présenter les grandes tendances régionales de l'avancée du trait de côte à l'Holocène récent.

1.4.1. La première reconstitution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale (A. Strück, 1908)

La reconstitution paléogéographique livrée par A. Strück en 1908 (Annexe IV, figure 41) est la première du genre. Elle s'appuie en très grande partie sur l'interprétation des sources littéraires antiques et sur les descriptions de voyageurs ayant parcouru la région au XIX^{e} siècle (Leake, 1835).

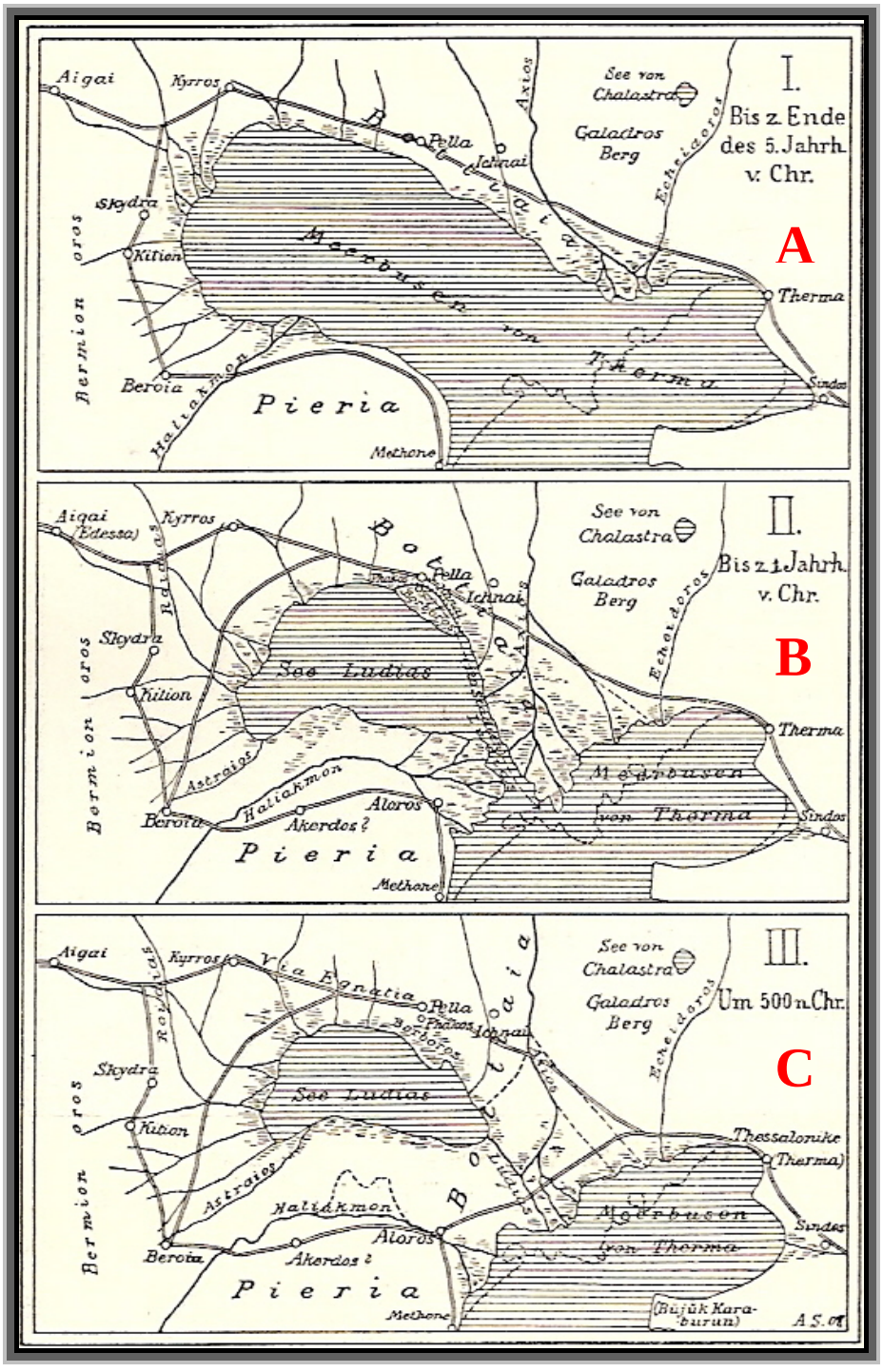


Figure 41 : Reconstitution paléogéographique élaborée par A. Strück (1908)

Les récits d'Hérodote, de Thucydide, de Strabon et de Tite-Live, qui décrivent les paysages de la plaine de Macédoine centrale durant l'Antiquité, ont en grande partie permis à A. Strück d'interpréter spatialement l'évolution diachronique du trait de côte au cours des époques classique, hellénistique et impériale.

La reconstitution d'A. Strück démontre que l'essentiel du comblement de l'ancien golfe marin s'est opéré en seulement 1 000 ans : entre le V^{e} s. av. J.-C. et le V^{e} s. ap. J.-C. La phase majeure d'alluvionnement se situe entre le V^{e} s. av J.-C. et le I^{er} s. av. J.-C. au moment où Pella passe d'une position littorale à une situation continentale.

1.4.1.1. Une avancée significative du trait de côte entre le V^{e} siècle av. J.-C. et le V^{e} siècle ap. J.-C.

La première carte (figure 41A) décrit la situation du trait de côte au V^{e} s. avant J.-C. : le golfe Thermaïque est beaucoup plus ouvert vers l'ouest que de nos jours, Pella est de fait en position littorale. La ville de Sindos est quant à elle localisée au bord de la mer. Cette première carte s'inspire directement des descriptions d'Hérodote et Thucydide (V^{e} siècle av. J.-C.) où sont mentionnées les villes côtières de Pella et de Sindos dans un épisode relatant l'avancée de la flotte du roi Xerxès. Pour fixer les limites approximatives du golfe Thermaique, Strück a également pris en compte le passage de l'ancienne route antique.

La deuxième carte de la reconstitution paléogéographique (figure 41B), établie à partir des récits de Plutarque, de Tite-Live et de Strabon, fait état de la position du trait de côte au I^{er} siècle avant J.-C. Cette carte suggère un comblement rapide (en seulement quatre siècles) du golfe Thermaïque : la progradation des deltas formés par les fleuves Aliakmon et Axios a favorisé la quasi fermeture du golfe. Cependant, un étroit chenal relie encore la ville de Pella à la mer, certainement le fleuve *Loudias*, mentionné par Strabon. En arrière des lobes formés par les fleuves Aliakmon et Axios, une vaste étendue d'eau est reliée à la mer par le fleuve Loudias.

La troisième carte élaborée par Strück (figure 41C), montre enfin qu'en 500 ap. J.-C., les deltas de l'Axios et de l'Aliakmon sont devenus coalescents, et ont totalement isolé une étendue lacustre : le lac Loudias, mentionné par Tite-Live et par Strabon. L'information capitale délivrée est l'isolement à l'intérieur des terres de la ville de Pella et la fermeture complète de la partie occidentale du golfe Thermaïque.

Le trait de côte en 500 après J.-C. semble d'ailleurs être assez proche de celui de 1908 (pointillés).

L'utilisation des marqueurs archéologiques avec en particulier le passage de la route connexe à la *Via Egnatia*, reliant Dion à Thessalonique, a permis à A. Strück de confirmer la fermeture de la partie occidentale du golfe Thermaïque après le III^{e} siècle ap. J.-C. Le passage d'une route en position littorale (déduit de la présence de l'arche du pont romain de Klidi, dont l'âge a été déterminé au milieu du XIX^{e} siècle ; Delacoulonche 1859) a renforcé cette idée.

L'évolution du tracé possible des principaux cours d'eau entre le V^{e} siècle av. J.-C. et le début du VI^{e} siècle ap. J.-C. a également été cartographiée.

1.4.1.2. L'évolution du réseau hydrographique : une restitution difficile du tracé des cours d'eau

Les trois fleuves principaux mentionnés par les sources littéraires, à savoir l'Aliakmon, l'Axios et l'Echeidoros (actuel Gallikos) sont reportés sur les cartes d'A.Strück. Cependant, le tracé des cours d'eau ne correspond pas toujours à ceux évoqués par les récits d'Hérodote et de Strabon en particulier et le cours du Loudias n'est même pas mentionné.

Au V^{e} siècle av. J.-C., Hérodote mentionnait la présence des cours confondus de l'Axios et de l'Echeidoros à l'est de la plaine centrale, à proximité de la mer. Cette information apparaît clairement sur la carte d'A. Strück, comme celle mentionnant la présence de marais dans la zone de confluence.

La figure 41B indique le déplacement du cours de l'Axios vers l'ouest. On remarque qu'il n'y a plus deux, mais quatre fleuves qui débouchent directement dans le golfe Thermaïque (conformément aux descriptions de Strabon). Le Gallikos et l'Axios ont désormais un écoulement indépendant ; seuls subsistent des paléochenaux (notés en pointillés par A. Strück) à proximité de l'embouchure du Gallikos.

Notons également que la carte représentant le réseau hydrographique cinq siècles après J.-C. est semblable à celle réalisée en 1908. Le Loudias et l'Axios s'unissent avant de rentrer ensemble dans le golfe Thermaïque, alors que l'Aliakmon et le Gallikos ont conservé, à peu de choses près, leur tracé acquis à la fin de l'Antiquité.

L'Aliakmon, l'Axios et le Gallikos sont correctement représentés d'après l'interprétation des sources écrites de l'Antiquité. En revanche, A. Strück ne localise, ni même mentionne le fleuve Loudias parmi les nombreux fleuves issus des massifs du Vermion et du Païkon et qui débouchent directement dans la mer. Ce fait semble surprenant dans la mesure

où Hérodote[1] indique que l'Aliakmon et le Loudias formaient un seul cours d'eau commun avant de se jeter dans le golfe Thermaïque. Pour quelles raisons A. Strück a-t-il oublié de préciser le tracé du fleuve Loudias alors que l'Aliakmon est pour sa part bien identifié ?

Parmi les fleuves mentionnés, on retrouve sur les figures 41B et 41C, le signalement du fleuve Rhoedias (noté Roidias par A. Strück) en provenance du nord-ouest, comme le mentionne Pline l'Ancien[2].

Enfin, l'Astraios (noté Astraeus par N.G.L. Hammond, 1972) s'écoule depuis la ville de Veria en direction du lac Loudias, comme A. Strück le signale sur les cartes du I^er^ siècle av. J.C. et celle du début du VI^e^ siècle ap. J.-C. Ce cours d'eau n'est cependant mentionné que par une source officielle[3] (Hammond, 1991) qui indique son écoulement sur la route reliant la ville de Veria à celle de Thessalonique, sans plus de précisions. On sait également que le nom de ce cours d'eau tire son origine de la mythologie grecque. Atraea était une nymphe qui fut choisie pour veiller sur Beroe[4] : cette dernière a donné son nom à la ville de Veria (appelée et écrite parfois Beroe). Pour localiser précisément l'Astraios, A. Strück se fonde également sur le récit de W. M. Leake (1835, p. 293) qui mentionne qu'il ne peut pas s'agir de l'Aliakmon, puisque non localisé sur la route entre Veria et Thessalonique. Il ne peut s'agir non plus de l'Axios, dont le nom était déjà connu grâce au poète Homère[5]. C'est donc de manière conventionnelle qu'A. Strück localise l'Astraios en aval de la ville de Veria. Au XIX^e^ siècle, il semble pourtant que le cours d'eau qui s'écoule à travers cette ville s'appelle le Gyphtico-potamos (Delacoulonche, 1859). De nos jours, il porte le nom de Tripotamos[6].

A. Strück se heurte à des problèmes d'interprétation des sources documentaires : nous pouvons le constater à travers la localisation des différents cours d'eau et la difficulté de les replacer idéalement dans un milieu en perpétuelle évolution morphologique.

Une des préoccupations majeures d'A. Strück était aussi de proposer une définition morphologique et une localisation précise du *Borboros* mentionné par Plutarque. Là aussi, des problèmes d'interprétation des textes antiques sont posés.

---

[1] Hérodote, VII, 127

[2] Pline l'Ancien, IV, 17

[3] *Aelian. Hist. Anim.* 1, 15, c. 1.

[4] Dion. *41. 212 f.*

[5] Homère, II, 99

[6] Carte topographique 1 : 50 000e de Veria (1980)

1.4.1.3. Le Borboros: un cours d'eau ou une zone de marais au pied de la ville de Pella ?

Au début du XX^{e} siècle, A. Strück est le premier à proposer une interprétation cartographique des sources antiques pour localiser l'île Phacos, dont Polybe et surtout Tite-Live mentionnent la présence dans la partie basse de la ville de Pella.

Pour mener à bien ses recherches, A. Strück se fonde principalement sur la mention de Plutarque qui renseigne la position de cette île au milieu de marais, séparée du reste de la ville par le *Borboros* (figures 41 et 42).

Les éléments qui permettent de confirmer cette hypothèse sont indiqués sur la carte ci-dessous. Le Borboros correspond à un vaste marécage de direction NW-SE, A. Strück y porte d'ailleurs la mention « Blato », qui est probablement l'altération du terme grec « Baltos » - βαλτος - signifiant marais.

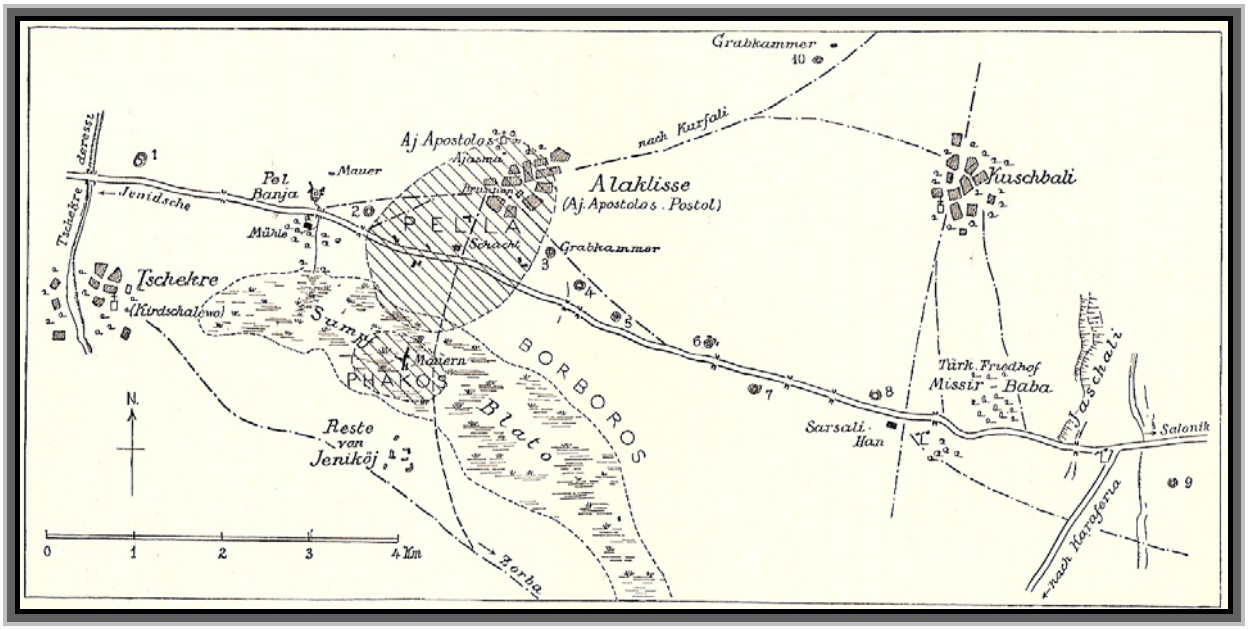


Figure 42 : Localisation du Borboros d'après A. Strück (1908)

Pourquoi existe-t-il une incertitude sur la définition exacte du Borboros ? Il est possible que les cartes établies aux XVIII^{e} et XIX^{e} siècles l'aient induit en erreur. En effet, toutes les cartes mentionnent la présence d'un lac au pied des villes de Pella et de Giannitsa dont il porte le nom. De même, les récits de W. M. Leake (1835) et d'A. Delacoulonche (1859), qui ont particulièrement étudié la localisation de l'île Phacos et la question du Borboros, semblent s'accorder sur le fait que le *Borboros* soit un marais.

On comprend dès lors, à la lecture du texte d'A. Delacoulonche (1859, p.56), l'origine de la méprise. Ce dernier considère le *Borboros* comme un marais en raison « de la nature même de ce lac. C'est moins en effet un lac qu'un vaste marais ». Dès lors on s'aperçoit que l'interprétation paysagère d'A. Strück est fondée sur la situation morphologique du milieu du XIX^{e} siècle et non sur les récits d'Eschine, de Plutarque et de Tite-Live !

La faible connaissance relative de l'évolution morphologique de la plaine de Macédoine centrale et le manque de sources documentaires entre le V^{e} siècle ap. J.-C. et le début du XIX^{e} siècle, laissent donc à penser, d'après les cartes et les récits de voyageurs, que le lac Loudias a toujours existé, du moins de l'Antiquité au XIX^{e} siècle.

La localisation des cours d'eau et de leurs toponymes, autant que la définition et l'emplacement précis du *Borboros* sont, nous venons de le voir, sont très incertaines. Que dire de la localisation des villes mentionnées par les sources antiques et reportées par A. Strück sur sa reconstitution paléogéographique ? Le manque de précision est évident.

Les approximations relatives à l'interprétation des sources manuscrites anciennes engendre une localisation incertaine des cours d'eau ainsi que de nombreuses villes et posent en toute logique l'exactitude du scénario proposé.

Pendant plus de soixante ans, plus aucune recherche en archéologie n'a été véritablement menée. Seules quelques missions militaires révèleront la présence de vestiges archéologiques (Rey, 1916 ; Casson, 1917).

La région de Macédoine centrale a été confrontée à de nombreux épisodes de conflits entre 1912 et la fin de la seconde guerre mondiale. La lutte pour l'indépendance de cette région vis-à-vis de l'empire Ottoman et les atrocités de la seconde guerre mondiale, avec les déportations de 40 000 juifs de Thessalonique, ont relégué au second plan les préoccupations scientifiques et archéologiques en particulier.

Au début des années 1970, N.G.L. Hammond va révolutionner la compréhension de l'histoire et de la géographie de la Macédoine centrale en publiant son *History of Macedonia* (1972). Ses recherches, entreprises au cours de missions pour l'armée britannique durant la seconde guerre mondiale, l'avaient poussé à étudier en détail cette région.

Il livre également une reconstitution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale.

1.4.2. N. G. L. Hammond (1972) : une édification de la plaine en seulement trois siècles

Tout comme A. Strück, N. G. L. Hammond livre une reconstitution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale fondée sur l'étude et l'interprétation cartographique des sources historiques (figures 43 et 44).

N.G.L. Hammond s'appuie sur les textes des auteurs grecs, principalement Hérodote, Thucydide, le Pseudo-Skylax et Strabon pour livrer son scénario retraçant les grandes étapes de l'évolution morphologique du territoire entre 600 et 356 av. J.-C, dates correspondant au début de l'affirmation du Royaume de Macédoine et à l'année de l'accession au trône de Philippe II.

La période d'édification de la plaine est, selon N.G.L. Hammond, relativement brève: 250 ans environ, contrairement au scénario d'A. Strück qui couvre un millénaire.

1.4.2.1. Une baie marine en grande partie comblée dès le VI^{e} siècle av. J.-C.

Vers 600-450 av. J.-C., l'ancienne baie marine (lagune ?) est quasiment colmatée (figure 43) et seul subsiste un golfe à la forme rectangulaire ! Pella et Ichnae, clairement identifiées par Hérodote comme deux villes littorales au Ve siècle av. J.-C., figurent à l'intérieur des terres sur cette première carte. De même, l'île Phacos est en position continentale. Fait étonnant, la mention de ce promontoire n'est signalée que tardivement dans les sources, puisque Tite-Live la cite expressément pour la première fois au II^{e} siècle av. J.-C (anachronisme ?).

En 356 av. J.-C. (figure 44) la plaine est créée et, en arrière d'une étroite bande de terre (10 km de large) qui s'étend depuis la Piérie jusqu'à la ville de Thessalonique, on retrouve l'ancien lac Loudias, avec la citadelle de Phacos isolée au milieu de cette vaste étendue lacustre (10 km de diamètre environ). Selon la reconstitution paléogéographique délivrée par N.G.L. Hammond, la position du trait de côte peut être comparée à celle du milieu du XX^{e} siècle : aucune avancée significative du trait de côte n'est donc à signaler depuis la mort de Philippe II.

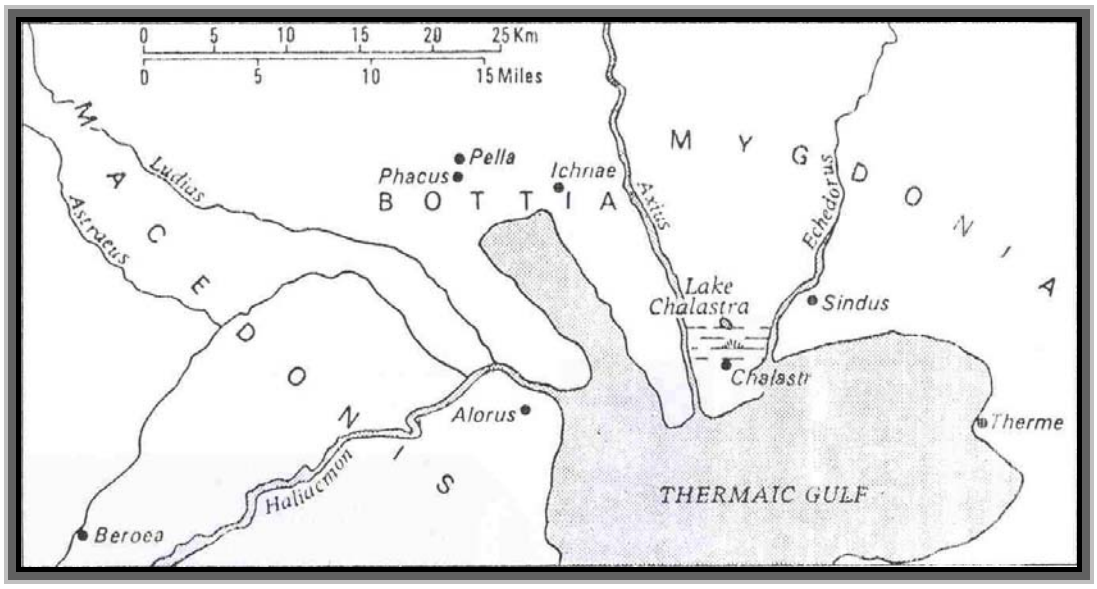


Figure 43 : Plaine de Macédoine centrale en 600 - 450 avant J.C. (Hammond, 1972)

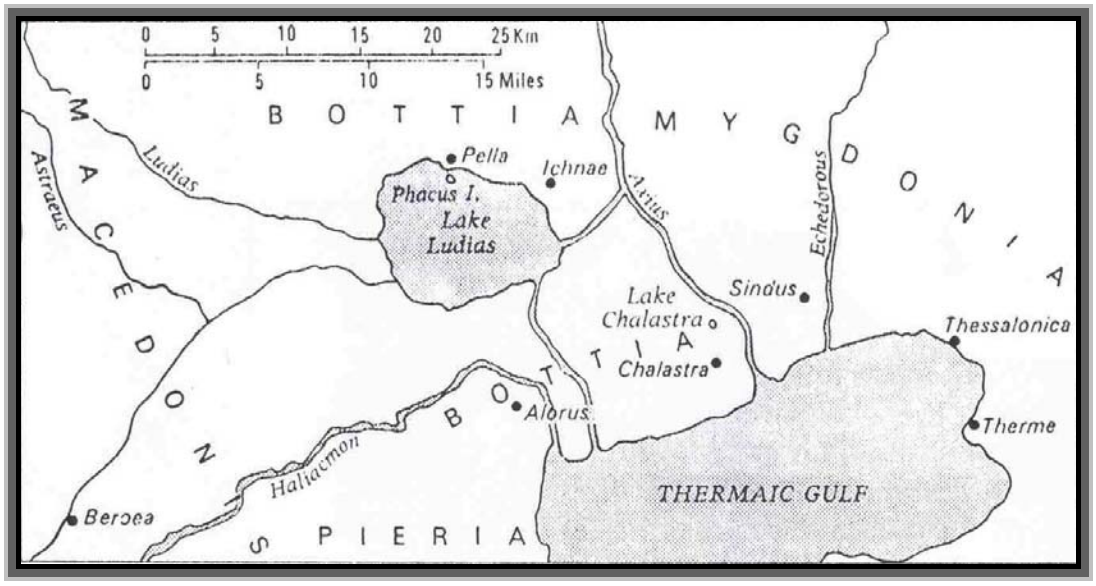


Figure 44 : Plaine de Macédoine centrale en 356 avant J.C. (Hammond, 1972)

1.4.2.2. Une organisation du réseau hydrographique aléatoire et certains anachronismes rendent fragile la fiabilité de la reconstitution paléogéographique

L'utilisation des sources littéraires pour préciser la disposition des cours d'eau et leur représentation génèrent de nombreuses interrogations quant à une interprétation fidèle des descriptions antiques.

Si l'on se réfère à la carte de 600 – 450 av. J.-C., N.G.L. Hammond se fonde probablement sur le récit d'Hérodote pour localiser les fleuves. En effet, l'Aliakmon et le Loudias forment un cours commun avant de se jeter dans la mer. Cependant, l'Axios et le Gallikos (noté Echeidorus) ne se rejoignent pas pour former un cours unique avant de déboucher dans la mer, comme l'indique pourtant clairement le texte d'Hérodote. N.G.L. Hammond mentionne néanmoins la présence de marais à proximité de leurs embouchures auxquels il donne le nom de « lac de Chalastra ». Les sources littéraires (Hérodote, Thucydide) ne mentionnent en aucune manière l'existence d'une zone lacustre au bord de laquelle serait installée la ville de Chalastra. On retrouve d'ailleurs chez A. Strück la même erreur d'interprétation.

Si l'on se réfère désormais à la carte de 356 av. J.-C., la cartographie du réseau hydrographique présente certains problèmes. En effet, il semble que N.G.L. Hammond se soit notamment fondé sur l'unique texte de Strabon (I^{er} siècle av. et ap. J.-C.) mentionnant l'alimentation du lac Loudias par un défluent de l'Axios. Aucune autre source avant celle de Strabon ne mentionne ce cours d'eau. La référence aux textes de Strabon par N.G.L. Hammond pour établir l'organisation du réseau hydrographique, est attestée par le déplacement du cours de l'Axios vers l'est, laissant en rive droite la ville de Chalastra. La seule source littéraire mentionnant ce changement de tracé est celle de Strabon au Ier siècle av. et ap. J.-C : l'anachronisme est de nouveau évident. La localisation précise du fleuve Loudias pose également un problème dans la mesure où le Pseudo-Skylax, ayant visité la Macédoine dans la première moitié du IV^{e} siècle av. J.-C., mentionne explicitement que pour se rendre à Pella il faut remonter le fleuve Loudias puis un chenal à l'intérieur des terres. Pour quelles raisons N.G.L. Hammond, qui avait certainement eu connaissance de cette source littéraire, n'a-t il pas nommé le cours d'eau sortant du lac Loudias, le Loudias, préférant conserver cette appellation pour le cours d'eau provenant du nord-ouest qui alimente le lac Loudias ?

N.G.L. Hammond mentionne également en 356 av. J.-C. un déplacement du cours du Gallikos vers l'est, laissant en rive droite la ville de Sindos : or, en 600 – 450 av. J.-C., cette dernière était en rive gauche. Quelles sources littéraires permettent de déduire un déplacement du cours du Gallikos ? L'auteur anglais ne nous renseigne pas sur le sujet.

D'une manière générale, la qualité graphique est très aléatoire. La cartographie des embouchures fluviales pose ainsi quelques interrogations. Sur les deux cartes présentant l'évolution morphologique de la plaine, les fleuves se terminent en forme d'estuaires, alors qu'ils devraient présenter une forme deltaïque, dans un contexte général de colmatage de l'ancienne baie marine.

De nombreuses approximations dans la localisation précise du tracé des différents cours d'eau reposent sur une connaissance parfois incertaine de nombreuses sources documentaires, ainsi que sur de nombreux anachronismes.

On retrouve d'ailleurs ces approximations pour la localisation et l'évolution du lac Loudias entre 600 et 356 av. J.-C.

1.4.2.3. L'apparition « Deus ex machina » d'un lac en 356 av. J.-C.

L'apparition d'une étendue lacustre et l'isolement de l'île Phacos au milieu des marais sont les faits morphologiques nouveaux de la plaine en 356 av. J.-C.

N.G.L. Hammond, qui avait eu connaissance des recherches d'A. Strück, considère pour sa part, que le lac Loudias existait déjà au milieu du IV^{e} siècle av. J.-C. Les descriptions du Pseudo-Skylax et de Tite-Live (reprenant les textes de Polybe) semblent corroborer l'hypothèse d'une occupation lacustre à cette époque dans la région de Pella.

Cependant, il est difficile de comprendre comment l'ancienne capitale du Royaume de Macédoine passe subitement d'une position d'isolement dans les terres en 600-450 av. J.-C. à une situation de ville située sur les marges d'une vaste étendue lacustre un siècle plus tard.

1.4.3. S. Bottema (1974) : l'utilisation de données paléoenvironnementales pour établir une chronologie à l'échelle de l'Holocène récent

1.4.3.1. Etude de séquences chronostratigraphiques

L'apport des données palynologiques a permis de préciser l'évolution de la végétation en lien avec les variations climatiques et l'anthropisation des versants. S. Bottema interprète, à partir des deux sondages réalisés à proximité de la ville de Giannitsa (figure 45), l'évolution paléogéographique de la plaine.

Une phase d'occupation marine (figure 45) est révélée à la base du sondage et datée de 7 270 BP (≈ 4 400 cal.BC). Progressivement, une phase d'occupation lagunaire s'installe et la transition avec le milieu continental s'effectue vers 6 590 BP (≈ 3 700 cal. BC). Des apports considérables d'eau douce contribuent à appauvrir considérablement le milieu de vie saumâtre et peu d'espèces de mollusques subsistent. Deux phases d'occupation lacustre sont ensuite enregistrées : la première, assez importante entre -5 et -1.50 m de profondeur et la seconde, sub-actuelle et relativement peu importante, avec à peine 1 m d'épaisseur (concordance avec l'analyse stratigraphique des sondages effectués par la NEDECO, *cf. supra*).

C'est à partir de cette unique séquence chronostratigraphique, associée à l'étude palynologique que S. Bottema a pu élaborer son scénario paléogéographique pour l'ensemble de la plaine de Macédoine centrale. Le manque de données additionnelles (autres carottages) ne permet qu'une interprétation très incertaine où seule une tendance générale peut être dégagée.

1.4.3.2. Une évolution à l'échelle de l'Holocène récent

Contrairement aux travaux d'A. Strück (1908) et de N.G.L. Hammond (1972), le scénario proposé par S. Bottema révèle une évolution plurimillénaire de la plaine de Macédoine centrale (figure 46).

La vignette 46A permet de constater une large occupation marine de l'espace aux alentours de 8 500 BP (≈ 5 700 cal. BC), avec une position littorale du site de Nea Nikomideia (il est inutile de mentionner la ville de Pella afin d'éviter tout anachronisme).

La vignette 46B rend compte de la situation entre le début du III^{e} siècle av. J.-C. et l'an 0.

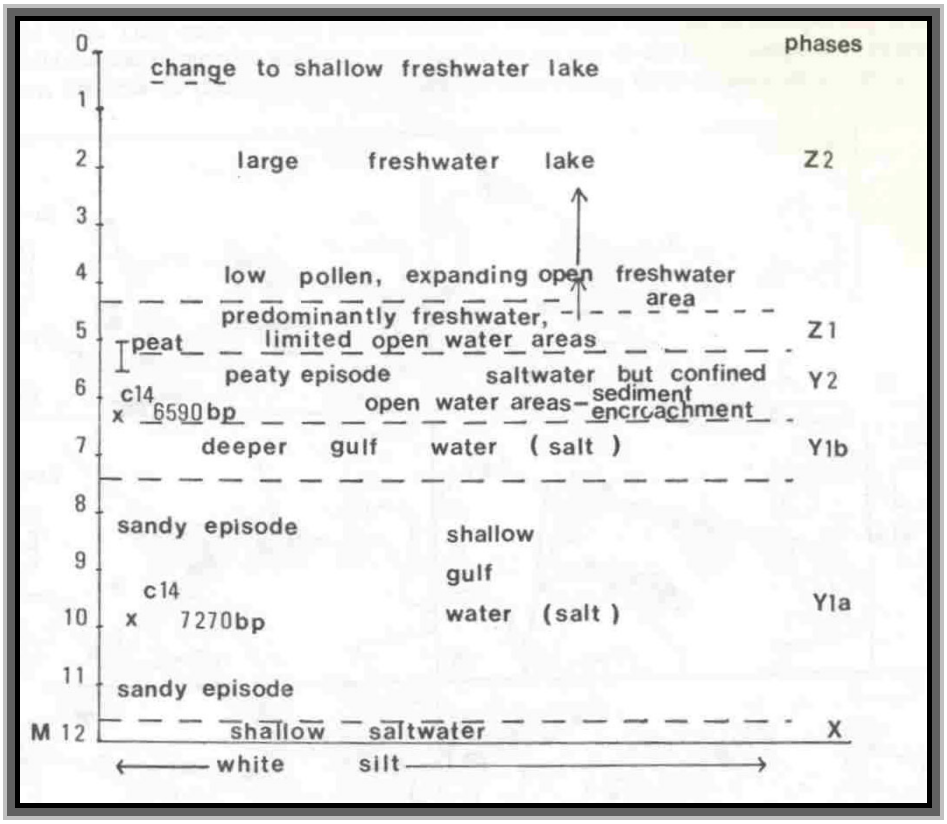


Figure 45 : Séquence chronostratigraphique du sondage de Giannitsa (Bottema, 1974, d'après Bintliff, 1976)

***X** = Forêts de marécage ; **Y1a** = comme **X** avec une part plus importante de forêts de marécage ; **Y1b** = baisse notable des forêts de plaine ; **Y2** = Conditions de **Y1a** ; **Z1** = **Y2** ; **Z2** = Conditions de **X** et **Y1a** avec des phases de clairance (?) dues aux activités agricoles*

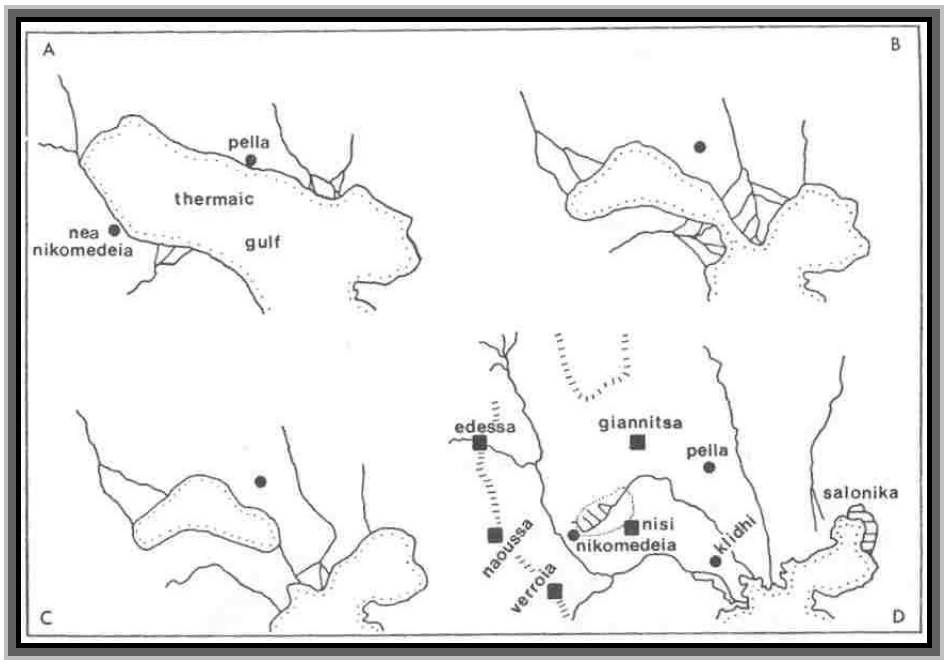


Figure 46 : Reconstitution paléogéographique selon S. Bottema (1974)

***A** = 8500 BP (C14) ; **B** = 200 – 0 avant J.C. ; **C** = 500 après J.C. ; **D** = 1900 après J.C.*

La progradation des deltas de l'Aliakmon et de l'Axios a eu pour conséquence de combler de manière importante le golfe Thermaïque. Cependant, Pella est toujours considérée comme une ville littorale alors que Strabon la mentionne expressément au bord du lac Loudias.

La vignette 46C indique qu'au début du VI^{e} siècle ap. J.-C., la plaine de Thessalonique s'est édifiée grâce à la coalescence deltaïque des deux fleuves précités. Pella n'est plus sur la rive d'un lac, mais se retrouve isolée à l'intérieur des terres.

Enfin, la vignette 46D fait état de la configuration des paysages en 1900 : il est possible d'observer la présence d'un lac aux alentours de Nea Nikomideia et de Nisi.

La reconstitution paléogéographique élaborée par S. Bottema a le mérite d'exploiter pour la première fois des données paléoenvironnementales. Ces dernières permettent de livrer une interprétation spatiale de l'évolution de la plaine au cours des 8 500 dernières années. Cependant, le manque de données additionnelles d'autres endroits de la plaine fragilise les extrapolations. L'absence de datations entre 8500 BP et l'Antiquité et entre la fin de l'Antiquité et la période contemporaine limite la compréhension des phénomènes évolutifs du secteur.

1.4.4. J.L. Bintliff (1976) : un scénario détaillé qui met en évidence une progradation depuis 6 000 ans

La reconstitution paléogéographique de Bintliff repose intégralement sur la corrélation entre sources documentaires (textes antiques, récits de voyageurs) et la réinterprétation de données paléoenvironnementales (Bottema, 1974, Shackleton, 1970). Le scénario proposé (figure 47) affine la chronologie de l'évolution de la plaine de Macédoine centrale proposée par S. Bottema.

La vignette 47A de la reconstitution paléogéographique présente la situation du trait de côte depuis les temps préhistoriques jusqu'aux environs du VI^{e} s. avant J.-C : on constate que le golfe Thermaïque y occupe la majeure partie de la plaine actuelle.

La figure 47B représente la situation telle qu'elle devait exister aux temps d'Hérodote et de Thucydide, dont les récits ont permis de faire un état des paysages au V^{e} s. avant J.C. La progradation de la plaine ainsi que la coalescence des deltas de l'Aliakmon et de la Moglenitsa (Mavrotopos) sont mises en évidence.

La vignette 47C indique au IV^e^ s. avant J.C. une continuelle et rapide accrétion des sédiments deltaïques des quatre fleuves débouchant dans le golfe Thermaïque. La ville de Pella reste néanmoins en position littorale.

La vignette 47D, montre la situation à l'époque de Strabon, c'est à dire aux environs du I^er^ s. avant J.-C. On y observe une incursion marine à l'intérieur des terres, Pella restant toujours une ville littorale malgré l'avancée importante du delta de l'Axios dans la mer.

La vignette 47E présente la plaine de Macédoine Centrale en 500 après J.-C. : le golfe Thermaïque est colmaté par la coalescence des deltas de l'Aliakmon et de l'Axios.

Dans la figure 47F, J.L. Bintliff reprend la carte de A. Strück et reporte la position du littoral en 1908 ainsi que la présence du lac et des marais de Giannitsa.

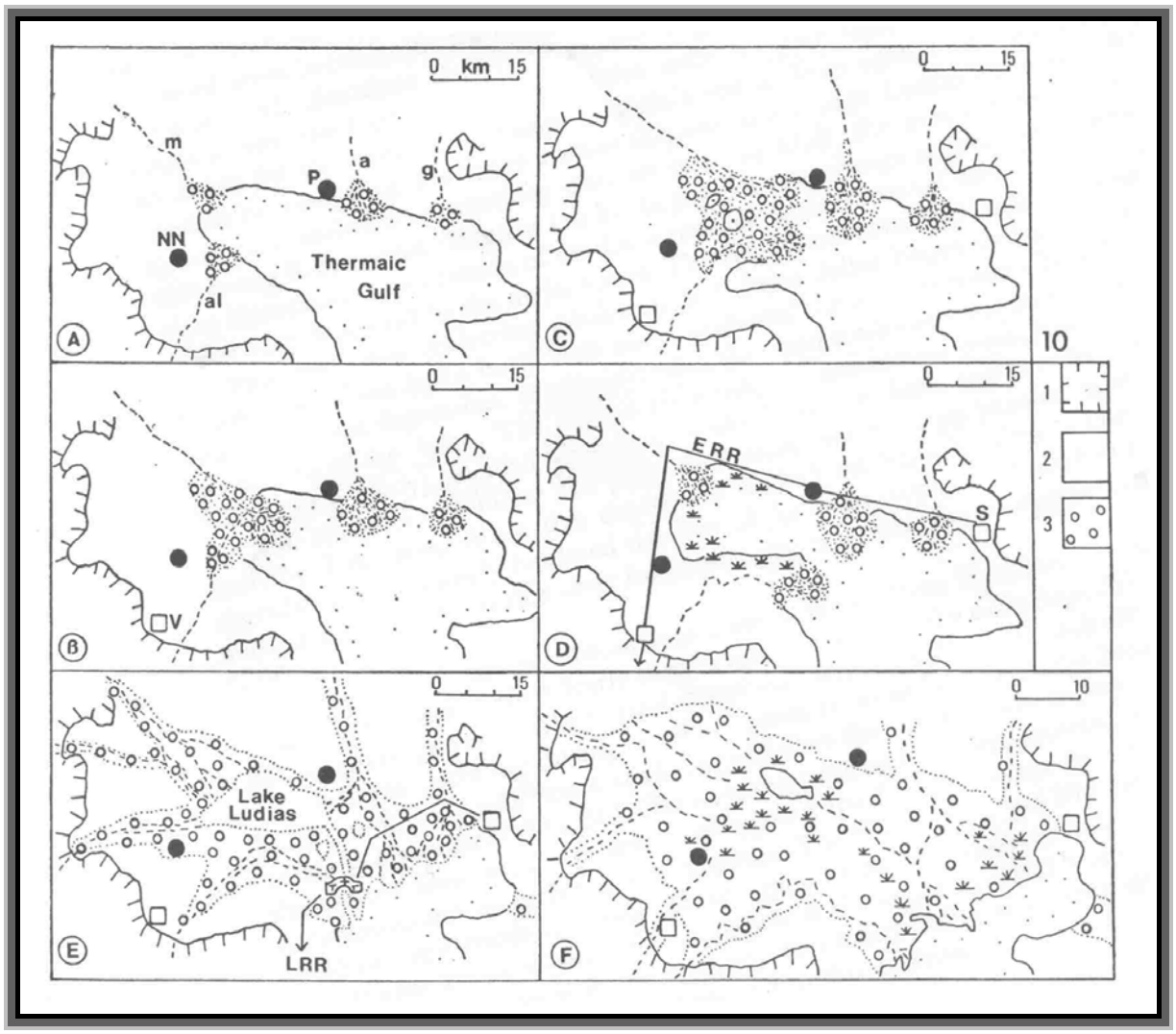


Figure 47 : Reconstitution de la plaine de Macédoine Centrale (Bintliff, 1976)

***A** = période préhistorique ; **B** = V^e^ s. avant J.C. ; **C** = IV^e^ s. avant J.C. ; **D** = an 0 ; **E** = 500 après J.C. ; **F** = 1908 après J.C. ; **1** = Calcaires cristallins ; **2** = Roches Tertiaires et Quaternaires (Travertins, sables, dépôts lacustres) ; **3** = Remplissage deltaïque Holocène (Younger « Historic » Alluvial Fill) ; **NN** = Nea Nikomedeia ; **P** = Pella ; **S** = Thessalonique ; **V** = Veria ; **m** = Fleuve Moglenitsa ; **al** = Fleuve Aliakmon ; **a** = Fleuve Axios ; **g** = Fleuve Gallikos ; **ERR** = Early Roman Road ; **LRR** = Late Roman Road*

1.4.5. T.A. Astaras et L. Sotiriadis (1988) : un travail de synthèse mené à partir des recherches d'A. Strück (1908) et de N.G.L. Hammond (1972)

Le scénario proposé par T.A. Astaras et L. Sotiriadis n'apporte aucune précision supplémentaire sur l'évolution du trait de côte de la plaine de Macédoine centrale au cours des 6 000 dernières années par rapport aux précédentes reconstitutions paléogéographiques. Le scénario proposé (figure 48) débute à partir de l'époque antique : il semble donc que les précédents travaux relatifs au déplacement du trait de côte depuis le Néolithique, réalisés par S. Bottema et J. Bintliff, ne soient pas pris en compte.

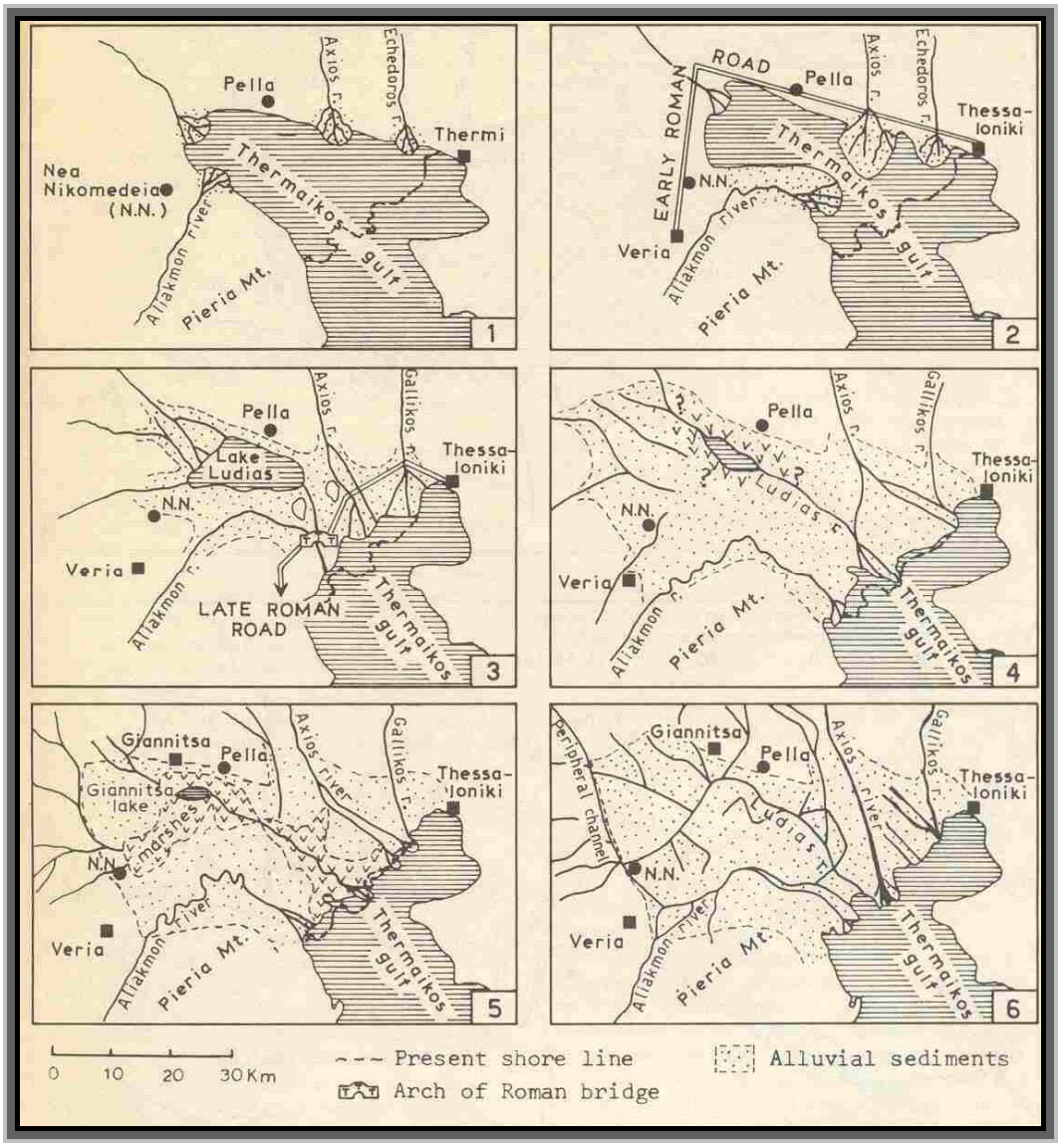


Figure 48 : Reconstitution paléogéographique établie par T.A. Astaras et L. Sotiriadis (1988)

1 *= Périodes archaïque-classique (500 avant J.C.) ;* ***2*** *= « Early Roman Period » (an 0) ;* ***3*** *= « Late Roman Period » (500 après J.C.) ;* ***4*** *= 1908 (d'après Strück, 1908) ;* ***5*** *= 1926 ;* ***6*** *= 1979*

1.4.6. La progression holocène des deltas méditerranéens

Les études géoarchéologiques privilégiant l'approche paléoenvironnementale se sont largement généralisées à l'échelle de la Méditerranée et de la Grèce en particulier. Les rythmes de progradation des deltas étudiés ont permis de constater des analogies, mais également des différences dans les grandes étapes d'édification de ces formes littorales.

Les facteurs climatiques ont un rôle prépondérant sur l'alluvionnement des cours d'eau (péjorations climatiques, phases d'aridité, Bintliff, 2002).

Les facteurs anthropiques, avec la mise en valeur des versants par les sociétés humaines ont également joué un rôle prépondérant et ont contribué à augmenter généralement la charge solide des fleuves. Ainsi peut-on noter aux époques romaines et ottomanes une avancée significative du trait de côte (Fouache, 1999). Les aires deltaïques les plus importantes (Ebre, Rhône, Tibre, Arno et Pô) semblent avoir connu une progression très rapide à l'époque romaine, à laquelle s'ajoute pour certaines (Pô) une seconde phase d'extension accélérée à partir du XII^{e} siècle.

Les deltas d'Asie mineure (Küçük Menderes et Büyük Menderes) ont pour leur part révélé une progradation importante entre 300 et 100 av. J.-C. (Fouache, 1999, Brückner, 2003, 2005 ; Brückner *et al.*, 2001) et accélérée à partir du XIX^{e} siècle.

1.4.6.1. Les deltas de la façade ionienne

Les travaux d'E. Fouache (1999, 2003, 2006 ; Fouache *et al.*, 2005a) portant sur certains deltas du littoral oriental de la Grèce (Achéloos, Louros et Arachtos) et de l'Albanie (Drin, Mati, Seman et Vjosë), ont permis de mettre en évidence l'importance de l'alluvionnement historique (Vita-Finzi, 1969 ; Bintliff, 2002).

Ces études indiquent un fait incontestable : l'amorce d'une progradation deltaïque à partir du quatrième millénaire avant notre ère. Les péjorations climatiques (Petit Âge Glaciaire notamment) semblent avoir des conséquences directes sur l'alluvionnement (Grove, 2001 ; Grove & Rackham, 2001), autant que les mutations socio-économiques (mise en valeur des versants pendant la période ottomane par exemple). Ainsi peut-on noter pour le delta du Seman et de la Vjosë (Albanie), un déplacement du trait de côte de 5 km au cours des cinq derniers siècles (Fouache, 2006).

Les travaux d'A. Vött (2007) portant sur l'étude de sept secteurs deltaïques de Grèce occidentale confirment et complètent les études menées précédemment par E. Fouache (1999,

2005a). L'étude des séquences chronostratigraphiques a notamment permis la reconstitution des variations eustatiques au cours de l'Holocène récent.

Les paramètres eustatiques et tectoniques sont largement pris en compte pour rendre compte de l'évolution des littoraux (Pirazzoli, 1988 ; Pirazzoli *et al.*, 1994, 1996 ; Poulos *et al.*, 2005) et des aires deltaïques en particulier (Vött, 2007).

1.4.6.2. Les deltas de la façade égéenne

Les travaux menés à la fin des années 1970, sur l'évolution holocène du delta du Sperchios (Kraft *et al.*, 1977) et de quelques autres aires deltaïques (Pavlopoulos *et al.*, 2006, 2007), indiquent également une activité importante de l'alluvionnement à partir du quatrième millénaire avant notre ère, renforcée pendant l'Antiquité grecque et romaine.

Les deltas grecs de la façade égéenne ont été, de façon générale, moins étudiés d'un point de vue géoarchéologique que leurs homologues de la façade ionienne. Il semble cependant que les facteurs tectoniques et eustatiques revêtent une importance capitale dans la compréhension de la genèse des aires deltaïques (Van Andel & Lianos, 1984 ; Van Andel & Perissoratis, 2006).

CONCLUSION

Les premières tentatives de compréhension liées à l'évolution morphologique de la plaine de Macédoine centrale, fondées sur l'exclusive herméneutique des sources littéraires datant de l'Antiquité, sont entièrement redevables à A. Strück (1908) et à N.G.L. Hammond (1972).

Leurs travaux respectifs mettent en évidence le comblement d'une ancienne baie marine, mais à des rythmes de colmatage différents. Si A. Strück considère qu'entre le V^{e} siècle av. J.C. et le début du VI^{e} siècle ap. J.-C., la plaine s'est édifiée avec une phase d'occupation lacustre au I^{er} siècle av. J.-C, pour sa part, N.G.L. Hammond évoque une période de colmatage beaucoup plus restreinte : entre 600 et 356 av. J.-C., avec l'installation du lac Loudias au moment de la montée sur le trône de Philippe II, au milieu du IV^{e} siècle av. J.-C. Les scénarii élaborés tentent également de restituer la position des fleuves.

L'apport des données paléoenvironnementales au milieu des années 1970 a permis d'adapter la chronologie à une évolution multimillénaire, les scenarii proposés débutant alors à partir de l'Holocène récent. Cependant, les datations relatives imprécises (sources historiques) et le nombre peu élevé de datations absolues (2) limitent l'interprétation des variations du trait de côte. De nombreuses contradictions et incertitudes apparaissent à la lecture attentive des différents scénarii proposés.

Les périodes de colmatage ainsi que les processus morphologiques ne sont pas détaillés, pas plus d'ailleurs que les rôles joués par les apports sédimentaires des fleuves drainant aujourd'hui la plaine (Aliakmon, Axios, Gallikos et Loudias principalement).

Une étude paléoenvironnementale se justifie donc, incluant des carottages additionnels répartis de manière homogène dans la plaine. L'adoption d'un protocole d'études et le choix des techniques de laboratoire devraient permettre de livrer un nouveau scénario paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale au cours de l'Holocène récent.

Conclusion de la première partie

La platitude actuelle de la plaine de Thessalonique ne reflète en aucune manière un manque de dynamisme morphologique, bien au contraire. L'évolution géologique, amorcée dès le Tertiaire avec la création d'un vaste bassin d'effondrement sous l'effet d'une tectonique très active, qui a été progressivement comblé depuis par des sédiments détritiques, a subi de nombreuses évolutions au cours du Quaternaire. Les variations eustatiques ont en particulier provoqué des changements répétés du trait de côte et depuis 6 000 ans, à la faveur du ralentissement général de la remontée du niveau marin en Méditerranée, une progradation deltaïque est observée.

L'évolution morphologique de la plaine de Thessalonique a suscité au cours du XX^{e} siècle de nombreuses réflexions de la part d'historiens, d'archéologues et de spécialistes des géosciences désireux de comprendre notamment comment Pella avait pu être un port au V^{e} siècle av. J.-C. et être aujourd'hui enclavée à près de 30 km à l'intérieur des terres.

Les scenarii proposés par les différents auteurs renseignent sur une avancée du trait de côte depuis 6 000 ans environ. Les rythmes de colmatage de l'ancienne baie marine restent incertains en raison des données exploitées.

En effet, l'interprétation des sources historiques, utilisée par chacun des auteurs, fait apparaître certaines divergences lors des tentatives de reconstitution paléogéographique de la plaine. L'apport des données paléoenvironnementales et des séquences chronostratigraphiques ne permet pas d'indiquer de manière précise les étapes du comblement de la partie occidentale du golfe Thermaïque au cours de l'Holocène récent. Le nombre insuffisant de carottages (également de datations par le radiocarbone) et leur localisation, concentrée au pied du massif du Païkon et de la ville de Giannitsa, limitent toute tentative d'extrapolation régionale.

S'il faut reconnaître la valeur pionnière des premiers travaux réalisés au cours des trois premiers quarts du XX^{e} siècle et l'apport important dans la compréhension de l'évolution générale de la plaine, les travaux effectués au cours des trois dernières décennies sur la question ne présentent aucune avancée significative dans la connaissance des processus morphologiques.

C'est à partir de ces diverses constatations que l'idée est venue de proposer une nouvelle approche capable de combiner l'utilisation des données historiques - associant sources littéraires et iconographiques anciennes et récits de voyages - et l'apport de nouvelles données paléoenvironnementales.

La géographie historique repose sur l'étude diachronique des sources documentaires et permet, sans aucune tentative d'interprétation, de fournir les premiers éléments d'une évolution paysagère à travers les trois derniers millénaires. La seule exégèse des documents fait également ressortir des divergences entre les auteurs et pose le problème de leur fiabilité.

DEUXIÈME PARTIE

APPORT DE LA GÉOGRAPHIE HISTORIQUE POUR COMPRENDRE L'ÉVOLUTION DES PAYSAGES DE MACÉDOINE CENTRALE

Introduction de la deuxième partie

La géographie historique est la discipline qui a pour but de restituer l'évolution des paysages d'une région donnée sur une période précise de l'histoire : elle est fondée sur l'étude diachronique de sources documentaires (textes, supports iconographiques, cartes…). Les précurseurs de cette discipline, au rang desquels il convient de citer les noms de Louis Robert et de Raoul Baladié, ont largement inspiré par la suite les travaux d'historiens et de géographes en particulier. Cette méthode, adoptée récemment par Emmanuel Le Roy Ladurie pour juger de l'évolution climatique dans les Alpes depuis l'an mille (Le Roy Ladurie, 1983), a par la suite été reprise puis appliquée dans d'autres circonstances en Macédoine orientale (Lefort, 1986) et en Grèce occidentale (Fouache, 1999) pour rendre compte de l'évolution des paysages.

La géographie historique prend en compte tout type de document susceptible de fournir des informations sur la configuration des unités du paysage à un moment précis de l'histoire. Elle permet de révéler notamment la disposition des chaînes de montagnes, l'organisation du réseau hydrographique, la position des littoraux, la localisation de villes ou plus simplement, l'emplacement d'édifices.

Le présent travail s'inspire de cette démarche et vise à s'interroger en particulier sur la mobilité des littoraux et du tracé des principaux cours d'eau de Macédoine centrale au cours des derniers millénaires, mobilité mise en évidence par les précédentes reconstitutions paléogéographiques (*cf. première partie, chapitre 4*) en partie fondées sur l'analyse des sources documentaires anciennes. Il faut également souligner à ce sujet les précieuses recherches de F. Papazoglou (1988) qui ont porté sur l'étude des villes de Macédoine à l'époque romaine et celles de M.B. Hatzopoulos (Hatzopoulos et Loukopoulou, 1987 ; Hatzopoulos, 2006). Ce travail majeur pour la compréhension historique de la région constitue toujours une référence incontournable. Il aborde le problème de la localisation des villes et des régions citées par les auteurs antiques. Le travail accompli sert de base à toute étude de géographie historique traitant de la Macédoine et il a semblé logique d'adjoindre à notre travail les cartes générales et régionales établies d'après ses recherches (figures 48 et 49). Ces documents permettront de renseigner le lecteur sur la toponymie ancienne et actuelle

des villes, des provinces, des fleuves et des montagnes de Macédoine telle qu'elle existait durant l'Antiquité.

En effet, tenter de localiser une ville antique ou d'identifier un cours d'eau est particulièrement complexe dans le cas de la Macédoine dans la mesure où ce territoire a été occupé par des royaumes (téménide, macédonien…) et des empires (romain, byzantin, ottoman…) qui, au cours de l'histoire, ont pris le soin de débaptiser les noms des villes (quand celles-ci n'étaient pas détruites), des cours d'eau, des massifs montagneux, pour en donner de nouveaux.

La toponymie des lieux s'est ainsi successivement déclinée en grec, puis parfois en latin, plus sûrement en slave et en turc, pour enfin être de nouveau en langue grecque, depuis 1912 et le rattachement de la Macédoine à la Grèce. Il est donc souvent difficile de localiser une ville dont l'existence est attestée pendant l'Antiquité par les auteurs anciens, mais que la toponymie actuelle ou celle du XIX^{e} siècle ne permet d'identifier avec certitude, même si des vestiges archéologiques semblent le suggérer.

A ces problèmes de toponymie s'ajoutent ceux du nombre et de la fiabilité des sources documentaires disponibles : le travail de synthèse et d'interprétation devient donc plus difficile. Ces difficultés, rappelées par F. Papazoglou (1988), avaient déjà été soulevées un siècle et demi auparavant par E.M. Cousinéry ; en 1831, celui-ci s'étonnait du peu de sources antiques qui décrivent la géographie et l'histoire de la Macédoine :

« Ce n'est pas de la Grèce proprement dite que je veux entretenir mes lecteurs ; c'est d'un peuple qui, malgré son origine pélasgique et ses liaisons avec les Hellènes, était regardé comme barbare ; c'est de l'ancienne et de la nouvelle Macédoine. Mais je suis d'autant plus encouragé à publier mes observations, que ces pays, rarement visités de nos jours, étaient mal connus dans les beaux temps mêmes de la Grèce. »

Les sources écrites datant de l'Antiquité grecque et romaine sont les plus anciennes données disponibles. L'incertitude et l'ambiguïté originelle inhérentes à toute tentative de réinterprétation documentaire ne peuvent qu'engendrer certaines approximations dans notre travail. Du fait de ces interprétations, ces textes apparaissent parfois contradictoires aujourd'hui encore.

Le moindre nombre de sources écrites à partir du VI^{e} siècle ap. J.-C. correspond à la décadence du Royaume de Macédoine et à la fin de l'Empire romain : l'époque byzantine, de même que la période ottomane, ne laisseront en effet que de rares traces écrites sur la région.

Ce déclin notable des descriptions de la région et la quasi disparition des sources documentaires perdurent jusqu'aux XVIII^{e}-XIX^{e} siècles. E.M. Cousinéry (1831) écrit ainsi à ce propos que : *« La Macédoine, si glorieuse des souvenirs de Philippe et d'Alexandre, si malheureuse pendant la domination romaine, si humiliée sous les Bulgares, et enfin avilie sous le fer ottoman, ne présente aujourd'hui que la désolation qu'entraînent le fanatisme, l'ignorance et le despotisme. »*. La pauvreté des témoignages couvre donc une période d'environ quinze siècles et constitue une lacune bien difficile à combler pour qui souhaite faire une étude de géographie historique du secteur. Ce hiatus temporel est préjudiciable et a sensiblement compliqué notre tâche et celle de précédents historiens dans l'établissement d'une reconstitution paléogéographique de la région.

Le XVIII^{e} siècle mais surtout le XIX^{e} siècle vont heureusement, grâce à l'essor de la cartographie et au développement des voyages, nous livrer de nombreux récits où s'associent études archéologiques, géographiques, ethniques et sociales de la Macédoine.

Le plan adopté pour la deuxième partie de la présente thèse est le suivant :

Le **premier chapitre** est exclusivement consacré à l'herméneutique des sources documentaires anciennes utilisées par A. Strück (1908), N.G.L. Hammond (1972) et J.L. Bintliff (1976), visant à restituer l'évolution du trait de côte dans la partie occidentale du golfe Thermaïque, à proximité de Pella (la seconde capitale du Royaume de Macédoine). Les textes d'Homère (VIII^{e} siècle av. J.-C.), d'Hérodote (V^{e} siècle av. J.-C.), de Thucydide (V^{e} siècle av. J.-C.), du Pseudo-Skylax (IV^{e} siècle av. J.-C.) et de Strabon (I^{er} siècle av. et ap. J.-C. - la description la plus complète et la plus précise des paysages de la Macédoine dont nous disposons - permettent d'apprécier précisément la mobilité des littoraux (**1^{e} section**). Ces descriptions permettent également de décrire l'organisation du réseau hydrographique (**2^{e} section**) et de souligner les changements du tracé des cours d'eau, qui n'ont cessé de confondre ou de séparer leurs lits.

Enfin, notre travail a porté sur la prise en compte des marqueurs archéologiques comme témoins de l'évolution des paysages (**3^{e} section**). Les recherches menées en archéologie et en histoire sur des sites majeurs de la Macédoine, associées avec l'interprétation de nouvelles sources documentaires datant de l'Antiquité (textes, documents iconographiques…), apportent des éléments complémentaires relatant l'évolution des paysages de la région depuis le Néolithique jusqu'à la fin de l'Empire romain.

Le **second chapitre** est consacré à l'analyse des descriptions des paysages faites par les voyageurs contemporains, le but étant de présenter l'évolution morphologique de la Macédoine centrale depuis la fin de l'Antiquité jusqu'au début du XX^{e} siècle. En effet, à partir du XVII^{e} siècle, des érudits, des géographes, des historiens, des diplomates, ayant une très bonne connaissance des œuvres des auteurs antiques, ont parcouru la Macédoine et ont livré des essais de synthèse historique et géographique ainsi que des études préliminaires de secteurs à fort potentiel archéologique.

Ces voyageurs épris d'intérêt pour la géographie sont en très large majorité de nationalité anglaise ou française (voir annexe IV pour consulter la biographie de certains d'entre eux) : H. Holland (1815), le Baron F. de Beaujour (1829), E.M. Cousinéry (1831), W.M. Leake (1835), A. Boué (1840), A. Delacoulonche (1859), L. Heuzey (1860) et T. A. Desdevises-Du-Dézert (1862).

Aux pléthoriques récits de voyage s'ajoutent également des cartes élaborées au cours des XVIII^{e} et XIX^{e} siècles qui complètent les informations délivrées par les voyages et permettent une interprétation spatiale des paysages. La probabilité pour leurs auteurs d'en avoir vérifié les levés paraît cependant faible.

A travers les itinéraires de voyageurs et les documents cartographiques nous avons souhaité rendre compte de l'évolution du trait de côte depuis l'Antiquité (**1^{e} section**).

La position relative des cours d'eau Aliakmon, Axios, Loudias et Gallikos (Echeidoros) a été analysée (**2^{e} section**).

La vaste étendue lacustre du lac de Giannitsa, située à l'emplacement du lac Loudias mentionné par Strabon, occupe la partie centrale de la plaine, au pied de la ville de Pella. Son évolution spatiale à travers l'histoire constitue la nouvelle caractéristique morphologique de ces derniers siècles et il a été particulièrement intéressant de l'étudier en détail (**3^{e} section)**.

Chapitre 1 : les sources écrites et iconographiques anciennes et les vestiges archéologiques comme indicateurs de l'évolution des paysages de Macédoine centrale

INTRODUCTION

Le présent chapitre est un essai de synthèse sur la paléotopographie de la Macédoine centrale avant et pendant l'Antiquité. L'éxégèse des sources documentaires qui décrivent et attestent l'évolution des paysages de cette région décrite par un grand nombre d'auteurs antiques, constituent la base de notre réflexion.

Les difficultés inhérentes à l'analyse de sources anciennes imposent une lecture critique et doivent attirer la vigilance sur des interprétations paysagères trop hâtives : il est donc indispensable de faire une étude diachronique de l'ensemble des sources documentaires de manière à juger objectivement de l'évolution du trait de côte et de la mobilité du réseau hydrographique en particulier.

Notre entreprise a été particulièrement stimulée par un manque évident de connaissances relatives à l'étude paléogéographique de la plaine de Thessalonique. En effet, les ouvrages généraux consultés (Talbert, 2000) se révèlent imprécis pour estimer notamment la position successive de la ligne de rivage et pour évaluer les évolutions du tracé des principaux cours d'eau de la région de Macédoine centrale durant l'Antiquité.

Avant d'aborder l'analyse critique des sources documentaires et leur interprétation paléogéographique, il est apparu important d'apporter quelques précisions sur l'organisation administrative du Royaume de Macédoine et en particulier sur le découpage provincial du territoire.

La toponymie et l'étymologie des provinces qui constituent ce territoire fournissent de précieux renseignements sur la configuration des paysages à l'apogée du royaume de Macédoine, au IV^{e} siècle av. J.-C. L'actuelle plaine de Macédoine centrale qui s'étend entre le cours inférieur de l'Aliakmon et celui de l'Axios formait jadis le « berceau » du royaume macédonien, suivant l'expression d'A. Delacoulonche (1859). On distingue généralement la Haute de la Basse Macédoine (figure 49 ; Papazoglou, 1988) : cette distinction se rapporte au fait que la Basse Macédoine était une région topographiquement basse ceinturant le golfe Thermaïque. La Haute Macédoine était composée de territoires au relief accidenté et se localisait principalement dans les chaînes de montagnes environnantes. La notion de Basse Macédoine a été clairement définie par Thucydide au V^{e} siècle av. J.-C. : c'est le territoire qui était sous le contrôle du roi Perdiccas au moment où le roi Thrace Sitalcès entreprit l'invasion du territoire au V^{e} siècle av. J.-C. :

> (Trad.[1]) « Ces forces se rassemblaient donc à Dobéros, et se préparaient à faire invasion, depuis les hautes terres, chez les peuples de la basse Macédoine, soumis à Perdiccas. Il faut, en effet, rattacher aux Macédoniens les Lyncestes, les Elimiotes et d'autres populations habitant les hauteurs, qui sont les alliés des peuples en question et leurs sujets, mais ont des rois à eux. »

Les sources littéraires nous permettent de constater que la province de Macédoine portait auparavant le nom d'Emathie (Delacoulonche, 1859 ; Papazoglou 1988).

L'étymologie de ce dernier nom est d'ailleurs contestée. Pour certains auteurs, la contrée porterait le nom d'un héros, un certain Emathios ou Emathion, premier roi du pays. Pour d'autres (Delacoulonche 1859), ce nom a une origine grecque et signifierait « sable de la mer » (άμαθος) ou « sablonneux » (ήμαθόεις). La simple évocation de cette dernière hypothèse plaide en faveur d'une localisation de cette province en bordure littorale.

Le caractère maritime de la province d'Emathie est de fait confirmé par Tite-Live qui relate le sauvetage de la ville d'Amphipolis (ville de Macédoine occidentale) du pillage de la garnison thrace :

> (Trad.[2]) « (…) Il y était écrit que la flotte romaine avait abordé près d'Emathie et ravageait la campagne environnante (…). Après la lecture de cette lettre, il exhorte les Thraces à partir défendre la côte d'Emathie. »

---

[1] Thucydide, *La guerre du Péloponnèse* (II, 99). Trad. J. de Romilly, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« ξυνηθροίζοντο οὖν ἐν τῇ Δοβήρῳ καὶ παρεσκευάζοντο, ὅπως κατὰ κορυφὴν ἐσβαλοῦσιν ἐς τὴν κάτω Μακεδονίαν, ᾗς ὁ Περδίκκας ἦρχεν. τῶν γὰρ Μακεδόνων εἰσὶ καὶ Λυγκησταὶ καὶ Ἐλιμιῶται καὶ ἄλλα ἔθνη ἐπάνωθεν, ἃ ξύμμαχα μέν ἐστι τούτοις καὶ ὑπήκοα, βασιλείας δ᾽ ἔχει καθ᾽ αὑτά. »

[2] Tite Live, *Histoire romaine* (XLIV, 44), Trad. P. Jal, *CUF*, (2003), du texte latin suivant :

« Scriptum in iis erat ad Emathiam classem Romanam adpulsam esse agrosque circa uexari (…) His lectis hortatur Thracas, ut ad tuendam Emathiae, ut praesidium aduersus populatores mittat. »

Le lien entre l'Emathie et la Macédoine est quant à lui mis en évidence par Strabon :

(Trad.[1]) « La Macédoine actuelle était appelée jadis Emathie. Elle doit son nom à un de ses anciens chefs, un certain Makédon. Il existait aussi une ville appelée Emathie au bord de la mer. Les peuples qui se partageaient son territoire étaient les Epirotes, des Illyriens, et surtout des Bottiéens et des Thraces. »

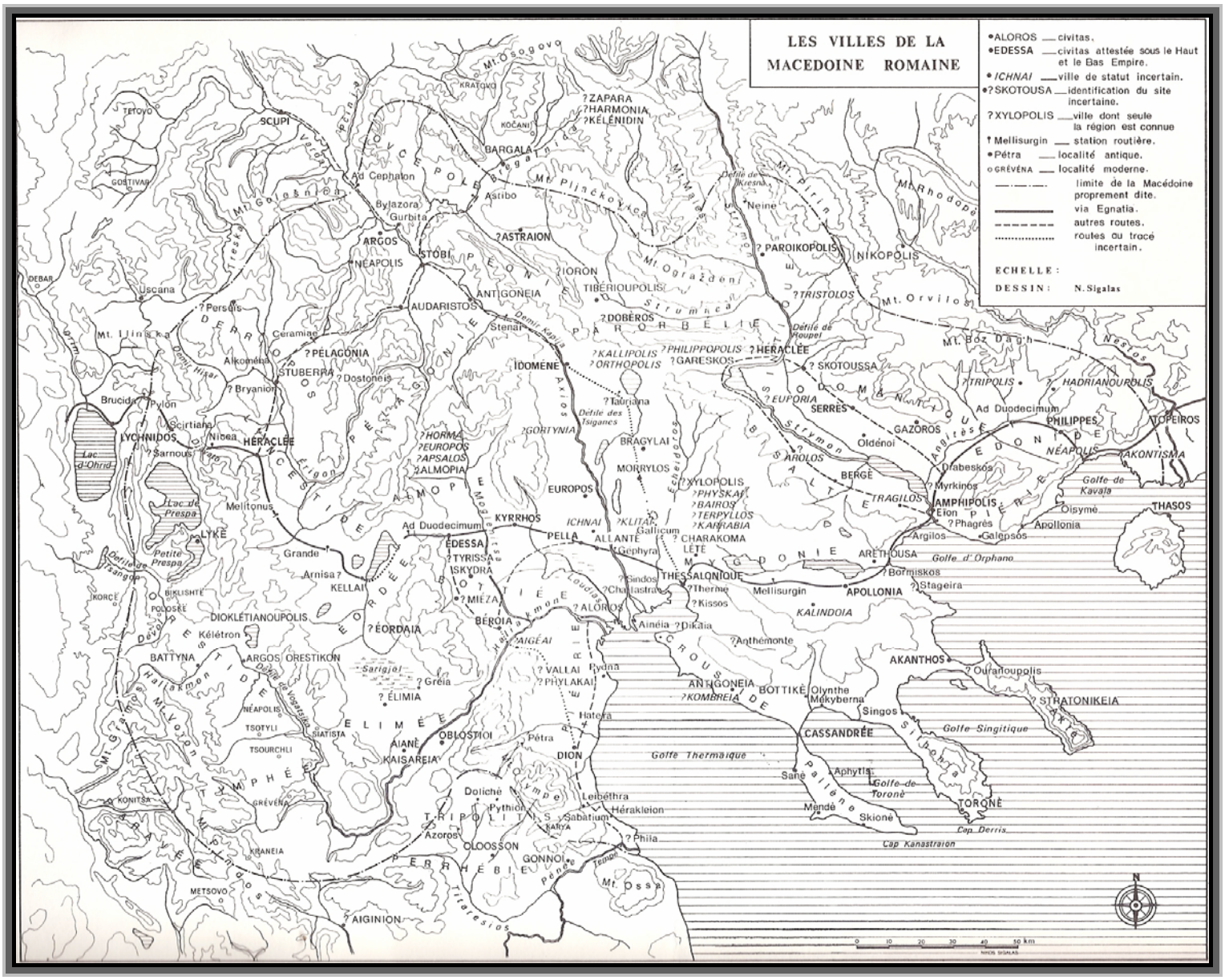


Figure 49 : Configuration générale de la Macédoine à l'époque romaine (Papazoglou, 1988)

[1] Strabon, *Géographie* (VII, 11). Trad. R. Baladié, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« Ὅτι Ἡμαθία ἐκαλεῖτο πρότερον ἡ νῦν Μακεδονία. Ἔλαβε δὲ τοῦνομα τοῦτο ἀπ' ἀρχαίου τινὸς τῶν ἡγεμόνων Μακεδόνος. Ἦν δὲ καὶ πόλις Ἡμαθία πρὸς θαλάσσῃ. Κατεῖχον δὲ τὴν χώραν ταύτην Ἠπειρωτῶν τινες καὶ Ἰλλυριῶν, τὸ δὲ πλεῖστον Βοττιαῖοι καὶ Θρᾷκες. »

La Macédoine regroupait alors les provinces de la Piérie, de la Bottiée (figures 49 et 50), d'une partie de l'ancienne Péonie, dans la partie inférieure de l'Axios, de l'Eordée, de l'Almopie, de la Mygdonie, de la Crestonie et de la Bisaltie (figure 48 ; Papazoglou 1988). Au sein de ces régions, de nombreuses villes étaient, dès leur fondation, des sites portuaires de grande importance militaire ou commerciale.

L'étymologie du nom Bottiée est encore assez discutée : elle proviendrait soit de la racine grecque « botos » (Βοτός), qui signifie pâture, soit d'un certain Botton, qui suivant la légende aurait été le chef des colonies crétoises établies dans le pays (Delacoulonche 1859). L'existence de ces colonies est un fait incontestable en raison de la présence d'un certain nombre de villes dont les noms sont d'origine crétoise ; la ville d'Axos est à ce titre un exemple significatif (Delacoulonche, 1859).

Quoi qu'il en soit, la particularité de la Bottiée est d'avoir été localisée sur le pourtour du golfe Thermaïque. Hérodote est le premier à mentionner cette contrée comme une province maritime dont les villes de Pella et d'Ichnae (notée Ichnai) sont situées sur le littoral (figure 49) :

> (Trad.[1]) « (…) sur le fleuve Axios, qui délimite la Mygdonie et la Bottiée, dont le canton situé près de la mer territoire étroit, est occupé par les villes d'Ichnae et de Pella. »

Thucydide, pour sa part, ne laisse planer aucun doute quant au rattachement de la Bottiée à la province de « Macédoine maritime » :

> (Trad.[2]) « (…) Quant à la Macédoine actuelle, située au bord de la mer, sa conquête remonte à Alexandre, le père de Perdiccas, (…); du pays appelé Bottiée, les Bottiéens qui vivent maintenant tout à côté des Chalcidiens. »

---

[1] Hérodote, *Histoires* (VII, 123). Trad. Ph-E. Legrand, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« (…) ἐπὶ τὸν Ἄξιον ποταμόν, ὃς οὐρίζει χώρην τὴν Μυγδονίην τε καὶ Βοττιαιίδα, τῆς ἔχουσι τὸ παρὰ θάλασσαν στεινὸν χωρίον πόλιες Ἴχναι τε καὶ Πέλλα. »

[2] Thucydide, *La guerre du Péloponnèse* (T.2, II, 99). Trad. J. de Romilly, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« τὴν δὲ παρὰ θάλασσαν νῦν Μακεδονίαν Ἀλέξανδρος ὁ Περδίκκου πατὴρ καὶ οἱ πρόγονοι αὐτοῦ, (…) ἐκ δὲ τῆς Βοττίας καλουμένης Βοττιαίους, οἳ νῦν ὅμοροι Χαλκιδέων οἰκοῦσιν. »

Cette contrée a donc, en toute logique, retenu notre attention pour une étude plus fine de l'évolution des paysages.

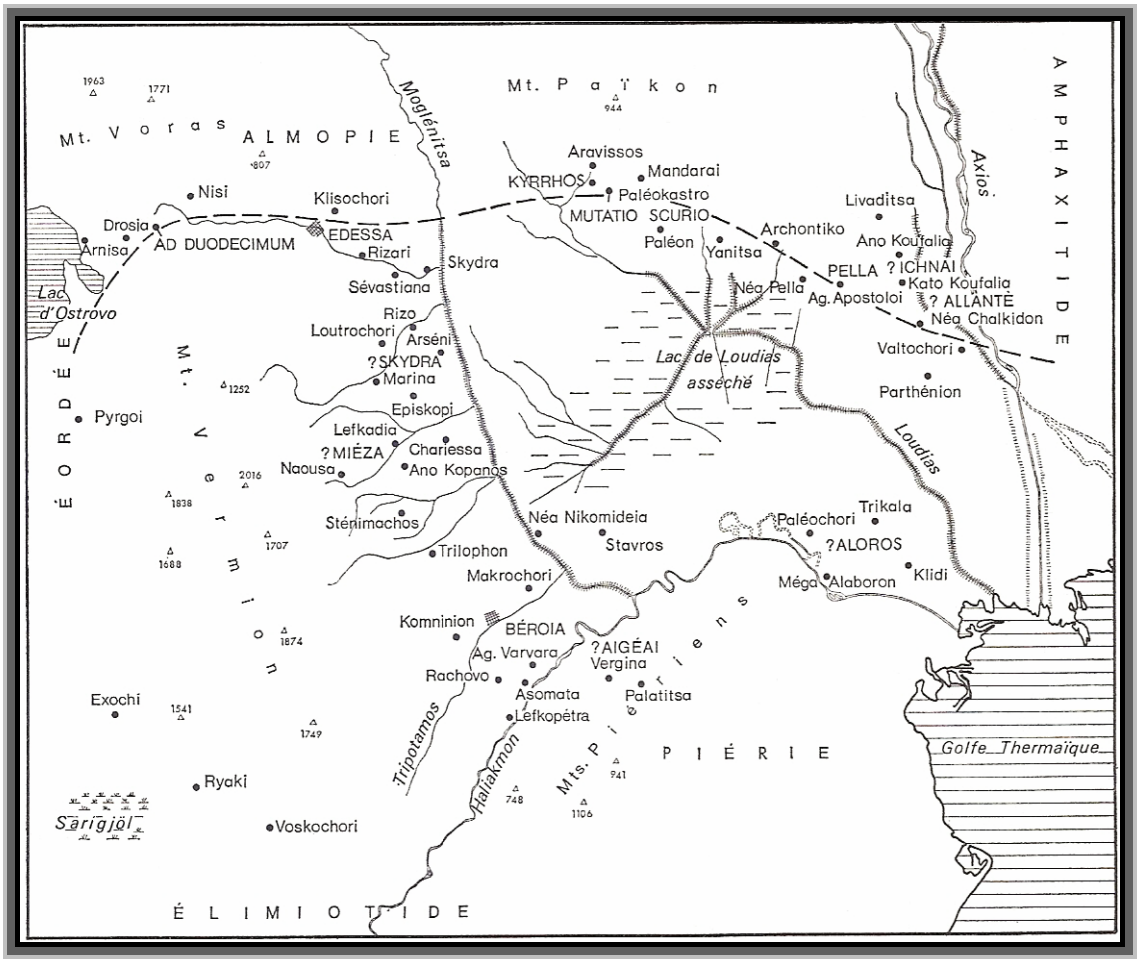


Figure 50 : Localisation de la Bottiée et des villes citées par les sources antiques (Papazoglou, 1988)

2.1.1. Une avancée significative du trait de côte pendant l'Antiquité (VIII^e^ – I^er^ siècle ap. J.-C.) en Macédoine centrale

Le nombre relativement important de témoignages écrits provient en grande partie d'auteurs qui rendent compte d'épisodes de conflits (Homère) opposant Perses et Athéniens (Hérodote), puis Thraces et Macédoniens (Thucydide). Les déplacements se faisant essentiellement à pied et à cheval (ou à dos de chameau) le long du littoral, les passages successifs des armées depuis la Perse et la Thrace vers l'ouest et le sud de la péninsule hellénique ont permis de mieux connaître la géographie des territoires traversés, celle de la Macédoine en particulier. C'est grâce à ces expéditions militaires que nous disposons des premières sources littéraires sur la Macédoine littorale.

C'est ensuite le rayonnement culturel et politique de la Macédoine sur le bassin méditerranéen qui a attiré des géographes souhaitant étudier les paysages de cette contrée (le Pseudo-Skylax et Strabon).

2.1.1.1. Une première évocation des paysages de la Macédoine dans l'Iliade (Homère, VIII^e^ siècle av. J.-C.)

La première mention des paysages de Macédoine centrale est l'œuvre d'Homère qui, dans un passage de *l'Iliade*, nous livre une description sommaire des rives de l'Axios.

L'auteur nous renseigne notamment sur la ville d'Amydon, située sur les rives du fleuve. C'est depuis cette ville que partit l'armée composée d'archers et commandée par Pyraechmès, chef du peuple Péonien (la Péonie est la région située au nord de la Macédoine, figure 48), à destination de la ville de Troie. L'armée allait se rallier au roi Priam dans sa lutte qui l'opposait à Agamemnon (XII^e^ siècle av. J.-C.). L'auteur nous vante au passage la qualité des eaux limpides du fleuve, parmi les plus claires et les plus pures que l'on puisse trouver sur Terre :

> (Trad.[1]) « Pyraechmès conduit les Péoniens à l'arc recourbé. Ils viennent de la lointaine Amydon, sur les rives de l'Axios au large cours, l'Axios, qui sur la terre répand la plus belle des ondes. »

[1] Homère, *l'Iliade* (II, vers 849 à 851). Trad. P. Mazon, *CUF* (2002), du texte grec suivant :
« Αὐτὰρ Πυραίχμης ἄγε Παίονας ἀγκυλοτόξους, 849
τηλόθεν ἐξ Ἀμυδῶνος ἀπ᾽ Ἀξιοῦ εὐρὺ ῥέοντος,
Ἀξιοῦ οὗ κάλλιστον ὕδωρ ἐπικίδναται αἶαν. » 851

Il est bien difficile, à partir de cette unique mention, de savoir si le déplacement des archers s'effectua par voie terrestre ou par bateau ; la seconde hypothèse est cependant la plus vraisemblable, s'inscrivant dans un contexte de départ précipité : en effet, c'est au moment où Patrocle revêtit l'armure d'Achille que les troupes de Pyraechmès se décidèrent à partir pour Troie. Amydon est une ville rarement mentionnée dans la littérature (Papazoglou 1988). On sait seulement grâce à un texte de Strabon qu'elle existait avant l'arrivée sur le territoire de la Macédoine des rois Argéades (chassés de la ville d'Argos dans le Péloponnèse). Ces derniers la détruisirent après leur installation, pour fonder au même endroit la ville d'Abydon :

> (Trad.[1]) « (…) Sur ses rives (*ndlr.* l'Axios) il y a une place fortifiée nommée, de nos jours, Abydon, mais appelée Amydon par Homère (*Iliade*, II, 849). Celui-ci prétend que les Péoniens partirent de là pour venir au secours de Troie : cette forteresse a été détruite par les Argéades. »

L'*Iliade* constitue donc une première source pour la paléogéographie de la Macédoine centrale. Il est cependant difficile d'établir à partir de ces informations limitées, même de manière hypothétique, une interprétation cartographique. De même, cette description n'apporte aucune information précise sur les contours du golfe Thermaïque et sur l'organisation générale du réseau hydrographique.

2.1.1.2. Les descriptions d'Hérodote et de Thucydide (V^e siècle av. J.-C.) : présence d'un vaste golfe marin dans l'actuelle plaine de Macédoine centrale

Les premières descriptions précises du paysage de Macédoine centrale sont tout d'abord redevables à Hérodote. Dans le livre VII des *Histoires* (livre appelé *Polymnie*, du nom d'une muse), Hérodote relate les principaux évènements depuis de la mort de Darius, roi des Perses, jusqu'à l'arrivée sur le trône de son fils Xerxès (V^e siècle av. J.-C.). Ce dernier, pour venger la mort de son père, décida dans un premier temps de soumettre l'Egypte à son autorité puis dans un deuxième temps de marcher sur Athènes.

---

[1] Strabon, *Géographie* (VII, 20). Trad. R. Baladié, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« ἐπίκειται δὲ τῷ ποταμῷ τούτῳ χωρίον ἐρυμνόν, ὃ νῦν μὲν καλεῖται Ἀβυδών, Ὅμηρος δ' Ἀμυδῶνα καλεῖ, καί φησι τοὺς Παίονας ἐντεῦθεν εἰς Τροίαν ἐπικούρους ἐλθεῖν Τηλόθεν ἐξ Ἀμυδῶνος ἀπ' Ἀξιοῦ εὐρυρέοντος.Κατεσκάφη δ' ὑπὸ τῶν Ἀργεαδῶν. »

Hérodote relate l'avancée des troupes terrestres et navales du roi perse Xerxès à travers les territoires de Thrace et de Macédoine, puis leur stationnement à proximité du fleuve Axios : le but était de concentrer les forces militaires avant d'aller défier les armées athéniennes.

Alors que Xerxès ralliait Thermé depuis la ville d'Acanthe (ville située à l'est de la péninsule de Chalcidique, figure 51), accompagné de ses troupes terrestres, ses bateaux longèrent la côte de la Chalcidique depuis la presqu'île du mont Athos. Ils passèrent successivement par la péninsule de Sithonie (Sithonia) et de Pallène (ancienne Phlegra et actuelle Kassandra) avant de se regrouper finalement à l'ouest de la ville de Thermé, entre Sindos et Chalastra, non loin de l'Axios (figure 51) :

> (Trad[1].) « Coupant court du cap Ampélos au cap Canastraion, qui de tout le pays de Pallène avance le plus dans la mer, la flotte de Xerxès leva ensuite des vaisseaux et des hommes à Potidée, Aphytis, Néapolis, Aigé, Thérambos, Skioné, Mendé, Sané : ce sont les villes qui occupent le pays appelé aujourd'hui Pallène, autrefois Phlégré. Longeant à son tour la côte de ce pays, elle se dirigea vers le but qui lui était assigné, levant encore des hommes dans les villes voisines de la Pallène et touchant le golfe Thermaïque, dont voici les noms : Lipaxos, Combreia, Lisai, Gigonos, Campsa, Smila, Aineia ; le pays où ces villes se trouvent s'appelle de nos jours encore Crouside. A partir d'Aineia, par laquelle j'ai terminé l'énumération de ces villes, la flotte pénétra dans le golfe Thermaïque même, dans les eaux de la Mygdonie, et parvint à Thermé, terme fixé à sa navigation, à Sindos, à Chalestré, sur le fleuve Axios (…). »

[1] Hérodote, *Histoires* (VII, 123). Trad. Ph-E. Legrand, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« ὁ δὲ ναυτικὸς στρατὸς ὁ Ξέρξεω συντάμνων ἀπ᾽ Ἀμπέλου ἄκρης ἐπὶ Καναστραίην ἄκρην, τὸ δὴ πάρης τῆς Παλλήνης ἀνέχει μάλιστα, ἐνθεῦτεν νέας τε καὶ στρατιὴν παρελάμβανε ἐκ Ποτιδαίης καὶ Ἀφύτιος καὶ Νέης πόλιος καὶ Αἰγῆς καὶ Θεράμβω καὶ Σκιώνης καὶ Μένδης καὶ Σάνης: αὐται γὰρ εἰσὶ αἱ τὴν νῦν Παλλήνην πρότερον δὲ Φλέγρην καλεομένην νεμόμεναι. παραπλέων δὲ καὶ ταύτην τὴν χώρην ἔπλεε ἐς τὸ προειρημένον, παραλαμβάνων στρατιὴν καὶ ἐκ τῶν προσεχέων πολίων τῇ Παλλήνῃ, ὁμουρεουσέων δὲ τῷ Θερμαίῳ κόλπῳ, τῇσι οὐνόματα ἐστὶ τάδε, Λίπαξος Κώμβρεια Αἶσα Γίγωνος Κάμψα Σμίλα Αἴνεια: ἡ δὲ τουτέων χώρη Κροσσαίη ἔτι καὶ ἐς τόδε καλέεται. ἀπὸ δὲ Αἰνείης, ἐς τὴν ἐτελεύτων καταλέγων τὰς πόλις, ἀπὸ ταύτης ἤδη ἐς αὐτόν τε τὸν Θερμαῖον κόλπον ἐγίνετο τῷ ναυτικῷ στρατῷ ὁ πλόος καὶ γῆν τὴν Μυγδονίην, πλέων δὲ ἀπίκετο ἔς τε τὴν προειρημένην Θέρμην καὶ Σίνδον τε πόλιν καὶ Χαλέστρην ἐπὶ τὸν Ἄξιον ποταμόν (…). »

Hérodote mentionne dans ce dernier passage la présence des villes de Pella et d'Ichnae le long de la mer, sur une étroite bande de terre (figure 51):

> (Trad[1].) « (…) sur le fleuve Axios, qui délimite la Mygdonie et la Bottiée, dont le canton situé près de la mer, territoire étroit, est occupé par les villes d'Ichnae et de Pella. L'armée navale stationna en ces lieux près du fleuve Axios, de la ville de Thermé et des villes situées entre les deux, et attendit le roi. »

A partir de ces informations, une carte interprétative peut être établie pour révéler l'itinéraire de la flotte de Xerxès le long des côtes nord égéennes, depuis l'est de la Chalcidique jusqu'au golfe de Thermé (figure 51).

Si les descriptions fournies par Hérodote sont très explicites sur la position littorale des villes de Pella et d'Ichnae, elles ne mentionnent cependant aucun détail précis des configurations paysagères respectives. La flotte de Xerxès n'a d'ailleurs pas stationné près de ces deux villes, mais à une certaine distance, plus à l'est, dans le golfe Thermaïque.

Thucydide, dans un épisode de *La Guerre du Péloponnèse*, daté de 428 av. J.-C. (les chapitres 71 à 103 sont uniquement consacrés aux événements de cette année précise), relate l'avancée du roi de Thrace (la Thrace est un territoire situé à l'est de la Macédoine) Sitalcès, depuis la ville de Dobéros (que F. Papazoglou,1988 localise de manière conventionnelle au nord du territoire de Macédoine), jusqu'en Bottiée et à l'est de la ville de Thermé, située sur la marge orientale du golfe marin éponyme :

[1] Hérodote, *Histoires* (VII, 123, 124). Trad. Ph-E. Legrand, *CUF* (2003), du texte grec suivant: « ὃς οὐρίζει χώρην τὴν Μυγδονίην τε καὶ Βοττιαιίδα, τῆς ἔχουσι τὸ παρὰ θάλασσαν στεινὸν χωρίον πόλιες Ἴχναι τε καὶ Πέλλα. ὁ μὲν δὴ ναυτικὸς στρατὸς αὐτοῦ περὶ Ἄξιον ποταμὸν καὶ πόλιν Θέρμην καὶ τὰς μεταξὺ πόλιας τούτων περιμένων Βασιλέα ἐστρατοπεδεύετο. »

(Trad.[1]) « **[1]** Ces forces se rassemblaient donc à Dobéros, et se préparaient à faire invasion, depuis les hautes terres, chez les peuples de la basse Macédoine, soumis à Perdiccas.

[3] Quant à la Macédoine actuelle, située au bord de la mer, sa conquête remonte à Alexandre, le père de Perdiccas, et à ses ancêtres, qui étaient originellement des Téménides venus d'Argos : ils y établirent leur royauté ; pour cela, ils délogèrent militairement les populations : de la Piérie, les Pières, qui habitèrent plus tard au pied du Pangée, de l'autre côté du Strymon, diverses localités dont Phagrès (aussi appelle-t-on aujourd'hui encore, golfe de Piérie la région côtière située au pied du Pangée) ; du pays appelé Bottiée, les Bottiéens qui vivent maintenant tout à côté des Chalcidiens.

[4] En Péonie, ils annexèrent une étroite bande de terre descendant, le long de l'Axios, jusqu'à Pella et à la mer ; et ils occupent, sur l'autre rive de l'Axios, jusqu'au Strymon, le pays appelé Mygdonie, dont ils chassèrent les Edones. »

La dernière citation indique clairement que Pella se trouve au bord de la mer, à l'ouest de l'Axios. Le territoire compris entre ce dernier fleuve et la ville macédonienne a été annexé par les Péoniens, peuple originaire du nord de la Macédoine (Papazoglou 1988). A partir du récit de Thucydide, une interprétation cartographique de l'itinéraire suivi par les armées de Sitalcès peut être proposée (figure 52).

Les récits d'Hérodote et de Thucydide, datés du V^{e} siècle av. J.-C., permettent de montrer que la Macédoine centrale est occupée par la mer : bien que l'accès par bateau n'y soit pas clairement attesté, les villes de Pella et d'Ichnae apparaissent ainsi situées sur le pourtour du golfe Thermaïque.

---

[1] Thucydide, *La guerre du Péloponnèse* (T.2, II, 99). Trad. J. de Romilly, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« **[1]** ξυνηθροίζοντο οὖν ἐν τῇ Δοβήρῳ καὶ παρεσκευάζοντο, ὅπως κατὰ κορυφὴν ἐσβαλοῦσιν ἐς τὴν κάτω Μακεδονίαν, ἧς ὁ Περδίκκας ἦρχεν. **[3]** τὴν δὲ παρὰ θάλασσαν νῦν Μακεδονίαν Ἀλέξανδρος ὁ Περδίκκου πατὴρ καὶ οἱ πρόγονοι αὐτοῦ, Τημενίδαι τὸ ἀρχαῖον ὄντες ἐξ Ἄργους, πρῶτοι ἐκτήσαντο καὶ ἐβασίλευσαν ἀναστήσαντες μάχῃ ἐκ μὲν Πιερίας Πίερας, οἳ ὕστερον ὑπὸ τὸ Πάγγαιον πέραν Στρυμόνος ᾤκησαν Φάγρητα καὶ ἄλλα χωρία (καὶ ἔτι καὶ νῦν Πιερικὸς κόλπος καλεῖται ἡ ὑπὸ τῷ Παγγαίῳ πρὸς θάλασσαν γῆ) , ἐκ δὲ τῆς Βοττίας καλουμένης Βοττιαίους, οἳ νῦν ὅμοροι Χαλκιδέων οἰκοῦσιν: **[4]** τῆς δὲ Παιονίας παρὰ τὸν Ἀξιὸν ποταμὸν στενήν τινα καθήκουσαν ἄνωθεν μέχρι Πέλλης καὶ θαλάσσης ἐκτήσαντο, καὶ πέραν Ἀξιοῦ μέχρι Στρυμόνος τὴν Μυγδονίαν καλουμένην Ἠδῶνας ἐξελάσαντες νέμονται. »

Figure 51 : Interprétation cartographique d'après les textes d'Hérodote

Figure 52 : Itinéraire des armées de Sitalcès depuis la Haute vers la Basse Macédoine

2.1.1.3. IV^e siècle av. J.-C : Pella est au milieu des terres, mais toujours accessible par bateau (le Pseudo-Skylax – Skylax de Caryanda – Le Périple)

Le Périple attribué au Pseudo-Skylax, géographe grec de la première moitié du IV^e siècle av. J.-C, a permis de livrer une description des côtes de la Méditerranée et de la mer Noire, depuis les Colonnes d'Hercule (probablement l'actuel détroit de Gibraltar) et hypothétiquement depuis l'île de Kernè, sur les côtes méridionales du Maroc, jusqu'aux colonnes de Libye. Les récits de voyage du Pseudo-Skylax constituent une base documentaire de choix car ils permettent de nous renseigner sur la présence grecque sur le pourtour méditerranéen et pontique (région périphérique de la mer Noire). Ils constituent ainsi pour la géographie historique un témoignage de la perception que les Athéniens du IV^e siècle av. J.-C. avaient des contrées voisines.

Le Périple est à ce titre la première étude géographique qui nous soit parvenue dans son intégralité (Counillon, 2004). Ce texte a été rédigé à Athènes au cours de la première moitié du IV^e siècle av. J.-C : *Le Périple* mentionne en effet Methoni de Piérie comme ville grecque, et l'on sait par ailleurs qu'elle fut détruite par Philippe II en juin – juillet 354, après un siège de plusieurs mois (Cloché, 1960 ; Hatzopoulos *et al.*, 1990 ; Ghilardi, 2006).

Le chapitre soixante-six décrit la région de Macédoine. On peut y suivre la progression de l'auteur depuis le fleuve Pénée (Pinios) jusqu'à la presqu'île de Pallène (aujourd'hui Kassandra), en passant par Thermé (figure 53) :

> **[66]** (Trad.) « Et à partir du fleuve Pénée commence le territoire de la Macédoine, jusqu'au golfe de Thermé. Nous rencontrons en premier lieu la ville appartenant à la Macédoine appelée Hérakleion, puis Dion, Pydna, une ville grecque, Méthoné, une ville grecque et le fleuve Aliakmon ; Aloros, une ville sur le fleuve Loudias ; Pella, une ville avec un siège royal, et il y a un passage dans les terres qui y mène en empruntant le Loudias ; le fleuve Axios ; le fleuve Echeidoros ; Thermé, une ville ; Aineia, une ville grecque ; Pallène un cap qui s'étire plus haut vers la mer; et les villes grecques situées en Pallène sont les suivantes : Potidée, qui barre l'isthme au milieu ; Mendé ; Aphytis ; Thrambeïs ; Skioné ; Kanastraion, le promontoire sacré de la Pallène. En dehors de l'isthme, nous trouvons les villes suivantes : Olynthe, une ville grecque; Mekyberna, une ville grecque; Sermylia, une ville grecque, avec le golfe Sermylique; Toroné, une ville grecque avec un port (…) ».

L'itinéraire du Pseudo-Skylax peut être reconstitué de manière relativement précise en se basant sur la localisation des lieux géographiques identifiés d'après les travaux de F. Papazoglou (1988).

Le fleuve Loudias est mentionné comme un cours d'eau permettant la navigation jusqu'à Pella après avoir emprunté dans la partie proche de la ville un canal qui se situe au milieu des terres. Cette description tranche avec la vision des paysages que livrent Hérodote et Thucydide dans la mesure où pour la première fois, la ville n'apparaît d'ailleurs plus au contact direct avec la mer, mais est localisée au milieu des terres. Le Pseudo-Skylax ne renseigne guère plus sur la nature des paysages le long de ce canal (présence de marais ou de marécages ?), ni sur son architecture (canal maçonné de pierres ou simple cours d'eau canalisé et régulièrement dragué ?)

Cette description montre toutefois que l'évolution des paysages est évidente et s'est faite en un siècle seulement (entre le V^{e} et le IV^{e} siècle av. J.-C.), la ville littorale de Pella s'est retrouvée en position continentale. L'ancienne capitale macédonienne constitue donc un témoignage direct de l'avancée du trait de côte du golfe Thermaïque pendant l'époque classique (figure 53).

2.1.1.4. I^{er} siècle av. - I^{er} siècle ap. J.-C. : présence d'une vaste étendue lacustre dans la partie centrale de la Basse Macédoine (Strabon)

Strabon nous relate dans le livre VII de son œuvre intitulée *Géographie*, conçue comme complémentaire de l'*Histoire* (perdue), la configuration géographique de la Macédoine depuis la seconde moitié du I^{er} s. av. J.-C. jusqu'au premier quart du I^{er} siècle après J.-C.

L'information capitale du récit de Strabon est la présence d'une vaste étendue lacustre qui occupe la région au pied de Pella. Ce lac est relié à la mer par le fleuve Loudias et est alimenté par un défluent de l'Axios (figure 54) :

> (Trad.[1]) « Pella, qui n'était auparavant qu'une petite ville, connut un développement considérable grâce à Philippe, qui avait été élevé là. Elle a devant elle un lac d'où s'écoule le fleuve Loudias et qui est alimenté par un bras de l'Axios. »

[1] Strabon, *Géographie* (VII, 23). Trad. R. Baladié, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« Ὅτι τὴν Πέλλαν οὖσαν μικρὰν πρότερον, Φίλιππος εἰς μῆκος ηὔξησε, τραφεὶς ἐν αὐτῇ· ἔχει δὲ λίμνην πρὸ αὐτῆς, ἐξ ἧς ὁ Λουδίας ποταμὸς ῥεῖ· τὴν δὲ λίμνην πληροῖ τοῦ Ἀξιοῦ τι ποταμοῦ ἀπόσπασμα. »

Figure 53 : Itinéraire du périple du Pseudo-Skylax (première moitié du IV^e^ siècle av. J.-C.)

Figure 54 : Vision des paysages de Macédoine d'après Strabon (I^er^ siècle ap. J.-C.)

La vision de Strabon permet de constater qu'au I^er^ siècle av. J.-C. la Macédoine centrale n'est plus occupée en son centre par la mer mais par un lac, sur la marge septentrionale duquel est localisée Pella (figure 54).

2.1.1.5. Vision contradictoire de Pline l'Ancien avec le récit de Strabon (I^er^ siècle ap. J.-C.)

Dans son oeuvre *Histoire Naturelle (Naturalis Historia)*, la description des paysages faite par Pline l'Ancien laisse apparaître que la ville d'Ichnae, dont l'existence (l'emplacement exact n'a pu être révélé de manière précise) est attestée par la découverte de monnaies de l'époque archaïque (700 – 500 av. J.-C., Papazoglou 1988), est identifiée comme une ville littorale :

> (Trad.[1]) « (…) puis, sur la côte, Ichnae, le fleuve Axius. »

Cette description contredit singulièrement les textes de Strabon qui mentionnent la présence d'une vaste zone lacustre au pied de la ville de Pella et dont on peut imaginer qu'elle s'étendait plus vers l'Est, à proximité de la ville d'Ichnae.

La confusion de Pline entre une occupation par la mer et la présence du lac Loudias est-elle réelle ? Quoiqu'il en soit la contradiction avec la description de Strabon est évidente, alors même que les récits ont été établis pratiquement à la même période.

Pline l'Ancien mentionne par ailleurs la présence sur les rives du golfe de Thermé de la ville de Chalastra qu'Hérodote plaçait à l'est du fleuve Axios et à l'ouest de la ville de Sindos :

> (Trad.[2]) « Sur la côte du golfe de Macédoine, la ville de Chalastra ; dans les terres, Phileros, Lete, et, au fond même du golfe, Thessalonique, de condition libre (…). »

---

[1] Pline, *Histoire naturelle* (IV, 17). Trad. E. Littré, *CAL* (1855), du texte latin suivant : « (…) mox in ora Ichnae, fluvius Axius. »

[2] Pline, *Histoire naturelle* (IV, 17). Trad. E. Littré, *CAL* (1855), du texte latin suivant : « In ora sinus Macedonica oppidum Chalastra et intus Piloros, Lete medioque litoris flexu Thessalonice liberae condicionis. »

Malgré le contexte général d'avancée du trait de côte en direction du sud-est, Il semble que la ville de Chalastra soit restée du V^e^ siècle av. J.-C. au I^er^ siècle ap. J.-C une ville littorale. De toute évidence, un problème se pose : les textes de Pline l'Ancien témoignent-ils de réelles descriptions ou sont-ils issus de visions délivrées par de précédents auteurs antiques, en l'occurrence Hérodote, Polybe et Strabon ? L'authenticité des descriptions est fortement remise en question à la vue des nombreuses contradictions.

D'après les récits et l'interprétation cartographique qui en découle, on assiste du V^e^ siècle av. J.-C. au I^er^ siècle av. J.-C. au comblement de la partie occidentale du golfe Thermaïque et à la création d'une vaste étendue plane, particulièrement entre le IV^e^ siècle av. J.-C. et le I^er^ siècle av. J.-C., entre les fleuves Axios et Aliakmon.

La mobilité du littoral de Macédoine centrale est donc attestée par l'analyse des sources littéraires. Ces mêmes sources soulignent par ailleurs une mobilité importante du réseau hydrographique, notamment les fleuves principaux que sont l'Aliakmon[1], le Loudias, l'Axios[1] et le Gallikos (Echeidoros[2]).

[1] Ces deux fleuves « divins » sont mentionnés dans la mythologie grecque (Brewster, 1997)

[2] L'étymologie grecque de ce nom est détaillée par S. Casson, 1968, p.62

2.1.2. L'organisation générale du réseau hydrographique : une mobilité du tracé des cours d'eau attestée pendant l'Antiquité

L'analyse critique des sources littéraires utilisées pour révéler la mobilité du littoral du golfe Thermaïque permet également de souligner les changements répétés des tracés des cours d'eau entre le V^e^ siècle av. J.-C. et le I^er^ siècle ap. J.-C.

2.1.2.1. Hérodote (V^e^ siècle av. J.-C.) : deux fleuves principaux ont le golfe Thermaïque pour exutoire

Le cours de l'Axios apparaît chez Hérodote comme la limite géographique naturelle entre la Bottiée, à l'ouest, à laquelle sont rattachées les villes de Pella et d'Ichnae, et la Mygdonie à l'est, où l'on retrouve les villes de Chalastra, de Sindos et de Thermé :

> (Trad.[1]) « (…) La flotte pénétra dans le golfe Thermaïque même, dans les eaux de la Mygdonie, et parvint à Thermé, terme fixé à sa navigation, à Sindos, à Chalestré, sur le fleuve Axios, qui délimite la Mygdonie et la Bottiée, dont le canton situé près de la mer, territoire étroit, est occupé par les villes d'Ichnai et de Pella. L'armée navale stationna en ces lieux près du fleuve Axios, de la ville de Thermé et des villes situées entre les deux, et attendit le roi. »

L'Echeidoros, dont la source se trouve en Crestonie au nord (figures 49 et 51), mêle ses eaux à celles de l'Axios pour ne former plus qu'un cours commun à proximité de l'embouchure, dans le golfe.

La confluence entre ces deux fleuves est marquée par la présence de marais littoraux, probablement semblables à ceux que l'on peut observer de nos jours dans la partie distale du delta de l'Axios (annexe XXVIII). Ce détail géographique permet d'envisager une possible avancée du trait de côte marquant la progradation conjointe des deltas de l'Axios et de

---

[1] Hérodote, *Histoires* (VII, 123). Trad. Ph-E. Legrand, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« ἀπὸ ταύτης ἤδη ἐς αὐτόν τε τὸν Θερμαῖον κόλπον ἐγίνετο τῷ ναυτικῷ στρατῷ ὁ πλόος καὶ γῆν τὴν Μυγδονίην, πλέων δὲ ἀπίκετο ἔς τε τὴν προειρημένην Θέρμην καὶ Σίνδον τε πόλιν καὶ Χαλέστρην ἐπὶ τὸν Ἄξιον ποταμόν, ὃς οὐρίζει χώρην τὴν Μυγδονίην τε καὶ Βοττιαιίδα, τῆς ἔχουσι τὸ παρὰ θάλασσαν στεινὸν χωρίον πόλιες Ἴχναι τε καὶ Πέλλα. ὁ μὲν δὴ ναυτικὸς στρατὸς αὐτοῦ περὶ Ἄξιον ποταμὸν καὶ πόλιν Θέρμην καὶ τὰς μεταξὺ πόλιας τούτων περιμένων Βασιλέα ἐστρατοπεδεύετο. »

l'Echeidoros dans le golfe Thermaïque. Cette dernière observation corrobore un recul évident de la mer :

> (Trad.[1]) « Xerxès, avec l'armée de terre, fit route d'Acanthe en coupant par le milieu des terres pour atteindre Thermé ; il fit route à travers la Péonie et la Crestonie jusqu'au fleuve Echeidoros, qui a sa source chez les Crestoniens, coule en Mygdonie et débouche le long du marais qui est voisin de l'Axios. »

Hérodote révèle une anecdote à propos de l'Echeidoros : il semble que les armées de Xerxès (les troupes sont estimées à plusieurs centaines de milliers de soldats, le chiffre d'un million et demi d'hommes a été un temps avancé puis largement contesté) étanchèrent leur soif en asséchant totalement ce cours d'eau lors de l'établissement de leur campement entre Chalastra et Thermé. Est-ce pour mettre en valeur le nombre important des troupes militaires, capables de boire toute l'eau d'un cours d'eau et ainsi de l'assécher, ou alors est-ce pour montrer dès cette époque que le régime hydrologique de ce cours d'eau était fortement influencé par des périodes de sécheresse, qu'Hérodote mentionne ce fait ? Voici le passage qui renseigne à ce sujet :

> (Trad.[2]) « (…) Les Barbares campèrent donc en ces lieux ; des fleuves que j'ai énumérés, l'Echeidoros, coulant de la Crestonie, est le seul qui ne suffit pas à fournir à boire aux troupes, mais dont l'eau manqua. »

Le deuxième fleuve mentionné par Hérodote est celui formé par les cours confondus du Loudias et de l'Aliakmon dans leur partie aval qui, comme l'Axios et de l'Echeidoros, forment une embouchure commune.

---

[1] Hérodote, *Histoires* (VII, 124). Trad. Ph-E. Legrand, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« Ξέρξης δὲ καὶ ὁ πεζὸς στρατὸς ἐπορεύετο ἐκ τῆς Ἀκάνθου τὴν μεσόγαιαν τάμνων τῆς ὁδοῦ, βουλόμενος ἐς τὴν Θέρμην ἀπικέσθαι: ἐπορεύετο δὲ διὰ τῆς Παιονικῆς καὶ Κρηστωνικῆς ἐπὶ ποταμὸν Χείδωρον, ὃς ἐκ Κρηστωναίων ἀρξάμενος ῥέει διὰ Μυγδονίης χώρης καὶ ἐξιεῖ παρὰ τὸ ἕλος τὸ ἐπ᾽ Ἀξίῳ ποταμῷ. »

[2] Hérodote, *Histoires* (VII, 127). Trad. Ph-E. Legrand, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« ἐστρατοπεδεύοντο μὲν δὴ ἐν τούτοισι τοῖσι χωρίοισι οἱ βάρβαροι, τῶν δὲ καταλεχθέντων τούτων ποταμῶν ἐκ Κρηστωναίων ῥέων Χείδωρος μοῦνος οὐκ ἀντέχρησε τῇ στρατιῇ πινόμενος ἀλλ᾽ ἐπέλιπε. »

Par cette description, l'auteur permet de reconnaître que le Loudias est considéré comme un cours d'eau à part entière dans sa partie amont, au même titre que l'Aliakmon. Les deux fleuves délimitent ainsi la Bottiée de la Macédoine proprement dite :

> (Trad.[1]) « (…) Arrivé à Thermé, Xerxès y fit camper son armée. Les cantonnements de ses troupes occupaient tout le pays sur le bord de la mer à partir de la ville de Thermé et de la Mygdonie jusqu'aux fleuves Loudias et Haliacmon, qui, mêlant leurs eaux dans le même lit, séparent la Bottiée de la Macédoine. »

D'après ce passage, on note également que le golfe Thermaïque se prolonge vers l'ouest, entre les embouchures des deux grands fleuves Axios et Aliakmon, jusqu'aux villes de Pella et d'Ichnae.

Au V^e^ siècle av. J.-C., deux cours d'eau majeurs se jettent dans la mer : il s'agit d'une part du cours commun formé par le Loudias et l'Aliakmon et d'autre part celui formé par l'Axios et l'Echeidoros (figures 53 et 54). Thucydide ne délivre aucune information sur le tracé des cours d'eau, contrairement à Hérodote et au Pseudo-Skylax.

2.1.2.2. Mention des fleuves Axios et Loudias à la fin du V^e^ siècle av. J.-C. (Euripide, les Bacchantes)

Euripide (480 – 405 av. J.-C.) est le premier grand auteur grec a avoir rejoint la cour de Macédoine. Les relations particulières qu'il entretenait notamment avec le roi Archélaos (fin du V^e^ siècle av. J.-C.) l'amenèrent à résider à Pella, alors devenue la capitale de la Macédoine en lieu et place d'Aigai (actuelle Vergina, Papazoglou, 1988 ; Faklaris, 1994).

---

[1] Hérodote, *Histoires* (VII, 127). Trad. Ph-E. Legrand, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« ὡς δὲ ἐς τὴν Θέρμην ἀπίκετο ὁ Ξέρξης, ἵδρυσε αὐτοῦ τὴν στρατιήν. ἐπέσχε δὲ ὁ στρατὸς αὐτοῦ στρατοπεδευόμενος τὴν παρὰ θάλασσαν χώρην τοσήνδε, ἀρξάμενος ἀπὸ Θέρμης πόλιος καὶ τῆς Μυγδονίης μέχρι Λυδίεώ τε ποταμοῦ καὶ Ἁλιάκμονος, οἳ οὐρίζουσι γῆν τὴν Βοττιαιίδα τε καὶ Μακεδονίδα, ἐς τὠυτὸ ῥέεθρον τὸ ὕδωρ συμμίσγοντες. »

On retrouve dans *les Bacchantes*, la dernière œuvre d'Euripide, une allusion aux fleuves de Macédoine et notamment le Loudias :

> « (Trad[1]) « Heureuse Piérie, Évhios te vénère. Il viendra diriger tes chœurs, tes bacchanales ; à la tête des ménades dont se déroule le cortège, il franchira le rapide Axios, et puis le Loudias, père de l'abondance, dispensateur de la prospérité, qui, dit-on, des eaux les plus belles, abreuve le pays des superbes cavales (une contrée féconde en superbes chevaux). »

Le poème d'Euripide confirme l'existence du fleuve Loudias. Cependant, il semble que sa localisation soit plus incertaine, visiblement à proximité de l'Axios. D'autres questions sont également soulevées : quelle est cette contrée riche en chevaux dont nous parle Euripide? Est-ce la Bottiée mentionnée par Hérodote et Thucydide ? Probablement, car, mention faite par Euripide signalant que le Loudias « fertilise une contrée », il est fort à parier qu'il s'agisse du territoire de la Bottiée (signifiant littéralement « pâtures ») dont on a vu précédemment (*cf. première section*) qu'il s'étendait au pied de la ville de Pella.

Euripide mentionne également la Piérie, la province située dans la partie méridionale de la Macédoine centrale, à laquelle les villes de Methoni et Pydna sont rattachées. De nos jours, il faut franchir trois fleuves (l'Axios, le Loudias et l'Aliakmon) pour se rendre dans ce territoire depuis le nord-est de la plaine. Le poète grec n'en mentionne que deux : l'Axios et la Loudias. Pourquoi ne mentionne-t-il pas l'Aliakmon ?

Désormais nous connaissons l'ensemble des fleuves dont on retrouve encore aujourd'hui la dénomination : l'Aliakmon, l'Axios, l'Echeidoros (actuel Gallikos) et le Loudias.

---

[1] Euripide, *les Bacchantes* (Tragédies, VI, 2e partie, vers 565 à 575). Trad. H. Grégoire, *CUF* (2002), d'après le texte grec suivant :

« Μάκαρ ὦ Πιερία, 565
σέβεταί σ᾽ Εὔιος, ἥξει
τε χορεύσων ἅμα βακχεύ-
μασι, τόν τ᾽ ὠκυρόαν
διαβὰς Ἀξιὸν εἰλισ
σομένας Μαινάδας ἄξει, 570
Λυδίαν τε, τὸν εὐδαιμονίας
βροτοῖς ὀλβοδόταν,
πατέρα τε τὸν ἔκλυον
εὔιππον χώραν ὕδασιν
καλλίστοισι λιπαίνειν. » 575

2.1.2.3.L'Aliakmon, le Loudias, l'Axios et l'Echeidoros sont quatre fleuves distincts (le Pseudo-Skylax, IV^e^ siècle av. J.-C.)

Alors qu'Hérodote en distinguait deux, à peine un siècle auparavant, l'information capitale délivrée par le Pseudo-Skylax est l'existence de quatre cours d'eau distincts : l'Aliakmon, le Loudias l'Axios et l'Echeidoros. Voici sa description (chapitre 66) :

> (Trad.) « (…) Méthoné, une ville grecque et le fleuve Aliakmon ; Aloros, une ville sur le fleuve Loudias ; Pella, une ville avec un siège royal, et il y a un passage dans les terres qui y mène en empruntant le Loudias ; le fleuve Axios ; le fleuve Echeidoros ; Thermé, une ville. »

L'individualisation des cours d'eau parcourant le territoire de la Bottiée, l'Aliakmon, le Loudias, l'Axios et l'Echeidorus, semble ainsi intervenir au IV^e^ siècle av. J.-C.

2.1.2.4. Déplacement vers l'est de l'Axios (Strabon, I^er^ siècle av. J.-C.) ; le Loudias est mentionné pour la première fois comme un fleuve long de 120 stades

Comme l'a fait le Pseudo-Skylax, Strabon mentionne l'existence de quatre fleuves distincts : l'Aliakmon, le Loudias, l'Axios (qui a pour affluent l'Erigon) et l'Echeidorus. L'une des informations principales délivrée concerne le déplacement du cours de l'Axios vers l'est. Alors qu'Hérodote (V^e^ siècle av. J.-C.) précise que la ville de Chalastra est située à son époque à l'est du fleuve Axios, Strabon indique pour sa part que ce dernier fleuve sépare les villes de Chalastra et de Thermé au I^er^ siècle av. J.-C. :

> (Trad.[1]) « Le lac a comme émissaire le fleuve Loudias ; il reçoit d'autre part l'apport d'un bras de l'Axios. Ce dernier débouche dans la mer entre Chalastra et Thermé. »

Par ailleurs, la clarté des eaux de l'Axios qu'Homère vantait dans l'*Iliade* (*Iliade*, II, 849) ne semble plus être d'actualité lors du passage de Strabon à proximité de ce fleuve dont il note l'importante turbidité :

---

[1] Strabon, *Géographie* (VII, 20). Trad. R. Baladié, *CUF* (2003), du texte grec suivant :
« ἐν λίμνῃ τῇ καλουμένῃ Λουδίᾳ· ἐκ ταύτης ὁ Λουδίας ἐκδίδωσι ποταμός, αὐτὴν δὲ πληροῖ τοῦ Ἀξιοῦ τι ἀπόσπασμα. Ὁ δὲ Ἀξιὸς ἐκδίδωσι μεταξὺ Χαλάστρας καὶ Θέρμης. »

> (Trad.[1]) « L'Axios roule ses eaux bourbeuses. Et si Homère parle de la très belle eau de l'Axios, peut-être est-ce à cause de la source dénommée Aia qui lui apporte une eau très pure, ce qui incite à rejeter comme fautive la leçon qu'on lit communément chez le poète. »

Les sources mentionnent également l'existence d'une région appelée l'Amphaxitide (origine géographique du nom) qui correspond au bas Axios. Ni Hérodote, ni Thucydide, au V^e^ siècle av. J.-C. ne la mentionnent. Ce n'est qu'à l'époque de Philippe V (II^e^ siècle av. J.-C.) que la région est signalée dans les sources. C'était le nom d'un district auquel le roi macédonien avait concédé le droit de battre la monnaie (Papazoglou, 1988).

Au-delà de l'intérêt archéologique de localiser précisément cette région, l'intérêt géographique est certain, même si les auteurs ne s'accordent pas sur l'étymologie de ce nom propre. Certains (Leake, 1835) considèrent que ce territoire se situe à l'est de l'Axios, alors que d'autres (Kiepert, 1901-1902) considèrent qu'il s'agit du secteur qui s'étend de part et d'autre de l'Axios. F. Papazoglou délimite de manière conventionnelle l'Amphaxitide et se base sur les sources de Strabon[2] et de Ptolémée[3] pour la localiser sur la rive droite de l'Axios. Il semble que cette contrée soit distinct de celui de la Bottiée.

L'emplacement exact de cette région est conditionné par la position du fleuve Axios. Or, nous venons de le constater avec la description de Strabon, l'embouchure du cours de l'Axios s'est déplacée entre les V^e^ et I^er^ siècle av. J.-C. Strabon nous apprend également qu'un bras de l'Axios alimente le Lac Loudias.

En plus de descriptions précises sur l'organisation du réseau hydrographique, Strabon nous livre, grâce à des mesures précises de distances, la longueur exacte du fleuve Loudias depuis la ville de Pella jusqu'à la mer : 120 stades, soit environ 22,2 km :

> (Trad.[4]) « Le Loudias permet aux bateaux de remonter sur 120 stades jusqu'à Pella. »

---

[1] Strabon, *Géographie* (VII, 21). Trad. R. Baladié, *CUF* (2003), du texte grec suivant :
« Ὅτι ὁ Ἀξιὸς θολερὸς ῥεῖ· ὁ δ' Ὅμηρος Ἀξιοῦ κάλλιστον ὕδωρ φησίν, ἴσως διὰ τὴν πηγὴν τὴν καλουμένην Αἶαν, ἣ καθαρώτατον ἐκδιδοῦσα ὕδωρ εἰς τοῦτον ἐλέγχει φαύλην ὑπάρχουσαν τὴν νῦν φερομένην γραφὴν παρὰ τῷ ποιητῇ. »

[2] Strabon, VII, 23

[3] Ptolémée, III, 12, 34, 36

[4] Strabon (VII, 20). Trad. R. Baladié, *CUF* (2003), du texte grec suivant :
« ὁ δὲ Λουδίας εἰς Πέλλαν ἀνάπλουν ἔχων σταδίων ἑκατὸν καὶ εἴκοσι. »

Strabon précise que le cours du Loudias est navigable depuis son embouchure jusqu'à la ville de Pella.

De même, l'auteur remarque le passage du fleuve Echeidoros à vingt stades (3,7 km environ) de l'Axios, vers l'est, la ville de Thessalonique, pour sa part, étant distante de l'Echeidoros de 40 stades (7,4 km environ) :

> (Trad.[1]) « Après l'Axios, on trouve à vingt stades l'Echeidoros, ensuite Thessalonique, fondation de Cassandre, quarante stades plus loin, et la voie Egnatienne. »

D'après l'analyse attentive des textes de Strabon, des confusions toponymiques concernant le réseau hydrographique semblent émerger. En effet, le fragment 20 du livre VII renseigne étrangement sur la position de l'Aliakmon entre les villes de Dion et Pydna :

> (Trad.[2]) « Après Dion, on trouve l'embouchure de l'Aliakmon, puis Pydna, Méthoné, Aloros et les fleuves Erigon et Loudias. Le premier naît chez les Triclares, traverse le pays des Orestes et le territoire de Pella, laissant la ville à gauche avant de se jeter dans l'Axios. »

Il est difficile de penser que Strabon ait eu une mauvaise connaissance de la géographie de la Macédoine : il avait sans doute pris connaissance des textes des auteurs qui l'ont précédé comme ceux d'Hérodote, de Thucydide ou du Pseudo-Skylax. Ces derniers s'accordent à localiser l'Aliakmon au nord de la ville de Pydna. La confusion est confirmée par le fait que Strabon précise le passage du fleuve Aliakmon sur le territoire de Pella, or les villes de Dion et de Pydna sont situées au sud de ce territoire. Les historiens attribuent ces méprises à des problèmes de transcription de la part des abréviateurs de Strabon (Leake, 1835 ; Delacoulonche, 1859 ; Papazoglou, 1988). Parallèlement, on constate aussi, d'après ce passage, que l'Erigon est le fleuve qui s'écoule entre la ville d'Aloros (dont la localisation

[1] Strabon (VII, 21). Trad. R. Baladié, *CUF* (2003), du texte grec suivant :
« Μετὰ δὲ Ἀξιὸν Ἐχέδωρος ἐν σταδίοις εἴκοσιν· εἶτα Θεσσαλονίκεια Κασάνδρου κτίσμα ἐν ἄλλοις τεπταράκοντα καὶ ἡ Ἐγνατία ὁδός. »

[2] Strabon (VII, 20). Trad. R. Baladié, CUF (2003), du texte grec suivant :
« Μετὰ δὲ τὸ Δῖον αἱ τοῦ Ἀλιάκμονος ἐκβολαί· εἶτα Πύδνα, Μεθώνη, Ἄλωρος καὶ ὁ Ἐρίγων ποταμὸς καὶ Λουδίας, ὁ μὲν ἐκ Τρικλάρων ῥέων δι' Ὀρεστῶν καὶ τῆς Πελαγονίας, ἐν ἀριστερᾷ ἀφιεὶς τὴν πόλιν καὶ συμβάλλων τῷ Ἀξιῷ. »

exacte n'a pu être clairement établie) et le fleuve Loudias. Il s'agit là encore d'une erreur probable formulée par les abréviateurs de Strabon, et, d'après la description géographique, le fleuve Erigon cité dans ce fragment est assurément l'Aliakmon : la confusion est évidente. Les descriptions faites par Strabon nécessitent donc une utilisation prudente de ses textes.

2.1.2.5. La mention du fleuve Rhoedias par Pline l'Ancien (I^er^ siècle ap. J.-C.)

En plus des deux fleuves que sont l'Aliakmon et l'Axios, Pline l'Ancien mentionne le fleuve Rhoedias qui passe par la ville d'Evropos d'Almopie. Voici son témoignage :

> (Trad.[1]) « Héraclée, le fleuve Apilas; les villes de Pydna, d'Aloros; le fleuve Aliacmon : dans l'intérieur, les Alorites, les Valléens, les Phylacéens, les Cyrrhestes, les Tyrisséens; Pella, colonie; la ville de Stobi, jouissant du droit de citoyens romains; Antigonée, Europus sur le fleuve Axius, une autre Europus que traverse le fleuve Rhoedias; Eordeae, Scydra, Mieza, Gordynie; puis, sur la côte, Ichnae, le fleuve Axius. »

En effet, la distinction faite par l'auteur entre la ville d'Evropos située le long de l'Axios et celle localisée probablement au nord-ouest de la plaine de Macédoine centrale (Papazoglou 1988) est claire. Le Rhoedias ne peut être de toute évidence confondu avec le fleuve Loudias (canal d'écoulement au lac éponyme), mentionné par Strabon. Le Rhoedias doit probablement s'écouler dans ce dernier.

A partir de l'étude critique des sources littéraires antiques, les changements successifs du tracé des cours d'eau ont pu être mis en valeur, à l'instar de la mobilité du littoral.

Si ces études de texte donnent de précieuses informations sur l'étude paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale, les vestiges et les recherches archéologiques, historiques et paléoenvironnementales associées sont des témoignages tout aussi indicateurs de l'évolution paysagère.

---

[1] Pline, *Histoire naturelle* (IV, 17). Trad. E. Littré, *CAL* (1855), du texte latin suivant :

« Latur a nemore, Aeginium. in ora Heraclea, flumen Apilas, oppida Pydna, Aloros, amnis Haliacmon. intus Aloritae, Vallaei, Phylacaei, Cyrrestae, Tyrissaei, Pella colonia, oppidum Stobi civium Romanorum, mox Antigonea, Europus ad Axium amnem, eodemque nomine per quod Rhoedias fluit, Scydra, Eordaea, Mieza, Gordyniae. mox in ora Ichnae, fluvius Axius. »

2.1.3. L'évolution des paysages balisée par la présence de marqueurs archéologiques depuis la période Néolithique jusqu'à l'époque romaine

En complément de l'étude des sources documentaires qui vient d'être établie, il nous est apparu indispensable de décrire la mobilité des paysages de Macédoine centrale telles que le permettent les résultats de précédentes recherches, élaborées autour de sites archéologiques importants. Elles sont l'œuvre d'archéologues et d'historiens qui ont porté une attention particulière à certains vestiges ou sites archéologiques considérés comme majeurs à plusieurs titres. Les sites néolithique de Nea Nikomideia, macédonien de Pella et romain du pont de Klidi (rattaché à la *Via Egnatia*) ont été à ce titre des sujets d'étude privilégiés (figure 55).

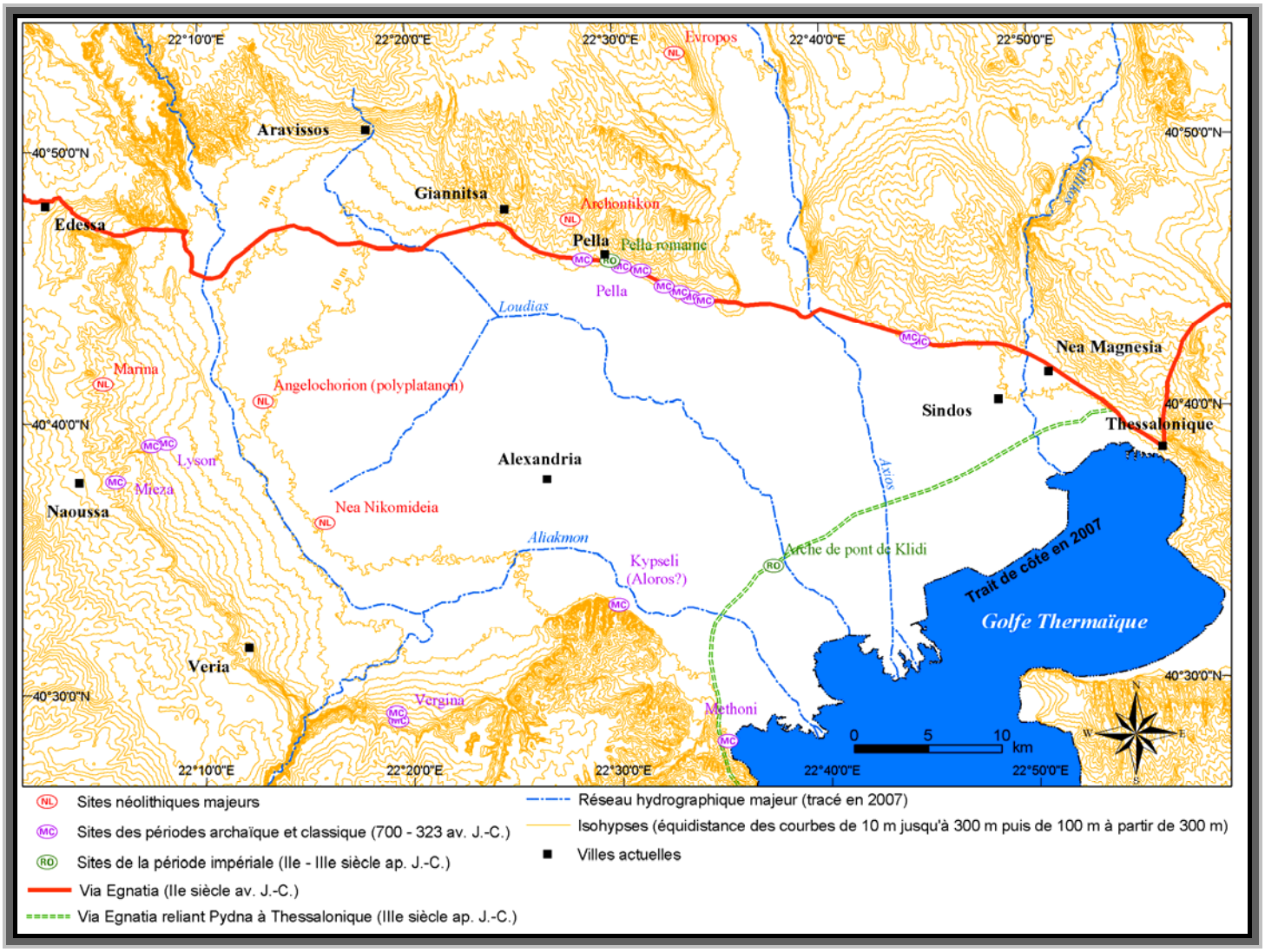


Figure 55 : Localisation des sites archéologiques majeurs dans la plaine de Macédoine centrale

2.1.3.1. L'existence de vestiges archéologiques attestent de l'évolution environnementale de la Macédoine centrale : l'exemple du site néolithique de Nea Nikomideia

L'occupation de la Macédoine centrale est attestée dès le Néolithique et plus sûrement identifiée pendant l'âge du bronze. De nombreux sites de ces périodes sont localisés sur le pourtour collinaire de la plaine (French 1967 ; Grammemos, 1997, 2003), essentiellement sur les marges septentrionale et occidentale (figure 55).

Le site de Nea Nikomideia (figure 56) est localisé dans la partie ouest de la plaine de Macédoine à 10,5 km au nord-est de Veria (40°36.24' / 22°15.89') et à 35 km environ du trait de côte actuel.

Des fouilles archéologiques furent entreprises en 1961, 1963 et 1964 par une équipe composée de chercheurs et d'étudiants des Universités de Cambridge et d'Harvard, sous la direction de R.J. Rodden. Les études (Rodden, 1962, 1964 ; Rodden & Wardle1996) permirent de révéler que ce site correspondait au plus important village de fermiers attesté dans les Balkans au Néolithique. Plusieurs datations (annexe III) utilisant la méthode ^{14}C, effectuées sur des charbons (Shackleton, 1970) et des os d'animaux ont permis de dater trois phases d'occupation du site entre 6 220 et 2 800 av. J.-C. :

- Une première phase d'occupation du site aux alentours de 6 220 av. J.-C., période durant laquelle les activités agricoles sont consacrées à la culture du blé, des lentilles et des pois, et à l'élevage d'espèces ovine et porcine (Rodden & Wardle, 1996).
- Aux alentours de 5 000 – 4 000 av. J.-C., au Néolithique moyen (« Middle Neolithic Age », Hammond, 1972), le site de Nea Nikomideia est abandonné et les populations qui étaient venues de Thessalie sont expulsées, absorbées ou exterminées par de nouveaux peuples venant d'Anatolie.
- de 4 000 à 2 800 av. J.-C., au Néolithique récent (« Late Neolithic Age », Hammond, 1972), le site de Nea Nikomideia est réoccupé et pour la première fois, des contacts sont établis avec des habitants d'autres sites Néolithiques, notamment celui d'Angelochorion (Hammond, 1979).

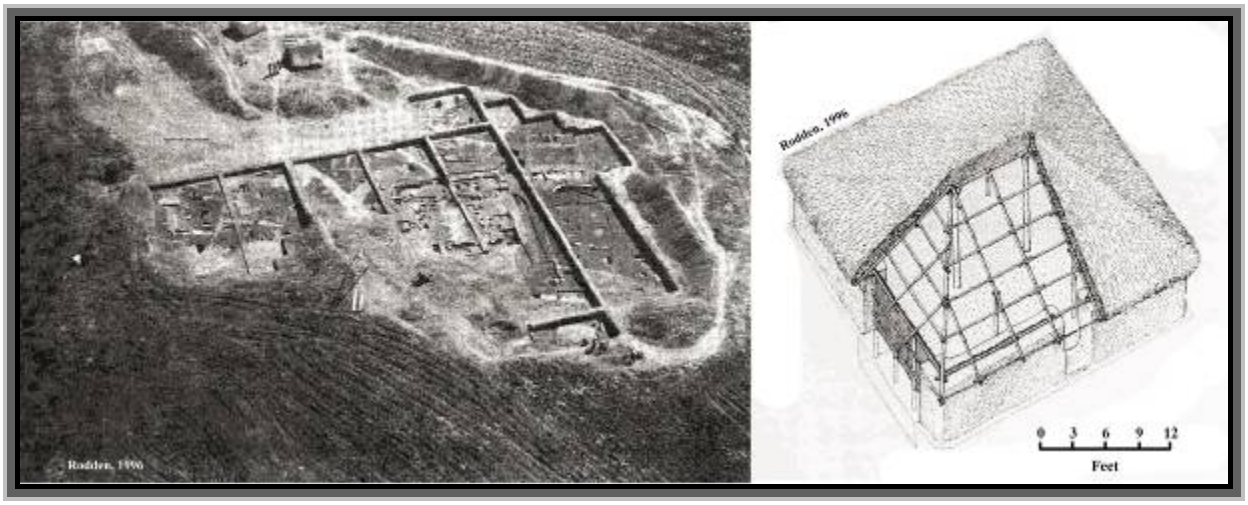


Figure 56 : Vue aérienne du site de Nea Nikomideia et description de l'habitat (Rodden & Wardle, 1996)

De nombreux auteurs (Bintliff 1976 ; Rodden 1962 ; Rodden & Wardle, 1996 ; Triantaphyllou 2001) considèrent que le site de Nea Nikomideia était situé en bordure d'une zone lacustre. Cette hypothèse est étayée par le fait que les habitations sont construites avec de l'argile et des roseaux (Rodden & Wardle, 1996).

Le nombre important de coquilles marines (*Cerastoderma edule*) retrouvées sur le site et les nouvelles recherches entreprises pour l'analyse environnementale ont également permis à certains auteurs d'émettre l'hypothèse d'une localisation à proximité de la mer (Shackleton, 1970).

Aucune analyse approfondie n'a cependant pu reconstituer l'évolution des conditions paléoenvironnementales autour du site de Nea Nikomideia ; aussi ces deux hypothèses (proximité d'un lac, proximité de la mer) restent à vérifier.

2.1.3.2. Configuration des paysages autour de la ville de Pella depuis l'époque classique jusqu'à la fin de l'époque hellénistique (de 350 av. J.-C. environ à 168 av. J.-C.)

La ville de Pella est connue dans les sources littéraires antiques grâce aux descriptions d'Euripide (V^{e} siècle av. J.-C.), d'Eschine (IV^{e} siècle av. J.-C.), de Plutarque (I^{er} - II^{e} siècle ap. J.-C., mais dont la description des paysages rend compte de la situation au milieu du IV^{e} siècle av. J.-C.) et de Tite-Live (I^{er} siècle ap. J.-C.). Ce dernier fournit la description la plus précise de Pella, fondée en partie sur les indications de Polybe (II^{e} siècle av. J.-C., Pédech, 1964). Ces auteurs nous livrent des informations sur la topographie de la ville ainsi que sur sa situation environnementale.

a) La première description de l'ancienne capitale (Eschine, IV^e siècle av. J.-C.)

Eschine, auteur grec né à Athènes vers 390 av. J.-C., mort à Rhodes en 314 av. J.-C., est connu pour son plaidoyer à Athènes contre Démosthène.

Le discours d'Eschine *Sur l'Ambassade infidèle* fut prononcé probablement au cours de l'été 343 av. J.-C., durant son procès où il est accusé de trahison et de corruption.

La partie consacrée à la description des paysages dans le secteur de Pella fait référence à une attaque personnelle de Démosthène, le plus fervent adversaire de Philippe II. Démosthène accuse Eschine d'avoir failli à son devoir d'ambassadeur en traitant directement avec le roi macédonien, de nuit, dans la forteresse royale située de l'autre côté de la rive d'un cours d'eau qui sépare la résidence des rois macédoniens du reste de la ville (Eschine, *Sur l'Ambassade infidèle*, p.149, passages 124 et 125).

Les historiens et les archéologues ont toujours considéré ce texte d'Eschine comme authentique. Cependant, le doute subsiste quant au fait que les entretiens entre Philippe et Eschine se soient réellement déroulés à Pella. Démosthène, lors de son accusation de traîtrise à l'égard d'Eschine, semble localiser les entrevues à Phères, en Thessalie (*l'Ambassade*, 175), pendant le voyage de retour de l'ambassade. En dépit de ces incertitudes historiques, il convient de retenir la description qu'Eschine livre des environs de Pella. Il évoque notamment le passage d'un fleuve, en l'occurrence le *Loudias*, qui serait situé entre la forteresse royale et le reste de la ville ; voici son récit :

> (Trad.[1]) « Jugez maintenant d'après ses paroles comment Démosthène vous a trompés : car la tromperie est bien la marque du charlatan. Il affirme que j'ai traversé le Loudias de nuit dans une pirogue, pour me rendre vers Philippe, et que j'ai composé pour lui la lettre que le prince vous a envoyée. »

[1] Eschine, *Sur l'ambassade infidèle* (II, 124). Trad. V. Martin & G. de Budé, *CUF* (2002), du texte grec suivant :

« τίνες οὖν ἦσαν αἱ ἀπάται, ταῦτα γὰρ τοῦ γόητος ἀνθρώπου, ἐξ ὧν εἴρηκε λογίσασθε. εἰσπλεῖν μέ φησιν ἐν μονοξύλῳ πλοίῳ κατὰ τὸν Λοιδίαν[1] ποταμὸν τῆς νυκτὸς ὡς Φίλιππον, καὶ τὴν ἐπιστολὴν τὴν δεῦρο ἐλθοῦσαν Φιλίππῳ γράψαι. »

> (Trad.[1]) « Tu (en parlant de Démosthène) dis que je me suis entretenu souvent en particulier avec Philippe pendant la journée, d'autre part tu m'accuses d'avoir traversé de nuit le fleuve (…). »

Comme nous l'avons déjà noté, Hérodote et le Pseudo-Skylax mentionnent déjà l'existence de ce cours d'eau, mais à l'écart de la ville de Pella, puisqu'ils le situent à proximité de l'Aliakmon, donc plus au sud, à proximité des collines de Piérie. Strabon, pour sa part, le mentionne comme cours d'eau navigable depuis son embouchure jusqu'à l'ancienne capitale de la Macédoine.

La localisation par Eschine du Loudias passant à Pella est étrange et doit être considérée avec précaution. Celle-ci peut s'expliquer par le fait que le Pseudo-Skylax (chapitre 66) mentionne la présence d'un canal reliant la capitale au fleuve Loudias proprement dit. Le tracé continu du cours d'eau depuis Pella jusqu'à la mer suggère donc un écoulement unique.

b) Passage du cours d'eau Borboros entre la forteresse royale et le reste de la ville de Pella (Plutarque, I^er^ siècle ap. J.-C.)

Dans sa lettre « *De l'exil* », faisant partie des œuvres morales (traités 42 à 45), Plutarque, auteur grec ayant vécu entre 46 et 125 ap. J.-C., s'adresse à un homme exilé de Sardes (ancienne ville d'Asie mineure). Ce dernier se trouve au moment de la rédaction du texte à Athènes. Dans sa version traduite des textes originaux, J. Hani (2003) suppose qu'il s'agit de Ménémachos, probablement banni de Sardes en raison d'une querelle avec les fonctionnaires romains avec lesquels Plutarque avait tant recommandé, dans ses *Conseils Politiques*, d'entretenir de bons rapports.

La date d'écriture de « De l'exil », l'un des derniers travaux que Plutarque ait réalisé, peut être située aux alentours de 100 ap. J.-C. Voici le chapitre qui nous renseigne directement sur les conditions de vie d'Aristote auprès de Philippe II et où il semble que le précepteur d'Alexandre Le Grand préfère le cadre de vie très agréable de la forteresse royale au reste de la ville où était localisée l'Académie :

---

[1] Eschine, *Sur l'ambassade infidèle* (II, 125). Trad. V. Martin & G. de Budé, *CUF* (2002), du texte grec suivant :

« καὶ λέγεις μὲν ὅτι Φιλίππῳ μεθ᾽ ἡμέραν πολλάκις μόνος μόνῳ διελεγόμην, αἰτιᾷ δὲ εἰσπλεῖν με νύκτωρ κατὰ τὸν ποταμόν: οὕτω νυκτερινῆς ἐπιστολῆς τὸ πρᾶγμα ἐδεῖτο. »

> (Trad.[1]) « Aristote a même été l'objet des reproches de Théocrite de Chios, parce qu'il aimait le genre de vie qu'on menait à la cour de Philippe et d'Alexandre et qu'il avait préféré le séjour des bouches du bourbier à celui de l'académie (il y a en effet, près de Pella, un fleuve que les Macédoniens appellent *Borboros*, - le Bourbier -). »

Plutarque confirme, grâce à ce passage, la mention faite par Eschine au sujet de la présence d'un cours d'eau séparant la forteresse royale du reste de la ville où se trouvait l'académie.

La différence notable avec le récit d'Eschine concerne le nom attribué à ce fleuve : alors que ce dernier l'appelle le *Loudias*, Plutarque le mentionne sous le nom de « *bourbier* » (figure 57). Cette nouvelle appellation laisse conjecturer que le fleuve, dont l'exutoire ou les « bouches » se trouve non loin des remparts de la citadelle, est localisé près d'une zone marécageuse où les eaux stagnent en aval du cours d'eau (en raison d'une pente faible) et prennent ainsi un aspect vaseux.

Même si Plutarque ne nous renseigne pas davantage sur le tracé du cours d'eau dans sa partie amont, cette description souligne une évolution sensible des paysages autour de Pella ; alors qu'au V^{e} s. av. J.-C., la ville est encore au bord de la mer (descriptions d'Hérodote et de Thucydide), au IV^{e} siècle, un cours d'eau sépare la ville de la forteresse royale.

Pour sa part, Strabon ne mentionne pas de cours d'eau passant à proximité de Pella ; il mentionne juste une dérivation du fleuve Axios qui alimente le lac Loudias, sans en préciser le tracé.

---

[1] Plutarque, *Œuvres morales, De l'exil* (10, 603C). Trad. J. Hani, *CUF* (2003), du texte grec suivant :

« Ἀριστοτέλη δὲ καὶ λελοιδόρηκε Θεόκριτος ὁ Χῖος ὅτι τὴν παρὰ Φιλίππῳ δίαιταν ἀγαπήσας εἵλετο ναίειν ἀντ' Ἀκαδημείας Βορβόρου ἐν προχοαῖς (ἔστι γὰρ ποταμὸς περὶ Πέλλαν ὃν Μακεδόνες Βορβόρον καλοῦσι). »

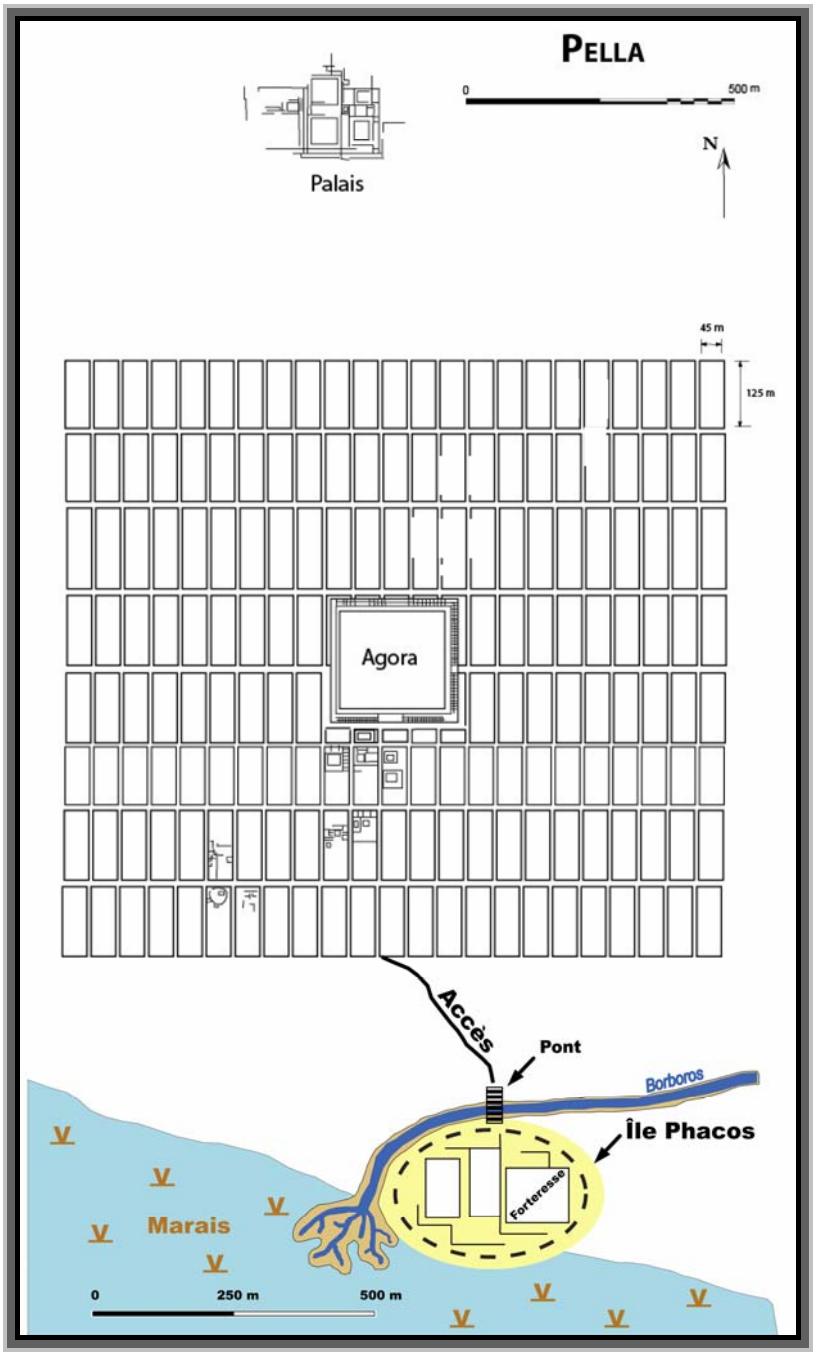


Figure 57 : Interprétation cartographique du récit de Plutarque, mentionnant le Borboros

Le *Borboros* serait-il alors le cours d'eau cité par Strabon, qui alimentait le lac Loudias ? Cette hypothèse n'est pas facile à vérifier, et ce bien que les voyageurs du XIX^{e} siècle, W.M. Leake (1835) notamment, affirment avoir observé au sud de la ville de Pella un promontoire qui serait déconnecté du reste de la ville (par le passage d'un cours d'eau ?). Les recherches ultérieures (Delacoulonche, 1859) et les fouilles archéologiques contemporaines n'ont en fait pas permis de révéler formellement l'emplacement de la forteresse.

A. Delacoulonche et T.A. Desdevises-du-Dézert émettent l'hypothèse qu'après la fin de l'Empire romain, les blocs qui constituaient la forteresse furent démantelés puis réutilisés localement pour construire des villes et des églises : c'est une hypothèse qui semble plausible pour expliquer la disparition soudaine de tout signalement de l'île Phacos.

c) *La description topographique la plus précise de la ville de Pella : Tite-Live (I^{er} siècle av. J.-C.)*

Strabon a livré la description la plus précise des paysages de Macédoine en adoptant une approche naturaliste fondée sur la localisation exacte des cours d'eau et des grandes unités qui composent le relief, grâce à des mesures de distance. Tite-Live nous livre pour sa part la description la plus précise des paysages autour de l'ancienne capitale macédonienne.

Les textes fournis d'après les descriptions de Polybe, portant sur l'analyse topographique de la ville de Pella (Pédech, 1964 ; Roussel, 2003), ont été repris par Tite-Live. Ce dernier insiste notamment sur l'itinéraire de Persée qui prit la fuite en voyant ses armées défaites lors de la bataille à Pydna et les troupes romaines commandées par Paul-Emile le pourchasser.

Le chapitre XLVI (46) du livre 44 de l'*Histoire romaine* rend compte de l'arrivée de Paul-Emile à Pella, puis de son départ pour la ville d'Amphipolis, en Macédoine orientale.

Tite-Live renseigne sur la localisation de la forteresse royale de Pella, construite sur une île dénommée *Phacos* (en raison de sa forme lenticulaire), au milieu d'une zone marécageuse et séparée du reste de la ville par un canal.

Ce canal correspondrait vraisemblablement, d'après les descriptions de l'auteur latin, au fleuve mentionné par Eschine et Plutarque quelques siècles plutôt.

Paul Emile, au lendemain de sa victoire sur les armées macédoniennes à Pydna (168 av. J.-C.) admira la position de la citadelle et s'aperçut que cette place forte était protégée naturellement de tout accès en raison de la présence de marais si profonds, en toute saison, qu'il était impossible de s'y rendre à pied ou à cheval. Voici les passages relatant la configuration paysagère de Pella :

(Trad.[1]) « Parti de Pydna avec toute son armée, le consul (Paul-Emile) parvint le lendemain à Pella ; ayant établi son camp à mille pas de là, il y tint ses quartiers pendant quelques jours, observant de tous les côtés la situation de la ville, et se rendit compte que ce n'était pas sans raison qu'elle avait été choisie comme résidence royale. »

(Trad.[2]) « Elle est située sur la pente sud-ouest d'une colline ; l'entourent des marais d'une profondeur qui les rend infranchissables en été comme en hiver ; ils forment une nappe d'eau alimentée par les rivières. »

(Trad.[3]) « La citadelle de Phacus émerge comme une île au milieu même du marais, là où il est le plus proche de la ville ; elle se dresse sur une digue réalisée au prix de travaux considérables et qui, tout en soutenant le mur, n'a nullement à souffrir des dégradations éventuellement causées par l'eau du marais qui l'entoure. »

(Trad.[4]) « De loin, la citadelle paraît reliée aux remparts de la ville, mais elle en est séparée par un canal qui passe entre les murailles et reliée à elle par un pont, de sorte qu'elle n'offre nulle part d'accès à un assaillant venant de l'extérieur ni, pour celui que le roi y fait enfermer, la moindre issue pour s'évader, en dehors du pont dont la garde est très facile. »

La présence du canal s'écoulant entre les murailles, appelé *« Intermurali Amni »* (XLVI, 44, 7) par Tite-Live, conforte ainsi la description d'Eschine qui, en parlant de ce même cours, lui donna l'appellation de *Borboros* pendant la période de règne de Philippe II.

---

[1] Tite-Live, *Histoire romaine* (XLVI, 44, 4). Trad. P. Jal, *CUF* (2003), du texte latin suivant :
« Consul a Pydna profectus cum toto exercitu die altero Pellam peruenit et cum castra mille passus inde posuisset, per aliquot dies ibi statiua habuit, situm urbis undique aspiciens, quam non sine causa delectam esse regiam animaduertit. »

[2] Tite-Live, *Histoire romaine* (XLVI, 44, 5). Trad. P. Jal, *CUF* (2003), du texte latin suivant :
« Sita est in tumulo uergente in occidentem hibernum ; cingut paludes inexsuperabilis altitudinis aestate et hieme, quas restagnantes faciunt amnes. »

[3] Tite-Live, *Histoire romaine* (XLVI, 44, 6). Trad. P. Jal, *CUF* (2003), du texte latin suivant :
« Phacus in ipsa palude, qua proxima urbi est, uelut insula eminet, aggeri operis ingentisimposita, qui et murum sustineat et umore circumfusae paludis nihil laedatur. »

[4] Tite-Live, *Histoire romaine* (XLVI, 44, 7). Trad. P. Jal, *CUF* (2003), du texte latin suivant :
« Muro urbis coniuncta procul uidetur ; diuisa est intermurali amni et eadem ponte iuncta, ut nec oppugnante externo aditum ab ulla parte habeat, nec, si quem ibi rex includat, ullum nisi per facillimae custodiae pontem affugium. »

A partir du récit de Tite-Live, il est ainsi possible de livrer une interprétation cartographique de la configuration géographique de la ville de Pella (figure 58). Cette dernière est toujours scindée en deux parties par un cours d'eau : la première est l'espace occupé par la ville où se trouve l'agora, et la seconde correspond à l'île Phacos qui abrite la forteresse royale où le trésor royal est protégé.

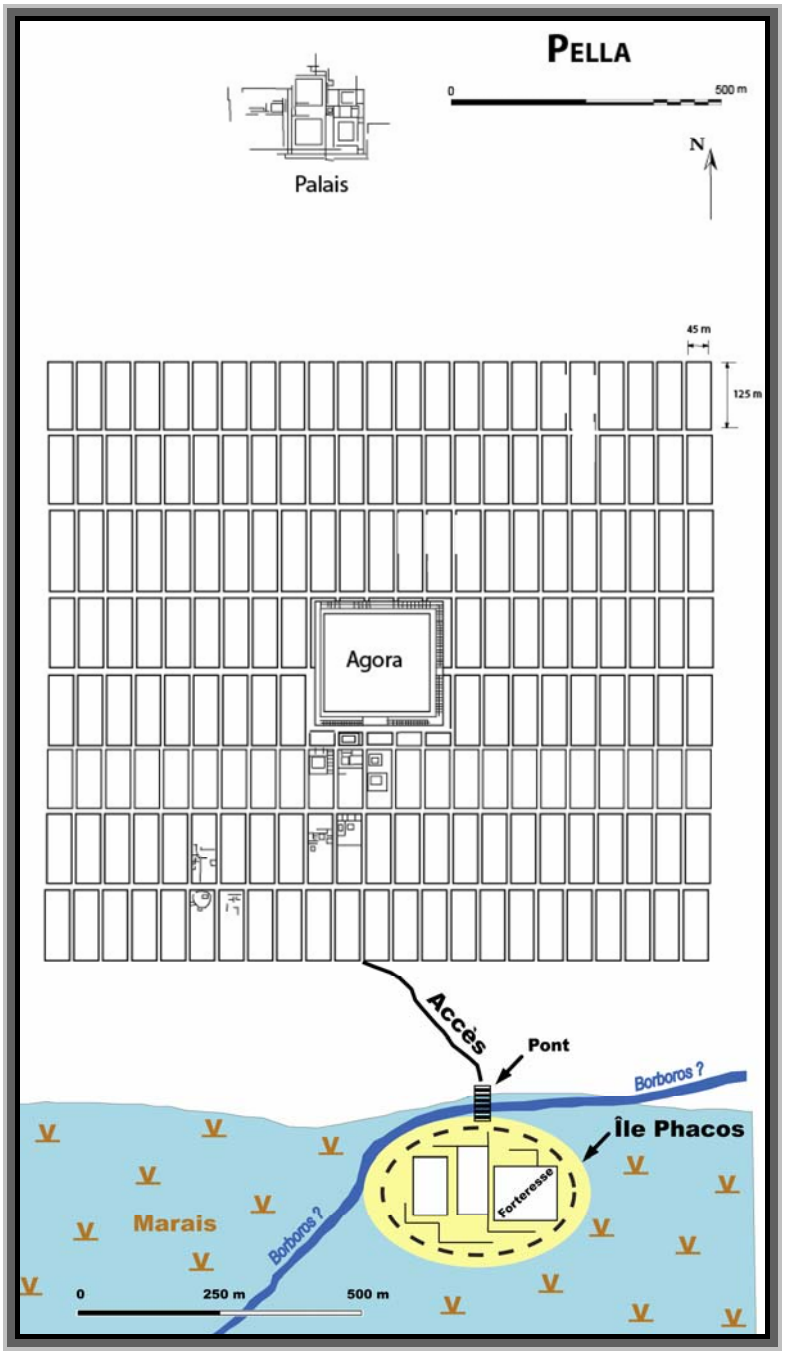


Figure 58 : Vision de l'île Phacos lors de l'arrivée de Paul-Emile à Pella

La fin de l'avènement du Royaume de Macédoine, au lendemain de la défaite des armées royales contre les troupes romaines du consul Paul-Emile, marque la domination territoriale et administrative de l'Empire romain sur la région.

Afin d'assurer une bonne maîtrise de l'espace nouvellement conquis, des travaux d'aménagement furent entrepris. Les voies de communication sont construites ou réaménagées en priorité, reprenant parfois d'anciennes routes macédoniennes. L'œuvre majeure des ingénieurs romains reste la construction de la *Via Egnatia* reliant la côte Adriatique à la Mer Noire et dont une portion de route parcourt la Macédoine.

2.1.3.3. Evolution des paysages attestée par les documents iconographiques, les itinéraires et les marqueurs archéologiques datant de l'époque romaine

Peu de documents iconographiques datant de l'Antiquité ont été élaborés pour renseigner sur les paysages de Macédoine. Il faut se référer à un document majeur, la table de Peutinger, pour obtenir le tracé des routes établies pendant la domination romaine ainsi que la localisation des principales villes étapes. Ainsi Thessalonique, Pella, Veria et Dion, figurent-elles pour certaines comme des villes littorales. Plus tard, la route romaine et les axes connexes associés de la *Via Egnatia* qui parcourent la Macédoine nous indiquent une fermeture totale de la plaine aux alentours du III^{e} siècle ap. J.-C.

a) La table de Peutinger (II^{e} siècle av. J.-C. ?)

La table de Peutinger (*Tabula Peutingeriana* ou *Peutingeriana Tabula Itineraria*), également appelée *Carte des étapes de Castorius,* est une copie datant du XIII^{e} siècle d'une carte romaine, probablement datée du I^{er} siècle ap. J.-C., qui montre les routes et les villes principales sous l'Empire romain (les distances entre chaque ville sont exprimées en *milliarum*, soit 1000 pas de long, équivalent à environ 1481 mètres) au II^{e} siècle av. J.-C. Elle fut découverte en 1494 dans une bibliothèque de Worms (Allemagne) par Conrad Celtes. Elle porte le nom de Konrad Peutinger (1465-1547) qui l'hérita de Celtes.

Elle est probablement fondée sur la carte du monde préparée par Marcus Vipsanius Agrippa (64 - 12 av. J.-C.), un ami personnel de l'empereur Auguste. Après la mort d'Agrippa, la carte a été gravée dans le marbre et placée à Rome sur le *Porticus Vipsaniae*, non loin de l'Autel de la Paix, le long de la *Via Flaminia*.

Certes, le format ne permet pas une représentation réaliste des paysages ni des distances, mais ce n'était pas dans les intentions du concepteur. La carte doit plutôt être vue comme une représentation symbolique, permettant de se rendre facilement d'un point à un autre, de connaître les distances des étapes, sans offrir une représentation fidèle de la réalité.

La Macédoine est représentée sur la table de Peutinger (figure 59) et l'on y reconnaît assez aisément la route qui longe le littoral égéen entre Dion (notée *Dium*) et Thessalonique (notée *Tessalonice*). Sept villes intermédiaires sont mentionnées dont seulement deux sont parfaitement identifiées : il s'agit de Veria et de Pella. Cette dernière, sous l'empire romain, se trouve en retrait par rapport au littoral (confirmant ainsi les témoignages du Pseudo-Skylax et de Strabon, voir plus haut), distante de 27 (XXVII) *milliarum* de Thessalonique, environ 40 km, et de 30 (XXX) *milliarum*, environ 44,5 km de Veria (notée Beroea).

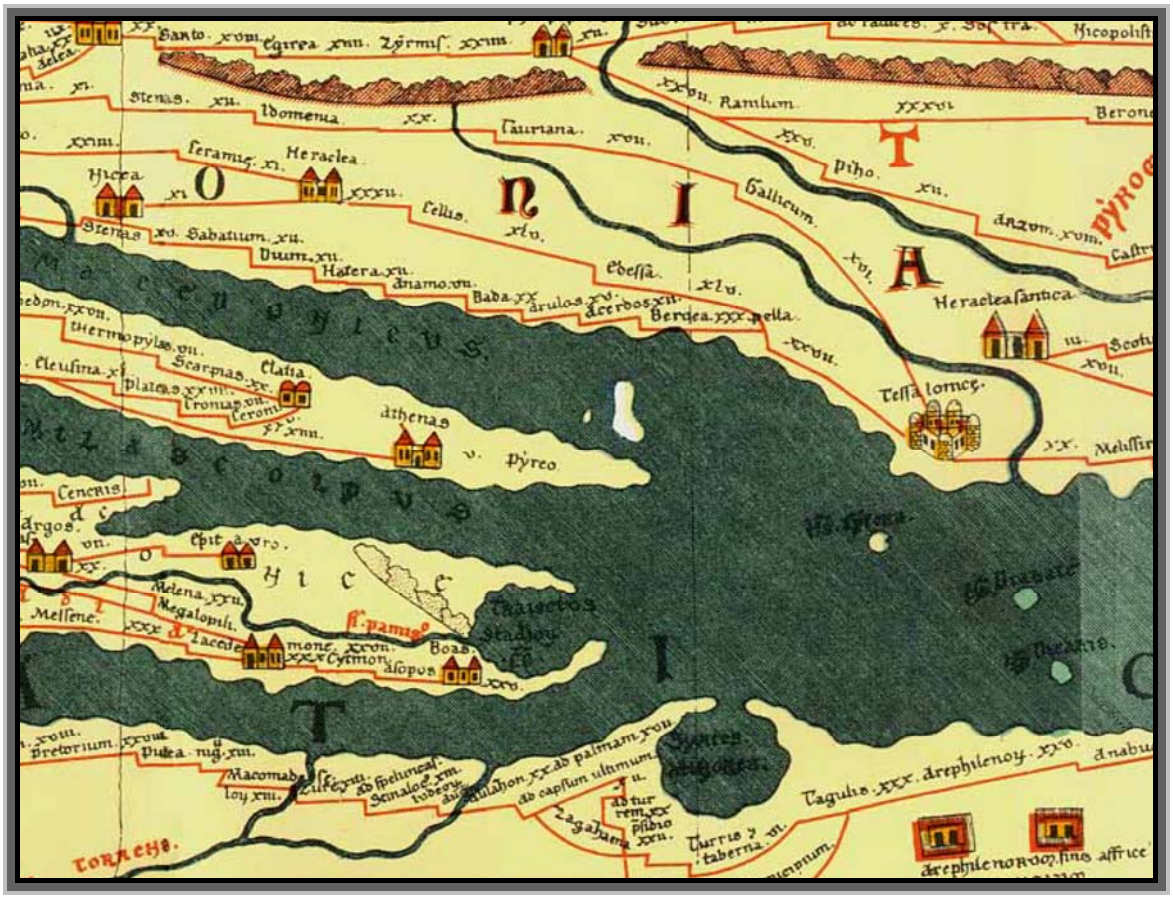


Figure 59 : Fragment de la table de Peutinger entre Dion (Dium) et Thessalonique (Tessalonice)

Les cinq villes intermédiaires situées entre *Dium* et *Beroea* (*Acerdos*, *Arulos*, *Bada*, *Anamo* et *Hatera*), ne peuvent être localisées de manière certaine. Hatera pourrait correspondre à la ville actuelle de Katerini (Leake 1835 ; Heuzey 1860, p.153). Léon Heuzey considérant, probablement à juste titre, que les distances entre les villes proposées par la table

de *Peutinger* sont inexactes, envisage (avec beaucoup de réserves) que la ville de *Bada* puisse correspondre avec la ville actuelle d'Aiginion - Libanovo - (Heuzey 1860, p. 182 ; figure 59) :

> « Sans doute il faut placer à Libanovo l'une des stations indiquées par la table de Peutinger, Acerdos, Arulos, Bada ou Anamo ; mais les distances données par cette carte sont si évidemment fausses, qu'il est difficile de s'arrêter avec quelque certitude sur aucun de ces noms. Je ne choisis celui de Bada que sous toutes réserves. »

En tout état de cause, de telles localisations ne peuvent être qu'hypothétiques dans la mesure où la toponymie ancienne ne correspond pas à l'actuelle et où les distances entre les villes semblent exagérées.

b) Une route connexe à la Via Egnatia traverse la plaine de Macédoine Centrale depuis Dion jusqu'à Thessalonique (III^e^ siècle ap. J.-C.)

L'antique route romaine *Via Egnatia* est la prolongation en Grèce de la *Via Appia* qui reliait Rome à Brindisi. Elle porte le nom de son constructeur, le proconsul *Gaius Ignatius*. Elle fut construite en 146 av. J.-C. après la victoire finale de l'Empire romain sur le royaume de Macédoine et traduit une volonté de maîtrise du territoire nouvellement acquis par le consul Paul-Emile. Cet itinéraire, long de 800 km environ, relie d'ouest en est la ville de *Dyrrachium* (actuelle ville de Dürres en Albanie) à Byzance (O'sullivan, 1972), sur le détroit du Bosphore ; il constitue également un axe commercial majeur entre l'Occident et l'Orient.

Durant les époques byzantine et ottomane, le tracé de l'ancienne *Via Egnatia* a été repris, puis réaménagé, mais a conservé son parcours originel. De nos jours, les routes empruntent toujours cet axe dont la dénomination en Macédoine est restée la même (*Εγνατία Οδός)*.

Les anciennes villes du Royaume de Macédoine comme Edessa, Pella et Thessalonique, figurent sur la route principale (Roussel, 2003 ; Tafel, 1841), comme nous l'apprend Polybe :

> (Trad[1]) « De là, elle passe près du Barnous, puis, par Héracléia, le pays des Lyncestes et celui des Eordiens, par Edessa et Pella, atteint Thessalonique. Cette partie de la route est selon, longue de deux cent soixante-sept milles. »

La *Via Egnatia* possède des voies connexes ou des itinéraires secondaires, comme celui reliant la ville d'Apollonia (située en Illyrie) à Claudiana (Hammond, 1974), ou celui reliant la ville de Pydna à Thessalonique (Delcoulonche, 1859 ; figure 60) et dont la création est plus tardive (III[e] siècle ap. J.-C.).

Figure 60 : La route romaine Via Egnatia entre Dyrrachium et Byzance

Des vestiges archéologiques de l'époque romaine permettent de mieux appréhender l'évolution morphologique de la plaine centrale de Macédoine. Ainsi sur l'itinéraire

[1] Polybe (XXXIV, 8). Trad. D. Roussel, Gallimard (2003), d'après la citation de Strabon (VII, 7, 4, C 322).

secondaire reliant Pydna à Thessalonique, on constate que la route ne passe pas par les villes de Veria et de Pella en longeant le piedmont des massifs montagneux, mais suit un tracé direct. Il est fort probable que ce tracé reprenne un ancien itinéraire établi par les Macédoniens : en effet, lors de l'épisode de la fuite de Persée depuis Pydna vers Pella, ses compagnons rejoignirent la capitale plus rapidement que lui en empruntant une route transversale :

> (Trad.[1]) « Persée s'enfuit vers la forêt de Piérie, en empruntant la voie militaire, accompagné d'une troupe nombreuse de cavaliers et de soldats de la garde royale. Dès qu'on fut arrivé dans la forêt où se trouvaient plusieurs chemins conduisant dans des directions différentes, et comme la nuit approchait, il prit une voie traverse, accompagné d'un groupe très restreint des hommes les plus fidèles. Les cavaliers laissés sans chef, se dispersèrent pour se rendre chacun dans sa cité respective ; un tout petit nombre d'entre eux parvinrent de là à Pella plus vite que Persée lui-même, parce qu'ils avaient emprunté une route droite et sans obstacles. »

Tite-Live renseigne également sur l'arrivée du consul Paul Emile à Pella après seulement une journée de marche, au lendemain de la victoire de Pydna en 168 av. J.-C. :

> (Trad.[2]) « Parti de Pydna avec toute son armée, le consul (*ndlr.* Paul Emile) parvint le lendemain à Pella (…). »

Il ne fait aucun doute, à la lecture de ce passage, que les armées romaines empruntèrent un itinéraire direct depuis le nord de la Piérie jusqu'à Pella, et non la route passant par Veria : ce dernier itinéraire aurait en effet probablement nécessité plus d'une journée de marche. On sait par ailleurs que Philippe II entreprit de nombreux travaux de constructions, notamment dans l'aménagement des routes (Delacoulonche, 1859) : il est fort probable qu'un itinéraire devait lui permettre de se rendre plus rapidement dans le sud de la

[1] Tite-Live, *Histoire romaine* (XLIV, 43). Trad. P. Jal, *CUF* (2003), du texte latin suivant :
« Perseus ad Pieriam siluam uia militari frequenti agmine equitum et regio comitatu fugit. Simul in siluam uentum est, urbi plures diuersae semitae erant, et nox adpropinquabat, cum perpaucis maxime fidis uia deuertit. Equites sine duce relicti alii alia in ciutates suas dilapsi sunt ; perpauci inde Pellam celerius quam ipse Perseus, quia recta expedita uia ierant, peruenerunt. »

[2] Tite-Live, *Histoire romaine* (XLIV, 46, 4). Trad. P. Jal, *CUF* (2003), du texte latin suivant :
« Consul a Pydna profectus cum toto exercitu die altero Pellam peruenit (…). »

Macédoine, une fois les dernières villes ralliées à l'alliance athénienne (Pydna, Methoni…) vaincues.

c) *Des vestiges témoins d'une voie secondaire de l'ancienne Via Egnatia : l'arche du pont de Klidi (III^{e} siècle ap J.-C.)*

Un témoignage archéologique du passage d'une route secondaire à la *Via Egnatia* reliant Pydna à Thessalonique reste de nos jours visible au milieu de la plaine de Thessalonique, sous la forme d'une arche de pont isolée située à environ 1 km à l'ouest du fleuve Loudias et à 6 km du littoral actuel. Aucun écoulement transversal n'y a été observé ou attesté au cours des deux derniers siècles.

L'âge et l'origine de ce pont demeurent incertains faute d'études approfondies. Le travail d'A. Delacoulonche (1859) fait donc encore référence en la matière. Au cours de sa mission archéologique, menée avec Léon Heuzey dans le berceau de la puissance macédonienne, A. Delacoulonche observa et étudia en détail cet ouvrage qu'il data du III^{e} siècle ap. J.-C. en raison du style architectural typique de l'époque romaine. Si la maçonnerie de blocage (construite avec des pierres) subsiste toujours, le tablier a disparu. Ainsi, il reste une seule arche voûtée (figure 61), de forme semi-circulaire, isolée au milieu des champs.

Les dimensions du pont sont relativement importantes puisque l'ouverture au ras du sol est de 17, 14 m, sa largeur est de 5,73 m et sa hauteur (en 1859) de 6,52 m. A. Delacoulonche estime que ce pont devait avoir une longueur totale de 187 à 190 m et se composait de 8 à 10 arches, celle restante étant la troisième ou la quatrième. La disparition des autres arches du pont s'explique par le fait que les habitants des villes environnantes ont prélevé une quantité importante de pierres (notamment des piles du pont) pour édifier des maisons ou des églises (essentiellement à Kleidion - Klidi -, le village le plus proche).

Figure 61 : Arche du pont romain de Klidi

Des trous de forme circulaire, correspondant chacun à une arche, ont de fait été reconnus. Dans ces trous peuvent encore être observés de larges pierres carrées et des restes de blocage, typiques des constructions romaines du III^e^ siècle ap. J.-C. (Delacoulonche, 1859).

Ce vestige archéologique, vieux de dix-sept siècles n'est éloigné de la mer que de 6 km : la progradation de la plaine a donc considérablement décéléré, si l'on s'en réfère à la description générale des paysages de Macédoine entre l'époque de Thucydide (V^e^ siècle av. J.-C.) et celle de Strabon (I^er^ siècle av. J.-C.). Plusieurs hypothèses ont d'autre part été avancées pour expliquer la localisation de cette arche, aujourd'hui à l'écart de tout écoulement : certains auteurs l'expliquent par la présence en cet endroit de la confluence d'un ancien cours commun de l'Aliakmon et du Loudias (Delacoulonche, 1859 ; Bintliff, 1976). D'autres privilégient l'hypothèse d'un pont enjambant le grau d'une lagune (NEDECO 1970). Aucune étude géomorphologique ni prospection géophysique n'a cependant pu confirmer ou infirmer l'une des deux théories.

La présence de cette arche de pont, située sur la route reliant Pydna à Thessalonique et datée du III^e^ siècle ap. J.-C., souligne le passage d'un nouvel axe de communication direct et plus rapide depuis le sud de la Macédoine et de la Grèce jusqu'à Thessalonique (les villes de Veria et de Pella ne sont donc plus dès cette époque des villes étapes lorsque l'on vient du sud de la Macédoine et d'Athènes). L'itinéraire traverse une vaste plaine : la baie marine mentionnée par Hérodote et Thucydide (V^e^ siècle av. J.-C.) a donc été progressivement comblée, comme en témoigne le récit du Pseudo-Skylax (IV^e^ siècle av. J.-C.) jusqu'à sa fermeture totale (Strabon, I^er^ siècle av. J.-C.), favorisant ainsi l'établissement d'un itinéraire routier plus direct au III^e^ siècle ap. J.-C.

CONCLUSION

L'exégèse des sources documentaires (textes anciens, documents iconographiques, etc.) associée à l'étude des vestiges archéologiques et fournies par de précédentes recherches historiques, a permis de décrire et de reconstituer l'évolution morphologique de la Macédoine centrale au cours de l'Antiquité.

Le passage d'une occupation marine à la fermeture progressive de l'ancien golfe marin, puis à une occupation lacustre dans un large secteur, est incontestable depuis le Néolithique jusqu'à la fin de la période hellénistique. L'exemple le plus significatif de cette évolution des paysages est celui de Pella, l'ancienne capitale du royaume de Macédoine qui au V^{e} siècle av. J.-C. est décrite par Hérodote comme une ville littorale alors que Strabon au I^{er} siècle av. J.-C. la localise sur la marge septentrionale d'une vaste étendue lacustre.

La ville est toujours accessible depuis la mer par bateau. Cependant, alors que la flotte du roi Perse Xerxès, au V^{e} siècle av. J.-C., n'eut aucun mal à stationner à proximité de Pella (Hérodote) sans emprunter un chenal spécifique, il faut au I^{er} siècle ap. J.-C., remonter le fleuve Loudias sur une distance de 22,2 km pour parvenir au pied de la ville !

La mobilité des littoraux et les changements répétés du tracé des cours d'eau (figures 50, 51, 52, 53, 56 et 57) sont donc les caractéristiques morphologiques majeures qui affectent la Macédoine centrale au cours de l'Antiquité.

L'abondance relative des sources documentaires et la présence des vestiges archéologiques de cette période de l'histoire ne doivent pas faire oublier les lacunes des époques byzantine et ottomane. Ces dernières couvrent environ quinze siècles d'histoire dans la région (du V^{e} au XIX^{e} siècle) ; la faiblesse des descriptions et des documents cartographiques qui décrivent la région de Macédoine centrale contrastent ainsi avec la période antique. Durant quinze siècles, peu de textes nous sont parvenus et ce n'est qu'au XVIII^{e} siècle que l'on retrouve des données exploitables.

Le présent travail révèle donc une absence quasi-totale de sources entre l'Antiquité et la période ottomane ; cette carence est fortement préjudiciable à une reconstitution paléogéographique fidèle de ce territoire.

Chapitre 2 : la description des paysages de Macédoine centrale fondée sur les récits de voyageurs et les documents cartographiques (XVIII^e – début XX^e siècle)

INTRODUCTION

L'importance des sources documentaires attestée pendant l'Antiquité contraste singulièrement avec la période qui couvre les époques byzantine et ottomane, entre les V^e^ et XVIII^e^ siècles. Peu de témoignages et de documents iconographiques datant de cette période renseignent sur la configuration paléogéographique de la région de Macédoine centrale.

Deux sources rendent compte des paysages de la Macédoine centrale au V^e^ et au XI^e^ siècle ap. J.-C. La première relate en 473 ap. J.-C. l'installation du roi ostrogoth Théodoric le Grand (455-526) avec ses troupes dans les plaines fertiles qui s'étendent à l'ouest de l'Axios (Touratsoglou, 1998). La seconde source repose sur un texte d'Anne Comnène (1083-1148), fille de l'Empereur byzantin Alexis I^er^ Comnène, qui relate le stationnement des armées de son père en 1078 à proximité d'un pont le long du fleuve Axios. A partir de ces deux seuls témoignages, il est bien évidemment impossible de déduire une interprétation paysagère régionale.

Plus tard, les cartes et portulans élaborés par Piri Reis, amiral et cartographe ottoman au début du XVI^e^ siècle, ne permettent pas non plus de juger convenablement de l'évolution du trait de côte de la Macédoine centrale, d'autant que ces documents ont soulevé de nombreuses polémiques quant à leur authenticité (McIntosh, 2000).

C'est seulement à partir du XVII^e^ siècle et essentiellement aux XVIII^e^ et XIX^e^ siècles, que les récits de voyageurs (principalement en langues française et anglaise) ont permis de livrer de nouvelles informations paléogéographiques sur la région. Ces géologues, historiens et archéologues ont parcouru et décrit la Macédoine centrale et ont analysé de façon plus ou moins détaillée ses paysages. Les expéditions organisées étaient généralement menées par des hommes dont le niveau social et les revenus élevés permettaient l'accomplissement de voyages qui pouvaient durer plusieurs années. Leur itinéraire se prolongeait généralement au-delà de la Grèce (alors appelée Turquie d'Europe), jusque dans les confins de l'Empire ottoman. Le passage par la Macédoine constituait alors une étape incontournable de leur voyage, où de fortes motivations archéologiques les amenaient souvent à rechercher les vestiges du Royaume macédonien.

L'identification de sites majeurs de Macédoine date en partie du XIX^e^ siècle (Heuzey, 1860) et a guidé les grandes découvertes archéologiques du XX^e^ siècle (tombes de Vergina et ville de Pella notamment ; Andronikos, 1984, 1993 ; Petsas, 1978). Ces voyages ont particulièrement permis de mieux faire connaissance avec la géographie de ce territoire

jusqu'alors peu décrit. E.M. Cousinéry (1831, p.3) souligne à ce propos le manque d'intérêt des civilisations occidentales pour la région avant le XIX^e siècle : *« Le plus distingué de nos géographes du dernier siècle, Danville, a dit avec raison, au sujet de cet ancien royaume, qu'il était surprenant que nous fussions plus instruits sur la géographie de l'Inde et de la Chine, que sur celle des contrées où régnèrent Philippe et Alexandre. »*

L'utilisation combinée des récits de voyageurs et des documents cartographiques nécessaires pour évaluer la mobilité des paysages n'est plus à démontrer depuis les travaux de J. Lefort en Macédoine orientale (Lefort, 1986) et d'E. Fouache en Grèce occidentale (Fouache, 1999).

L'analyse critique indispensable de ces sources a nécessité l'établissement de documents cartographiques interprétatifs afin d'avoir une reconstitution fiable de la paléogéographie de la région pour le XIX^e siècle essentiellement. Peu de cartes accompagnent les récits de voyage des auteurs E.M. Cousinéry (1831), A. Boué (1840) A. Delacoulonche (1859), ou bien encore ceux de T.A. Desdevises-Du-Dézert (1862). Il a donc fallu élaborer *a posteriori* ces documents interprétatifs, en s'aidant de cartes déjà établies : celles de W.M. Leake (1835) et de L. Heuzey (1860) ainsi que celles consultables en bibliothèque, ou sur l'Internet (collection personnelle de D. Rumsey, lien : http://www.davidrumsey.com/) où de nombreuses données numérisées sont aisément accessibles (figures 62 et 63).

Le présent travail s'est également appuyé sur les itinéraires routiers établis par les armées anglaise et prussienne au moment où de nombreuses tensions géopolitiques commençaient à émerger dans les Balkans au début du XX^e siècle, obligeant par le jeu des alliances les armées occidentales à venir occuper le territoire (première guerre mondiale). De nombreux renseignements sur les cours d'eau nous sont notamment fournis par ces sources.

Figure 62 : Macédoine centrale au début du XVIII^e siècle (Guillaume de Lisle, 1708)

Figure 63 : Macédoine centrale au milieu du XIX^e siècle (Arrowsmith, 1844)

Le but de ce deuxième chapitre est de présenter les grandes unités du paysage qui composent la Macédoine centrale telles que les voyageurs géographes les percevaient au XIX^e^ siècle (encadré 1). A l'image des difficultés évoquées dans le chapitre précédent pour l'époque antique, les occupations successives du territoire par les slaves, les ottomans et les grecs ont contribué à modifier la toponymie des lieux et ont ainsi particulièrement compliqué le travail d'étude toponymique et paléogéographique. Le présent travail a également consisté à comparer l'évolution morphologique de la plaine entre l'Antiquité et le XIX^e^ siècle, E.M. Cousinéry (1831) souligne à ce propos que: *« Le voyageur géographe porte particulièrement ses regards sur l'ancien monde ; il compare les relations des auteurs avec l'état actuel des lieux, recherche l'emplacement des villes qui n'existent plus, restitue aux montagnes et aux fleuves les noms primitifs que les révolutions ont changés ou défigurés* ».

La morphologie du trait de côte entre la ville de Thessalonique et le piémont nord des collines de Piérie a été soigneusement décrite par certains auteurs : leurs descriptions et l'analyse critique qui en découlent, constituent la **première section** de ce chapitre.

La **deuxième section** est consacrée à l'organisation générale des cours d'eau drainant la plaine et ses marges montagneuses. Les changements répétés du tracé des cours d'eau relevés par les voyageurs géographes ont plus particulièrement focalisé notre attention.

La **troisième** section porte plus spécifiquement sur la description du lac de Giannitsa, dont la localisation rappelle la mention faite par Strabon de la présence du lac Loudias au I^er^ siècle av. J.-C. au pied de la ville de Pella.

Les descriptions lyriques faites par de nombreux voyageurs géographes à propos des paysages de la Macédoine centrale soulignent la beauté de cette vaste étendue plane verdoyante l'été et humide l'hiver. Les reflets des fleuves et des lacs d'eau douce contrastent avec les vertes forêts et les prairies.

Ainsi A. Delacoulonche (1859, p.3) nous décrit la plaine depuis les hauteurs de la ville de Naoussa où il dresse la géographie d'ensemble :

> « (…) Une belle et vaste plaine de quinze lieues de long sur onze de large, aussi riche que celles de Monastir et de Serrès, sillonnée par de nombreux cours d'eau qui forment dans sa partie la plus basse un lac semblable à ceux de Béchick et de Takinos, ouverte au milieu sur un golfe profond et sûr, enveloppée de l'est à l'ouest par un cercle de montagnes dont les plateaux inférieurs s'étagent en gradins immenses comme pour porter des villes populeuses, arrosée enfin au sud et à l'est par deux grands fleuves, navigables dans cette partie de leur cours, entre lesquels serpente le canal d'écoulement du lac, l'ancien Loudias (…). »

Pour sa part E. M. Cousinéry nous décrit la région de manière bucolique, révélant que la plaine est un carré de 60 km de côté, et souligne également la présence, au centre de la dépression, du Lac de Giannitsa (Cousinéry 1831, p. 78) :

> « Qu'on se figure une plaine de quinze lieues de profondeur et de presque autant de largeur, qui a son horizon sur la mer, couverte de bois, de métairies, de villages, de ruisseaux signalés par de grands arbres, et le lac de Jenidgé qui en forme le centre, et on aura une idée de ce magnifique tableau. »

Le Baron F. de Beaujour mentionne quant à lui les contrastes paysagers entre les saisons où l'hiver est marqué par les crues répétées des cours d'eau alors qu'en été les forêts et prairies sont omniprésentes (de Beaujour 1829, p.195) :

> « Cette plaine, presque toujours inondée pendant l'hiver, offre en été les tableaux les plus riches et les plus variés : des lacs au milieu des bois, des ruisseaux au milieu des plus vastes prairies, partout des gazons les plus verts et les plus frais ombrages. »

Encadré 1 : Description générale de la plaine de Macédoine centrale au XIX^e siècle

2.2.1. Le littoral : une avancée peu marquée du trait de côte depuis la fin de l'Antiquité

La vision des paysages délivrée par les voyageurs du XIX^e siècle, décrivant la portion de littoral comprise entre la ville de Thessalonique au nord et l'embouchure de l'Aliakmon au sud, permet de juger de la faible avancée du trait de côte depuis la fin de l'Antiquité romaine.

Au XIX^e siècle, des bois et des prairies verdoyantes dominent les paysages à proximité du trait de côte (encadré 1) où une plage sableuse, parsemée par des zones de lagunes observables sur certaines cartes de l'époque (Leake, 1835 ; Garnier, 1862), s'étend depuis l'embouchure de l'Aliakmon jusqu'à celle du Gallikos. Félix de Beaujour nous vante à ce propos le charme des paysages des zones marécageuses qui alternent avec de vastes pâtures (de Beaujour, 1829, p. 195) :

> « Le chemin de Thessalonique se dirige au nord-est, passe l'Haliacmon entre le village de Milova et celui de Kapsochorion, et traverse une plage basse et marécageuse, qui s'étend, comme une ceinture, autour du golfe Therméen :c'est l'ancienne Bottiée. Cette plage paraît être une terre d'alluvions, et elle est coupée, ici par des mares d'eau, là par des prairies naturelles, qui paraissent comme des îles, au milieu de la mer ; mais en avançant, la terre devient moins nue, se couvre d'arbres et le paysage s'embellit. »

2.2.1.1. Le secteur entre la ville de Thessalonique et l'embouchure du Gallikos : une vaste zone de marais

Parti de Thessalonique pour parcourir l'ensemble de la plaine de Macédoine centrale, E. M. Cousinéry (1831) emprunta un chemin qui longeait le littoral du golfe Thermaïque en direction de la Piérie (figure 69). Après être sorti de la ville de Thessalonique depuis l'Est, la caravane traversa un premier fleuve : le Gallikos *(Echeidoros, Echeidorus, Echeidore)*.

La partie distale de ce cours d'eau se distingue par une zone marécageuse. En raison de la texture très fine du sol, cette portion du littoral porte le nom turc de *Batac*, désignant des « sables mouvants » (Cousinéry 1831, p.60) :

> « (…) Et nous prîmes dans cet endroit le chemin qui borde la mer, en traversant des ravins inondés chaque année par l'Echeidorus (*ndlr*. Gallikos). A peu de distance de là, nous passâmes deux bras de ce petit fleuve dont le lit à son embouchure, est un composé de sable et de boue, auquel les Turcs donnent le nom de Batac, c'est-à-dire lieu où l'on s'enfonce (…). »

Hérodote au V^e siècle avant J.-C. mentionnait que la confluence des fleuves Gallikos et Axios était située en avant d'une vaste zone marécageuse. Il semble donc que la morphologie de la région soit toujours caractérisée par la présence de marais littoraux. Il est bien évident que le tracé du cours du Gallikos a subi de nombreuses évolutions et que son embouchure s'est également déplacée au fil du temps.

Vers l'ouest, le cours de l'Axios semble également avoir évolué depuis la fin de l'Antiquité et son embouchure s'être déplacée.

2.2.1.2. L'embouchure de l'Axios : la ville de Chalastra est située sur la rive gauche du fleuve, à proximité de la mer

Si nous n'avons aucune description précise de l'embouchure de l'Axios, nous disposons cependant de détails relatifs à la localité de Chalastra (*Kolakia, Koulakia et Colakia* en langue turque) située en bordure du golfe Thermaïque. Ce village de pêcheurs grecs se trouve à seulement 500 m de l'embouchure de l'Axios (de Beaujour 1829, p.195), sur la rive gauche et en position de fond de baie :

> « (…) On passe l'Axios sur un autre bac vers son embouchure et vers le village de Colakia ».

E. M. Cousinéry (1831, p.61) confirme la localisation de ce village le long du littoral :

> « (…). La mer forme un petit golfe tout près du village ; c'est dans cet abri que les pêcheurs tiennent leurs bateaux ; ils vont pêcher au loin, et transportent leur poisson à Salonique. »

L'avancée dans la mer du cours de l'Axios dans la partie centrale de la plaine et la présence d'un delta abandonné à l'est, où ne subsistent plus que d'anciennes levées parfaitement identifiables dans le paysage, ont permis l'édification d'une baie (Leake 1835, p. 438) :

> (Trad.[1]) « A 6 heures 25, nous sommes proches de l'embouchure du Vardhari, qui rejoint la mer au niveau d'une baie marine formée entre le cap précédemment évoqué et un autre appelé Kazik-burnu, que nous passions à 6 heures 51. Il n'est pas improbable que le premier ait été créé par le Loudias et le second par l'Axios, à une époque où ils se jetaient séparément dans le golfe. »

2.2.1.3. Le secteur situé entre les cours de l'Aliakmon et du Loudias : une nouvelle zone de marais

Le secteur méridional de la plaine de Macédoine centrale, au contact avec les collines de Piérie, entre les fleuves Aliakmon et Loudias, est caractérisé par la présence de zones marécageuses matérialisées par la présence de marais littoraux en arrière d'une plage (de Beaujour 1829, p. 195) :

> « Le chemin de Thessalonique se dirige au nord-est, passe l'Haliacmon entre le village de Milova et celui de Kapsochorion, et traverse une plage basse et marécageuse ».

Nous avons finalement peu d'éléments descriptifs caractérisant la morphologie littorale de la plaine. Les cartes étudiées et les récits de voyage révèlent cependant une faible avancée de la côte dans la mer. De plus, faut-il se garder de vouloir localiser la ville côtière de Chalastra mentionnée au XIX^e siècle au même emplacement que la localité mentionnée par Hérodote au V^e siècle av. J.-C. En dépit d'un manque de preuves archéologiques, il est évident qu'elle devait cependant se situer dans un secteur proche. La mobilité du réseau hydrographique est plus facilement observable et interprétable sur ce point.

---

[1] At 6.25 we are opposite the mouths of Vardhari, which now joins the sea in a bay between the last cape we passed and another called Kazik-burnu, which we pass at 6.51. It is not improbable that the former was produced by the *Lydias* and the later by the *Axius*, at some period when they fell separately into the gulf.

2.2.2. Présentation et évolution des cours d'eau drainant la plaine depuis la fin de l'Antiquité jusqu'au début du XX^e siècle

E. M. Cousinéry (1831) distingue nettement quatre cours d'eau :

> « Quatre fleuves inondent plus souvent qu'ils n'arrosent cette belle contrée ; ce sont l'Echeidorus qui a ses sources dans la Crestonie, et dont l'embouchure n'est pas éloignée de Salonique ; l'Axios, dont les sources naissent dans diverses montagnes situées au nord de la Macédoine, entre les monts Scomius et Orbellus ; le Loudias, qui sort du grand lac de Yénidgé, et l'Aliacmon qui, après avoir reçu ses eaux des frontières de l'Epire et des montagnes de l'Elymée, vient côtoyer la Piérie, et va se jeter dans la mer, non loin des bouches de l'Axios, nommé aujourd'hui le Vardar. »

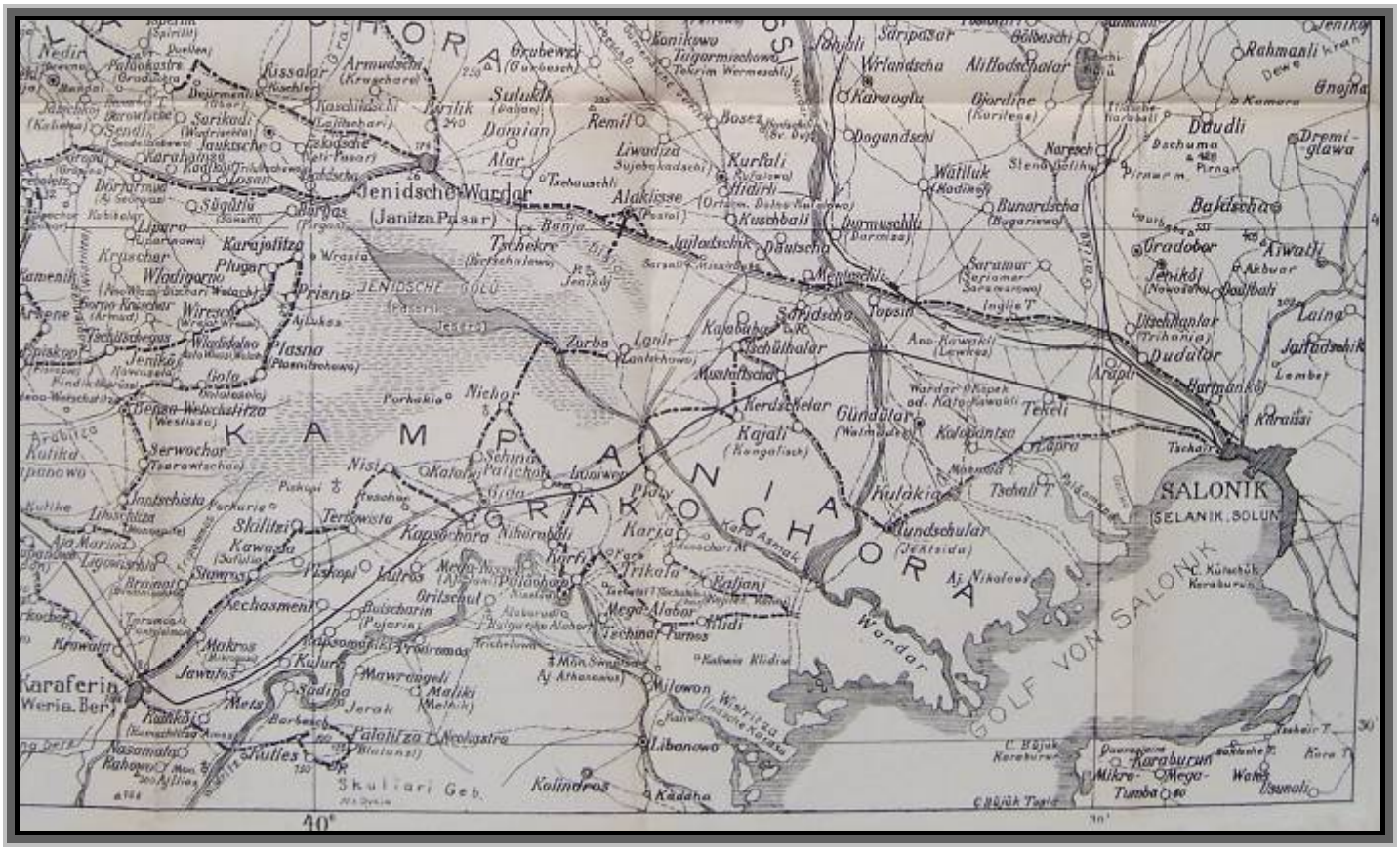


Figure 64 : Réseau hydrographique de la plaine de Macédoine centrale (Strück, 1908)

Cependant, quelques cartes (S. Hall, 1828 ; P. Chevalier Lapie, 1832 ; W. M. Leake ; 1835 ; J. Arrowsmith, 1844, figure 63 ; H. Berghaus, 1847) révèlent la présence de seulement trois cours d'eau dans la première moitié du XIX^e siècle : l'Aliakmon au sud-ouest, le

Gallikos à l'est, et le cours commun formé par l'Axios et le Loudias à proximité de leur débouché dans la mer. Ces deux derniers cours d'eau ont néanmoins un tracé bien distinct au sein de la plaine. C'est sans doute pour cette raison que E.M. Cousinéry observe quatre cours d'eau depuis la ville de Naoussa où il n'était pas évident de discerner précisément la partie terminale des cours d'eau au centre de la plaine.

Dans la présente section, une attention particulière a donc été portée à la mobilité du réseau hydrographique depuis la fin de l'Antiquité et nous avons souhaité ici faire ressortir les principales modifications des tracés ainsi que l'éventuelle présence de formes fluviales héritées.

2.2.2.1. Le Gallikos : un fleuve qui a subi peu d'évolutions depuis la description de Strabon pendant l'Antiquité

Le Gallikos est situé à l'extrémité orientale de la plaine de Macédoine centrale, à courte distance de la ville de Thessalonique. Les descriptions sur sa morphologie sont faiblement renseignées dans la littérature du XIX^e siècle. Les cartes du Chevalier Lapie (1832), de W.M. Leake (1835) et de J. Arrowsmith (1844) sont les seuls documents à préciser son tracé. Les cartes qui ne mentionnent pas son existence sont nombreuses : celles notamment de B. Guillaume de Lisle (1708), d'E. Bowen (1747), de R. de Vaugondy (1751), de J.B. Bourguignon d'Anville (1762) et de J. Carry (1801). F. de Beaujour le décrit d'ailleurs comme un cours d'eau de faible importance (de Beaujour, 1829, p.195) :

> « Cette plaine, coupée seulement par la petite rivière d'Echeidore et par quelques mares d'eau (…) »

E.M. Cousinéry évoque de plus la présence de deux paléochenaux du Gallikos, à l'ouest du cours d'eau principal (Cousinéry 1831, p.60) :

> « (…) En traversant des ravins inondés chaque année par l'Echeidorus. A peu de distance de là, nous passâmes deux bras de ce petit fleuve (…). »

Alors qu'Hérodote mentionnait le Gallikos comme un affluent de l'Axios et que Strabon le mentionnait comme un fleuve à part entière, il semble qu'aucune évolution

majeure de son tracé ne soit intervenue depuis le I[er] siècle de notre ère. Toutefois, une mobilité a certainement dû affecter le cours du Gallikos, dont la présence de paléochenaux, décrits par E. M. Cousinéry, peuvent témoigner d'évidentes défluviations, malheureusement impossibles à dater avec précision.

2.2.2.2. L'Axios : un fleuve qui a déplacé son embouchure vers l'ouest depuis l'époque de Strabon et qui unit désormais ses eaux à celle du Loudias

a) Evolution du tracé depuis l'Antiquité

L'Axios *(Axius, Wardar, Vardar, Vardhari)* s'écoule selon une direction méridienne au sein de la vaste plaine de Macédoine centrale, entre le piémont oriental du massif du Païkon et les contreforts de la chaîne du Chortiatis. Il semble avoir conservé son tracé antique du moins à son entrée dans la plaine. Au XIX[e] siècle, l'Axios s'écoule désormais entre la ville de Chalastra et le Gallikos contrairement à la description faite par Strabon (I[er] siècle ap. J.-C.). On retrouve ainsi la configuration du réseau hydrographique tels qu'Hérodote le décrivait V[e] siècle av. J.-C. (*cf. premier chapitre*).

Le *Murray's Handbook* (1900) mentionne également la présence d'un autre chenal actif de l'Axios, à l'ouest à proximité de la ville de Pella et à 50 km à l'ouest de la ville de Thessalonique (p.859) :

> (Trad.[1]) « Après avoir de nouveau franchi un bras du Vardar, le train s'approche à environ 32 miles de Thessalonique, des thermes de Pella. »

Cette information doit être prise avec de sérieuses précautions. En effet, la mention de cet éventuel bras de l'Axios en rive droite (un probable défluent présentant un lit peu profond ?) n'est signalée par aucune autre source documentaire. En plus du chenal actif, des traces d'anciens passages de l'Axios sont évoqués dans la partie orientale de la plaine.

[1] After crossing another branch of the Vardar the train passes, about 32 miles from Salonica, at some distance, the Baths of Pella.

b) Présence de deux paléochenaux à l'ouest de la ville de Thessalonique : s'agit-il de l'ancien tracé décrit par Strabon pendant l'Antiquité ?

A quelques kilomètres à l'ouest du fleuve Gallikos, E.M. Cousinéry note la présence de deux bras morts de l'Axios, matérialisés par deux grands ravins. Ceux-ci sont distants de quelques kilomètres. Les populations locales admettaient alors bien volontiers qu'il s'agissait là d'un déplacement certain du cours de l'Axios (Cousinéry 1831, p.60) :

> « Après deux heures de marche sur ce terrain, nous fîmes la remarque que nous passions sur de grands ravins formant le lit appelé dans le pays l'ancien Vardar. En effet, les deux rives d'un grand fleuve sont si bien tracées sans discontinuité, sur un espace de plus de deux lieues de longueur, qu'il est impossible de ne pas reconnaître la justesse de la tradition, qui a conservé le souvenir du déplacement de ce fleuve (…). »

Aucune des cartes consultées ne permet de dater précisément la période à laquelle ces paléochenaux de l'Axios décrits par E.M. Cousinéry étaient encore actifs et à quel moment le changement de tracé s'est opéré.

La seule mention d'un déplacement du cours de l'Axios au cours des derniers millénaires est celle attestée par Strabon au I^er siècle av. J.-C. Le fleuve s'est en effet sensiblement déplacé vers l'est depuis la description d'Hérodote (V^e siècle av. J.-C.), en se rapprochant de l'embouchure du Gallikos.

A la suite du récit de Strabon, aucun texte ou document iconographique ne révèle le tracé du cours de l'Axios, et cela pendant une période d'environ quinze siècles ! Il est donc impossible de dater exactement la défluviation de ce cours : on peut juste avancer l'hypothèse d'un déplacement vers l'Est aux environs du I^er siècle av. J.-C. et d'un nouveau changement du tracé vers l'ouest avant le XIX^e siècle (approximativement dans le même secteur que celui décrit par Hérodote).

c) L'Amphaxitide : essai de localisation

Cette région historique du royaume de Macédoine tire son nom de la subdivision de l'Axios en deux tracés distincts, d'où le nom d'Amphaxitide (Cousinéry, 1831 ; Delacoulonche, 1859).

Ce territoire de Macédoine apparaît tardivement dans les sources antiques (Papazoglou, 1988). E.M. Cousinéry (1831, p.88) a analysé l'étymologie de ce nom et considère qu'il faut y voir le territoire compris entre deux bras de l'Axios :

> « Si par la dénomination d'Amphaxitide on entend un terrain situé entre deux branches de l'Axius, nous ne reconnaîtrons pas seulement les deux sources de Paléo-Castro et de Pella la cause de cette dénomination, mais nos deux fontaines nous donneront la démarcation des terres que l'Amphaxitide occupait dans un espace de quatre lieues de longueur sur plusieurs lieues de largeur, suivant l'éloignement de Paléo-Castro à l'Axius et de Pella au même fleuve. »

Au cours du premier chapitre de la deuxième partie de ce travail, il a été démontré que le cours de l'Axios a subi de nombreuses défluviations et qu'entre l'époque d'Hérodote et de Strabon, le fleuve s'était sensiblement déplacé vers l'Est. Faut-il concevoir que l'espace occupé entre ces différents bras du fleuve formait alors l'Amphaxitide ? C'est une possibilité, mais le manque de données relatives à la chronologie exacte des migrations du tracé de l'Axios ne peut assurément pas confirmer cette hypothèse.

L'autre possibilité sur la localisation de l'Amphaxitide est formulée par E.M. Cousinéry et, d'après sa dernière citation, il semble que ce territoire soit délimité par le cours de l'Axios vers l'est et par des dérivations souterraines de ce même cours d'eau vers l'ouest, à proximité de la localité de Paléo-Castro (figure 69). Encore une fois, aucune affirmation ne peut être émise et la délimitation du territoire reste donc hypothétique.

L'information majeure concernant l'organisation du réseau hydrographique délivrée par les sources documentaires concerne l'apport des eaux du cours du Loudias à celles de l'Axios vers leurs embouchures. Au XIX^e siècle, le Loudias doit donc être considéré comme un affluent de l'Axios.

2.2.2.3. Le Loudias : un affluent de l'Axios

Le troisième cours d'eau mentionné est le Loudias *(Kara-Azmac, Carasmac, Mavroneri, Mavronero).* Celui-ci s'écoule depuis le lac de Giannitsa sur une distance d'environ seize kilomètres avant de se jeter dans l'Axios à son extrémité aval. Les cartes précises élaborées par C.V.D. Goltz (1894) et A. Strück (1908) à la fin du XIX^e^ siècle et au début du XX^e^ siècle confortent ainsi les cartes précédemment éditées par S. Hall (1828), le Chevalier Lapie (1832), T. J. Fenner (1835), W.M. Leake (1835), J. Arrowsmith (1844) et H. Berghaus (1847) sur la confluence du Loudias et de l'Axios à quelques kilomètres à peine avant leur arrivée dans la mer.

La description morphologique la plus précise du cours d'eau est l'œuvre de E. M. Cousinéry qui nous renseigne notamment sur la largeur de son lit et souligne sa forte turbidité (Cousinéry, 1831, p.62) :

> « A une lieue plus loin, en coupant vers le nord-ouest, nous atteignîmes le Cara-Azmac, fleuve nommé par les anciens Loudias, et qui se jetait autrefois dans la mer, mais qui s'est réuni depuis longtemps à l'Axius, au lieu d'aller joindre le golfe. Nous le passâmes sur un pont de bois assez bien construit ; nous étions sur ce point à trois lieues au sud du lac de Yénidgé ; la largeur du Cara-Azmac n'est pas considérable ; ses eaux sont toujours troubles, et son lit est très profond ; c'est pourquoi les turcs l'ont nommé Cara-Azmac, ce qui signifie noir-profond. On nous assura qu'il est était aussi poissonneux que le lac d'où il sort lorsqu'il va se jeter dans l'Axius, après avoir formé une île qui est aujourd'hui très cultivée. »

Le Loudias est considéré par de nombreux auteurs (de Beaujour, 1829 ; Cousinéry, 1831) comme l'ancien cours d'eau qui porte le même nom et déjà mentionné par Strabon pendant l'Antiquité (de Beaujour, 1829, p. 195) :

> « On suit une vieille chaussée, aujourd'hui très dégradée, qui conduit en une heure à un cours d'eau nommé Karasmac, et que l'on présume être le Loudias des anciens : c'est un canal très encaissé, que les uns croient naturel, d'autres artificiel, par où les eaux du lac d'Yénidjé s'écoulent lentement dans la mer ou vont se perdre dans l'Axius vers son embouchure. »

Les auteurs (Cousinéry, 1831 ; Leake, 1835) assimilent le tracé de ce cours d'eau à celui de l'ancien Loudias par le fait que depuis la mer, il est encore possible de le remonter jusqu'au lac de Giannitsa et au pied de la ville de Pella (Cousinéry, 1831, p.91) :

> « Ce canal joignait le port avec le lac, dont les eaux, ainsi que je l'ai dit, donnent naissance au Loudias, rivière qui est encore aujourd'hui navigable jusqu'à la mer (…). »

De même manière W. M. Leake (1835, p.437) confirme l'hypothèse formulée par E.M. Cousinéry :

> (Trad.[1]) « Le fleuve unique formé par le Loudias et l'Axios est toujours navigable jusqu'au lac, et probablement jusqu'à Pella, comme ce fut le cas pendant l'Antiquité. »

Le cours du Loudias est au XIX^e siècle l'unique émissaire du lac de Giannitsa à l'instar de ce que décrivait Strabon pour le lac Loudias : l'assimilation peut donc être logiquement formulée. Désormais le cours du Loudias s'unit à celui de l'Axios à quelques kilomètres seulement de la mer.

2.2.2.4. L'Aliakmon : un fleuve redouté pour ses crues

Le dernier fleuve à être mentionné est l'Aliakmon *(Haliacmon, Aliacmon)*. On le suit depuis la ville de Veria, jusqu'à son embouchure, au nord des collines de Piérie. Son cours présente de nombreuses sinuosités dans sa partie médiane. En effet, des méandres très prononcés situés en rive gauche du fleuve sont parfaitement observables sur la carte d'A. Strück (figure 64).

Ce fleuve est connu des populations locales pour les dégâts fréquents qu'occasionnent ses crues. E.M. Cousinéry (1831) justifie l'édification de digues le long des ses rives par les paysans de la région pour prémunir leurs habitations et leurs champs des fréquents débordements du lit. Un violent épisode de crue, survenu au début des années 1800, recouvrit sur près de 16 km² la région pendant une décennie (Cousinéry, 1831, p.62) :

[1] The joint stream formed by the *Lydias* and *Axius* is still navigable into the lake, and probably up to Pella, as it was in ancient times.

> « Notre route nous portait vers le cours de l'Aliacmon, (…). Nous campâmes sur ces bords dans un endroit où l'on a construit de longues digues pour contenir ce fleuve. Cette réparation était si nécessaire que, les digues s'étant rompues, il y a une trentaine d'années, le pays qu'il submergea, dans un espace de quatre lieues carrées, demeura dix ans à-peu-près dans le même état. Les agas, propriétaires des pays inondés, se réunirent, se cotisèrent, firent rétablir la digue par leurs paysans, et dans un seul été le fleuve reprit son cours, et cessa de se jeter dans le Loudias qui l'avait reçu en grande partie. »

Le caractère dévastateur de l'Aliakmon est confirmé grâce à un nouveau témoignage de l'auteur qui évoque la présence de terrains nouvellement amenés par le fleuve qui tend ainsi à se rapprocher de l'embouchure de l'Axios en raison de ses fréquentes défluviations. Un fait peut également retenir l'attention : l'auteur relève la présence d'une arche de pont presque entièrement ensevelie sous des alluvions apportées récemment, à tel point qu'il lui est impossible de distinguer la présence d'une ou plusieurs arches. La localisation précise de cette arche à seulement une lieue (4 km) du cours du Loudias (Cara-Azmac) laisse penser qu'il s'agit très certainement du vestige antique du pont de Klidi, faisant partie de l'ancienne route secondaire (parallèle) à la Via Egnatia (*cf.* supra) :

> « Ce n'est pas seulement dans cette partie de la plaine que j'ai pu remarquer les ravages de l'Aliacmon. Quelques années après ce premier voyage, étant venu dans la Piérie (…) je remarquai, à la distance d'une lieue, et à la gauche de l'endroit où nous avions passé le Cara-Azmac, un immense terrain sablé, sans culture, au milieu duquel j'aperçus la partie la plus élevée d'un pont de pierre presque entièrement enseveli dans le sable. Il me fut impossible de reconnaître si ce pont a une ou plusieurs arches, mais je demeurai convaincu que l'Aliacmon avait exercé de grands ravages dans cette partie de la plaine. »

Lors de sa remontée du cours de l'Aliakmon, E.M. Cousinéry décida, en compagnie de sa caravane, de s'arrêter pour camper pendant une nuit, à proximité de la ville de Kapsochorion (figure 69). Il observa en détails le chenal d'écoulement des eaux et nota qu'en cet endroit précis des cailloux tapissaient le fond du lit (Cousinéry, 1831, pp.66-67) :

> « Après huit heures de marche, et lorsque nous eûmes établi notre campement, je fus curieux de voir de près les eaux de l'Aliacmon, dont nous n'apercevions que le bord oriental, à cause des digues qui en resserrent le cours. Les eaux basses et limpides roulaient sur les cailloux. Les environs du fleuve sont couverts de grands arbres, et les terrains tapissés de verdure (…). »

De nos jours, le lit de l'Aliakmon dans le secteur de la localité de Kapsochorion est constitué de matériaux de type graviers et sables, et non de galets (Ghilardi, 2003). L'Aliakmon est décrit par les voyageurs du XIX^e siècle comme le fleuve le plus turbulent. De nombreuses crues ont ravagé la partie occidentale de la plaine de Macédoine centrale dans laquelle d'autres cours d'eau en provenance du massif du Vermion ont également apporté leurs eaux.

2.2.2.5. Les cours d'eau qui s'écoulent du massif du Vermion et du bassin d'Almopie : la question du Rhoedias mentionné par Pline

Les cours d'eau provenant du massif de Vermion sont très bien décrits par les différents voyageurs, mais également par les nombreuses missions militaires de reconnaissance du territoire (Naumann, 1894 ; Admiralty War Staff Intelligence Division, 1916).

Au nord de la chaîne de montagnes, la rivière Arabitza s'écoule depuis la ville de Naoussa en direction de l'Est. Le Gouméla-Réka est un affluent sur la rive gauche de l'Arabitza et passe par la ville d'Episkopi, à quelques kilomètres au nord-est de Naoussa. A Edessa, la rivière Vodena s'écoule également en direction de la plaine après avoir reçu les eaux de la Karadgia-Ovasi (*Bélitsa* en slave).

Depuis le bassin d'Almopie (*Karadgia-Ovasi, Karadjowa, Moglena*), le Vodena s'écoule en direction de la plaine pour se jeter dans le lac de Giannitsa après avoir reçu les apports de plusieurs cours d'eau et torrents en provenance du Vermion. Il s'agit d'identifier éventuellement parmi ces cours d'eau le Rhoedias mentionné par Pline l'Ancien et dont nous avons fait la présentation au cours du chapitre précédent.

a) L'Arabitza

Au cours de son expédition, E. M. Cousinéry se rendit à Naoussa (*Gniausta*, *Niausta*, cette dénomination est probablement l'altération de Nea Augusta, la nouvelle Auguste) depuis la ville d'Edessa. Il accéda à la ville, située sur un plateau, après avoir longé le massif du Vermion (*Bermios, Bermius*) et passé un cours d'eau de faible importance au pied de la ville (Cousinéry, 1831, p.71) :

> « (…) En côtoyant le mont Bermius, nous parvîmes à Gniausta. Avant d'en gravir le territoire, nous traversâmes un grand ruisseau provenant d'une source qui jaillit du dessus du village, et dont les eaux vont se jeter dans le lac de Yénidgé. »

La précision toponymique de ce cours d'eau est fournie par A. Delacoulonche qui y reconnaît l'Arabitza (*Arapitsa*, Delacoulonche, 1859, p. 37) :

> « L'Arabitza ne la traversait pas, comme elle traverse Niausta (…). »

T. A. Desdevises-du-Dézert mentionne également que le Gymnowo constitue un affluent de l'Arabitza au-dessus de la ville de Naoussa (Desdevises-du-Dézert, 1862, p. 332) :

> « En remontant vers le nord on retrouve l'Arabitza, qui reçoit le Gymnowo, puis le Gouméla-Réka, plus considérable que les précédents. »

b) Le Gouméla-Réka

Le Gouméla-Réka *(Mégalo-Revma)* s'écoule à proximité des villes de Naoussa, d'Episkopi et de Tcharmarinowo. Toutes les trois sont parfaitement identifiées, alors que la localisation exacte de la ville de Bagnia présente plus de problèmes. Voici les deux passages qui nous permettent de localiser le Gouméla-Réka (Delacoulonche 1859, p.24) :

> « A une heure au-dessous de Bagnia, on rencontre un torrent appelé le Gouméla-Réka (Mégalo-Revma). La largeur de son lit justifie le nom qu'on lui donne ; il se dessèche en partie pendant l'été, et se divise en cinq ou six branches où les eaux coulent à l'ombre des platanes. Pendant l'hiver, il n'y a plus qu'un seul courant, et le torrent bat ses deux rives ».

c) La Jawornitza

Nous n'avons que des descriptions très ponctuelles de ce cours d'eau dont la localisation nous est transmise d'après le récit de T.A. Desdevises-Du-Dézert (Desdevises-Du-Dézert, 1862, p.332) :

> « Un peu en avant de Mieza coule le Jawornitza, premier affluent du Borboros limen au sud-ouest. »

Le site de Mieza est connu pour avoir abrité le *Nymphaeum* d'Aristote (lieu d'éducation d'Alexandre le Grand). Cet endroit caractérisé par des grottes aux « stalactites flamboyants » (Polybe) a été localisé de manière certaine à quelques kilomètres à l'est de la ville de Naoussa (figure 69) grâce à des recherches archéologiques réalisées depuis quelques décennies. Le cours d'eau qui passe donc à proximité de ce lieu est la Jawornitza : cette appellation est d'origine slave et nous n'avons aucun renseignement sur sa toponymie pendant l'Antiquité.

d) Le Vodena

Le Vodena *(Vodas)* est un cours d'eau qui porte le nom bulgare de la ville d'Edessa. De nombreuses chutes d'eau (l'origine de la dénomination grecque provient d'une ancienne racine phrygienne se rapportant à des chutes d'eau, Delacoulonche, 1859) s'écoulent de cette ville bâtie sur un plateau (figure 65). Ces cataractes alimentent un cours d'eau qui parcourt les pentes du Vermion en direction de la plaine avant de se jeter dans la Karadgia-Ovasi (Desdevises-du-Dézert, 1862, p. 335) :

> « Le Vodena est grossi considérablement par les six cascades du plateau d'Edesse, mais il est formé originairement par le lac d'écoulement qui part du lac de Telovo. »

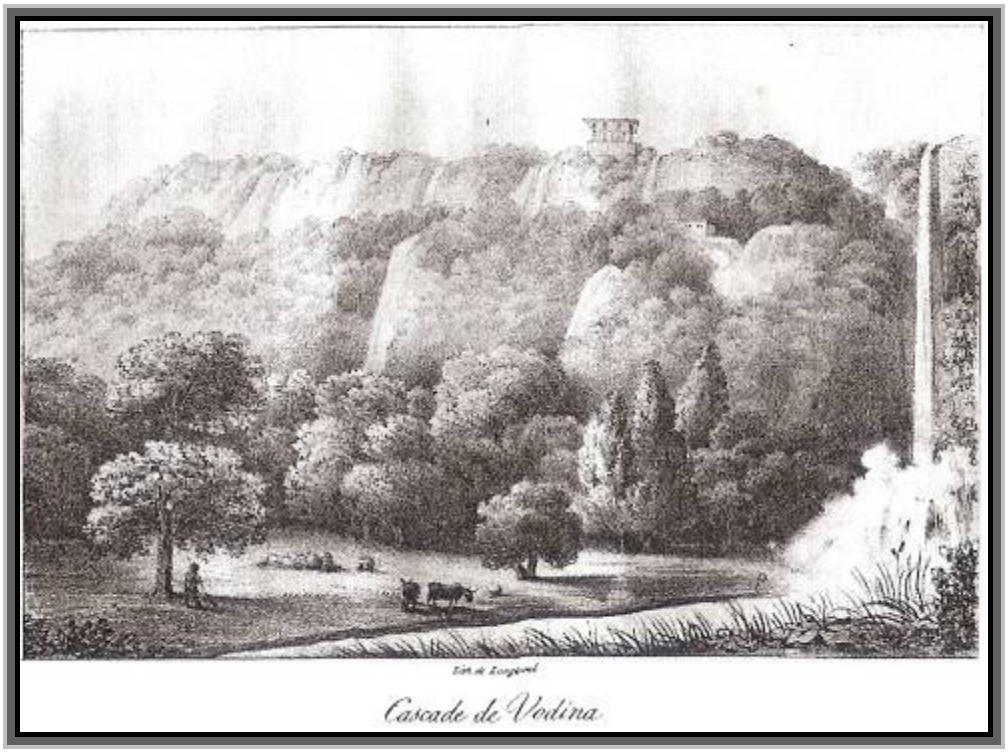


Figure 65 : Cascades d'Edessa (Cousinéry, 1831)

e) La Karadgia-Ovasi : probablement le Rhoedias mentionné par Pline

La dépression située au nord-est de la grande plaine centrale de Macédoine nous est connue sous les noms de Karadgia-Ovasi (la « contrée noire ») en turc, et de *Moglena* en slave. Ce nom de "contrée noire" s'explique probablement par les épais brouillards et les nuages qui l'occupent pendant une grande partie de l'année. Cette région est drainée par le cours d'eau éponyme, qui s'écoule vers la grande plaine au sud-est et particulièrement connu pour ses débordements fréquents et les inondations qu'il provoque (p.83) :

> « Les Turcs ont donné à cette rivière le même nom de Karadgia-Ovasi, à cause des inondations auxquelles elle est sujette. La largeur de cette rivière, où il y avait peu d'eau quand nous la traversâmes, et dont le lit est chargé de sables et de cailloux, fait assez connaître qu'elle reçoit beaucoup d'eau pendant l'hiver. »

Pline l'Ancien mentionnait le passage du fleuve Rhoedias par la ville d'Evropos depuis le nord-ouest de la plaine. Au XIX^e siècle, la Karadgia-Ovasi (toponyme actuel : Mavrotopos) est le seul cours d'eau qui présente une configuration similaire, s'écoulant de la province éponyme en direction du lac de Giannitsa. Les recherches archéologiques

(Papazoglou, 1988) mettent en évidence la possible existence d'une ville antique dans cette région déprimée topographiquement. Bien que nous disposions de faibles descriptions pendant l'Antiquité et durant le XIX^{e} siècle, il est logique et fort probable que le Rhoedias soit l'ancien nom porté pendant l'Antiquité par la Karadgia-Ovasi.

2.2.2.6. Les cours d'eau provenant du massif du Païkon : présence d'un émissaire souterrain de l'Axios ?

a) Le Konikowa

Les cours d'eau provenant du massif du Païkon ont fait l'objet de descriptions moins détaillées de la part des auteurs du XIX^{e} siècle. Seul A. Delacoulonche (1859) mentionne la présence de la rivière Konikowa entre l'extrémité orientale de la chaîne de montagnes et le fleuve Axios (à environ 3 km à l'ouest de ce dernier), p. 57 :

> « A trois quarts de lieue du pont de Wardar, sur le chemin d'Hagious-Apostolous et de Iannitza, on trouve, à la hauteur précisément du village de Sarili, un endroit appelé Messir-Baba. Ce qui attire tout d'abord les regards, c'est une éminence à gauche de la route, sur le bord d'un torrent qui n'a presque pas d'eau en été, mais qui devient assez considérable en automne et en hiver. »

Le cours du Konikowa possède un débit relativement important pendant l'hiver (Delacoulonche 1859, p. 91) :

> « Ce qu'on voulu éviter, ce sont les marais de Messir-Baba, c'est la rivière qui coule au pied de la hauteur, et qui, en hiver, a assez d'eau pour qu'on ait été obligé d'y élever un pont. »

b) Le Goumendjé

Le second cours d'eau mentionné par Delacoulonche est le Goumendjé *(Gumendsche)*, un affluent de l'Axios, dont la confluence se situe à la hauteur de l'ancienne ville d'Evropos (Delacoulonche 1859, p. 97) :

> « Evropos était située, à ce qu'il semble, un peu au-dessous du village actuel de Basadschi, presque à l'endroit ou le fleuve de Goumendjé se jette dans le Wardar. Elle se trouvait ainsi à peu près à la hauteur de Pella. »

Si les descriptions évoquent un sous-écoulement d'une partie des eaux de l'Axios (Delacoulonche, 1859), il n'existe pas de réel cours d'eau, similaire à celui de l'Axios, débouchant du massif du Païkon. Les sources de Pella et de Paléo-Castro (Delacoulonche, 1859 ; Cousinéry, 1831) ne peuvent à elles seules garantir qu'il s'agisse d'un passage souterrain des eaux de l'Axios.

2.2.2.7. Les affluents en rive droite de l'Aliakmon, en provenance du massif de Piérie

Les récits de voyageurs ne décrivent que très ponctuellement les affluents de l'Aliakmon en rive droite, provenant du massif de Piérie. Seul L. Heuzey, dont la mission archéologique de Macédoine (Heuzey, 1860, 1862, 1872, 1876) lui permit de se rendre à Palatitza (actuelle Vergina), livre une cartographie précise de ces cours d'eau (Heuzey 1860, p.190, figure 66) :

> « Je commencerai par le village de Palatitza (…) Il est placé entre deux torrents : celui qui coule à l'est s'appelle Nivolitzio ; l'autre traverse le hameau, je l'appellerai, pour le distinguer, torrent de Palatitza. »

> « De ce lieu, je me rendis à Kouthis ou Koutitza, qui n'est guère éloigné de Palatitza que de deux kilomètres. Au passage d'un ruisseau, situé à moitié route entre les deux villages (…). Pour arriver à Koulitza, il faut traverser un autre torrent, sur la rive gauche duquel sont bâties les dix ou douze maisons qui composent ce hameau. »

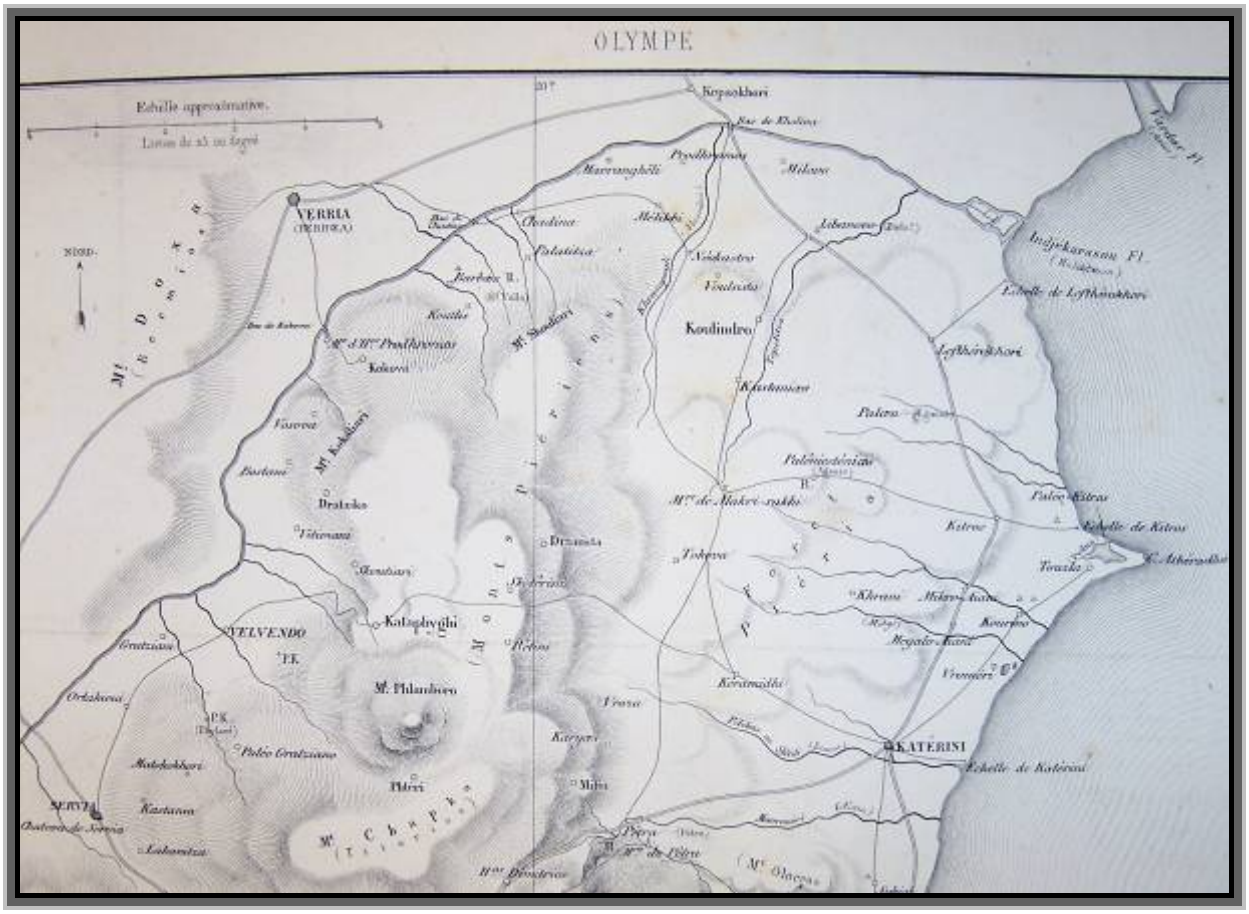


Figure 66 : Cours d'eau provenant du massif de Piérie (Heuzey, 1860)

La cartographie détaillée du cours de l'Aliakmon établie par L. Heuzey (1860) permet donc de connaître ses affluents situés en rive gauche, en provenance de Piérie. Elle permet également de révéler l'embouchure précise du fleuve et de juger de sa position par rapport à celle de l'Axios, au passage nous avons à nouveau la confirmation que le Loudias ne débouche pas dans la mer. La partie terminale de l'Aliakmon est localisée à quelques kilomètres à peine de l'échelle d'Elevtherochori, localité actuelle de Nea Agathoupolis. Depuis le milieu du XIX^e siècle, le tracé de l'Aliakmon a donc probablement peu évolué, alors qu'entre l'Antiquité et le XIX^e siècle, le fleuve a progressivement déplacé son cours vers le sud-est.

Outre la mobilité du réseau hydrographique attestée depuis l'Antiquité, il importe de connaître la configuration des paysages au pied de la ville de Pella que Strabon localisait au nord du lac Loudias. Les sources documentaires du XIX^e siècle précisent la présence d'un lac à l'emplacement exact où Strabon le mentionnait ; peut-on cependant émettre l'hypothèse que ce lac se soit maintenu depuis l'Antiquité ?

2.2.3. Le lac de Giannitsa : une présence continue depuis l'époque de Strabon ?

Le lac de Giannitsa (*Gianitsa, Gianitza et Iannitza en slave, Jenidsche et Yénidjé en turc*) occupe la partie centrale de la plaine de Macédoine centrale, au pied des villes de Pella et de Giannitsa dont il prend l'appellation (figures 67 et 68). Toutes les sources documentaires consultées confirment la présence de ce lac dont les variations spatiales ont modifié ses limites au cours de l'histoire.

2.2.3.1. Des limites imprécises liées à la présence de marais sur les marges

Les contours de cette vaste étendue d'eau peu profonde sont difficilement délimitables en raison de l'abondante végétation hygrophile qui en couvre les bords (Delacoulonche, 1859, pp. 56-57) :

> « C'est moins un lac qu'un vaste marais. Il faut le regarder du haut du plateau de Niausta (ndlr. Naoussa) pour apercevoir une nappe d'eau d'une teinte sombre et jaunâtre. Jamais on ne le voit moins qu'en approchant de ses bords. Point de rivages, point de limites précises : il se termine partout par des marécages cachés sous les herbes et où il serait dangereux de pénétrer. En en faisant le tour, on n'aperçoit que de petites flaques d'eau encombrées de roseaux et de plantes de toute espèce : parfois aussi des saignées ou des canaux pratiqués au milieu des herbes et qu'on appelle les échelles du lac. »

La limite orientale du lac de Giannitsa est marquée par la fin du massif du Païkon, à proximité de la localité de Messir-Baba (figure 69), comme nous le confirme E.M. Cousinéry (Cousinéry 1831, p.98) :

> « A une heure de Pella, laissant derrière nous un grand tumulus sur le bord du chemin (…). C'est dans cet endroit que se terminent les Marais de Yénidgé, et que commence une belle culture qui s'étend depuis les rives du Vardar jusqu'au Loudias, et de là jusqu'à la mer. »

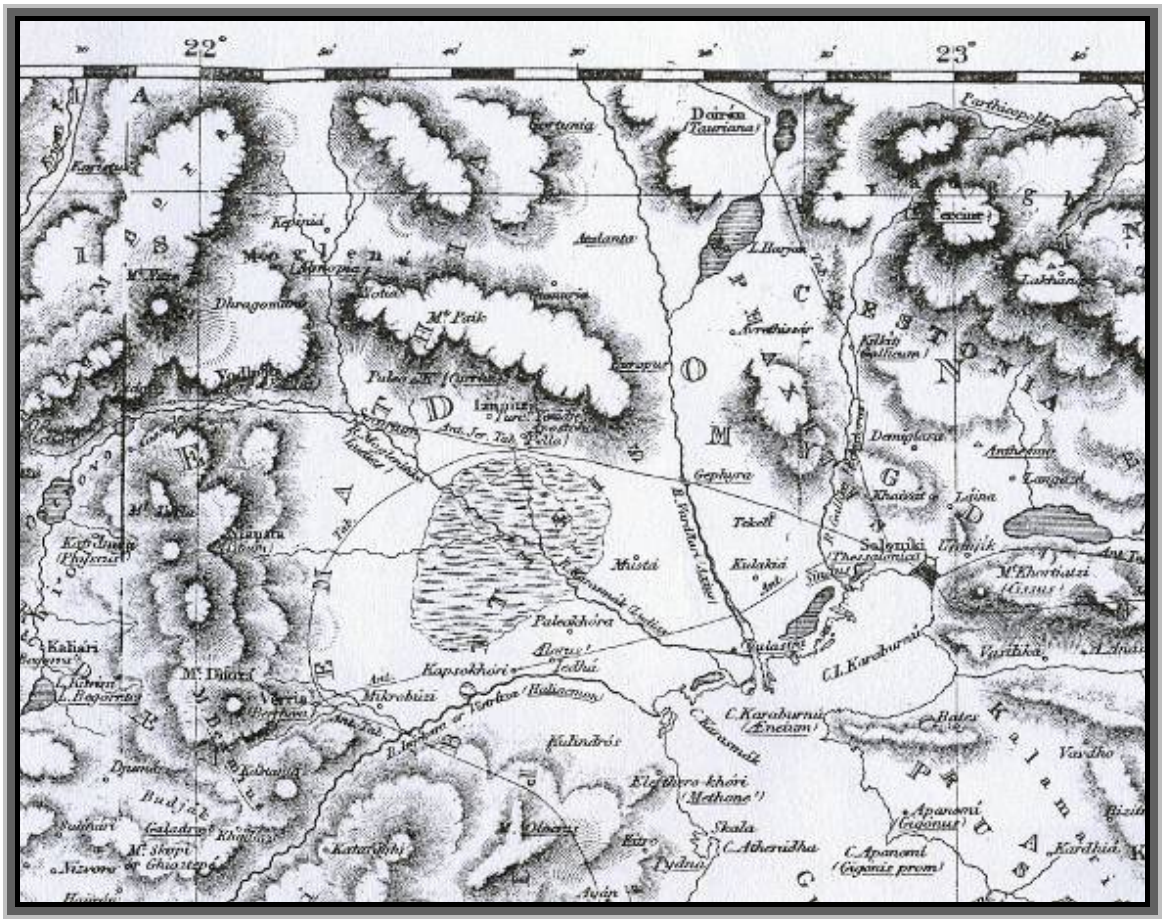


Figure 17 : Présence du lac de Giannitsa au centre de la plaine (Leake, 1835)

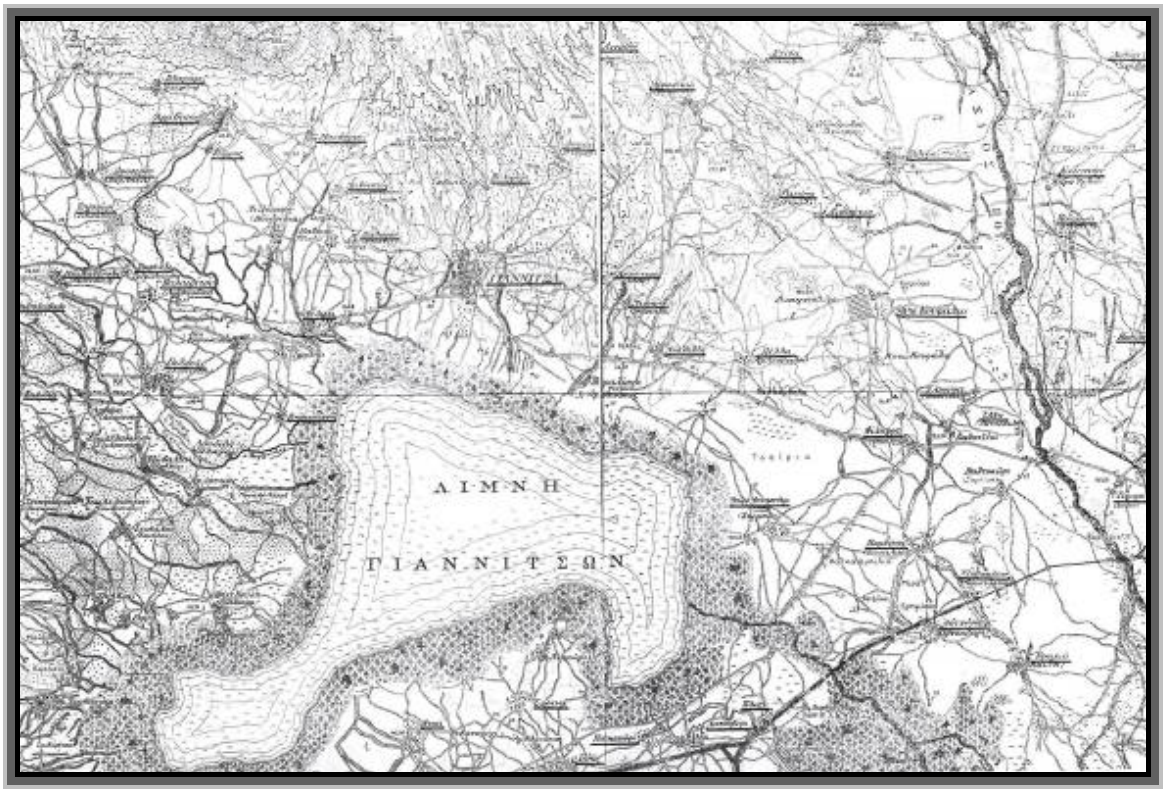


Figure 68 : Contours du lac de Giannitsa (Ancel 1930, d'après les cartes de l'Etat-major hellénique au 1 : 100.000, tirage de 1928)

L'explication fournie par A. Delacoulonche pour justifier l'agrandissement de l'ancien lac Loudias réside dans les apports importants des fleuves qui font remonter son niveau général et le vouent à un déplacement de ses marges, (Dealcoulonche 1859, p.58) :

> « On a remarqué avec raison que le lit devait s'être déplacé en partie. Il semble s'être retiré des environs de Pella et n'être plus aussi près de la ville qu'à l'époque où l'on fit la capitale de la Macédoine. Ce n'est pas du reste qu'il soit moins étendu qu'autrefois. Les traditions locales parlent de villages engloutis par les eaux au Nord et à l'Ouest. A deux heures au-dessus du monastère de Nision, on voit au fond du marais, quand les eaux sont basses, de larges plaques de marbre, de grosses pierres et même un bas-relief composé de deux personnages se tenant la main. »

Les études pédologiques de la plaine de Macédoine révèlent que les sols sont à texture limono-argileuse ; les marécages et les zones lacustres sont omniprésents dans le paysage au centre de la plaine. La région comprise entre la ville de Thessalonique et le fleuve Axios témoigne d'une influence directe des eaux de la région (chargées en particules halines) sur le type de végétation rencontrée (Boué, 1840, p.300) :

> « La plaine du Bistritza et des alentours du lac de Jenidsche est très argileux et ça et là marécageux. L'eau des puits y est saumâtre, et le sol nitreux et en partie stérile. Les alluvions grossières y sont ensevelies sous de l'argile limoneuse. Entre Salonique et le Vardar, la plaine n'est qu'une vaste plaine marine sableuse, à petites dunes et à plantes salines (Salicornia, Tamarix, etc.). »

Les fréquentes variations spatiales sont dues à des apports de différents cours d'eau provenant des massifs du Païkon au nord et du Vermion à l'est. Le fleuve Loudias reste pour sa part le seul émissaire de ce lac.

2.2.3.2. Les cours d'eau qui alimentent le lac de Giannitsa

Un grand nombre de cours d'eau provenant des chaînes de montagnes du Païkon et du Vermion apporte l'essentiel des eaux au lac de Giannitsa.

A. Delacoulonche regroupe ces apports par région de provenance : depuis la Moglena (Karadgia-Ovasi), deux torrents viennent se jeter dans le lac après avoir rejoint la rivière Vodena. Entre Naoussa et Veria, d'autres cours d'eau provenant du Vermion viennent également grossir les eaux du lac (Delacoulonche, 1859, p.57) :

> « De nombreux cours d'eau alimentent l'ancien Borboros (aujourd'hui lac d'Iannitza). Au nord les deux torrents du Moglena, le Tcharna-Réka et la Bélitza se réunissent avant d'entrer dans la grande plaine et vont se jeter ensemble dans la rivière de Vodena. Celle-ci coule de l'Ouest à l'Est, accrue par les lacs de l'Eordée et porte, suivant toute apparence, la plus grande masse d'eau au Borboros. Outre les torrents du Mogléna, elle reçoit les sources jaillissantes de Paléo-Castro au pied du Païkon. A quelques heures de la rivière de Vodena ; le Gouléma-Réka se dirige dans le même sens, après s'être grossi des eaux de Niausta. Plus bas encore le torrent de Iavornitza, à deux heures au nord de Véria, semblerait devoir se diriger tout naturellement vers l'Haliacmon (…). N'oublions pas, du côté opposé, le cours d'eau de Konikowa. Il prend sa source sur le versant oriental du Païk, coule du Nord au Sud parallèlement à l'Axios dont il n'est guère éloigné que de trois quarts d'heure, tourne vers l'ouest au pied des collines de Messir-Baba, passe sous le pont qu'on a récemment construit à cet endroit, et va se perdre dans les marécages du lac. »

2.2.3.3. Pella : existence d'un port en milieu lacustre ou expression d'un romantisme géographique du XIX^{e} siècle?

Si Hérodote, Thucydide et Strabon ne mentionnent pas la présence d'un port à Pella, il ne fait cependant aucun doute que la ville était reliée à la mer pendant l'Antiquité et de nombreux décrets nous renseignent à ce sujet. La certitude concerne également l'évolution des paysages : Pella est au II^{e} et au I^{er} siècles av. J.-C. sur la marge septentrionale d'un lac. Lorsque le consul Paul Emile arrive à Pella en 168 av. J.-C. et que Polybe, puis Tite-Live retranscrivent la topographie de la ville, les deux auteurs ne mentionnent à aucun moment

l'existence formelle d'un port. Bon nombre de voyageurs du XIX^e^ siècle ont cherché les infrastructures portuaires de l'ancienne capitale.

Ainsi F. de Beaujour décrit de manière minutieuse ce qu'il pense être le port antique de Pella, où il voit encore les anneaux en fer qui servaient à l'amarrage des bateaux (de Beaujour, 1829, p. 195) :

> « Les deux côtés du canal sont encore couverts de débris d'anciens édifices, et l'on remarque vers son origine un grand creux de forme ovale, à moitié comblé, qui recevait autrefois les eaux des montagnes voisines et servait tout à la fois de réservoir au canal et de port à la ville : on le présume du moins par les anneaux de fer que l'on a trouvés sur son pourtour et qui pouvaient servir à amarrer les bateaux. Rencognée au pied des montagnes et au fond des marais qui bordent au sud-est la plaine d'Yénidjé, Pella n'a plus aujourd'hui aucune importance militaire. Pella était avant Alexandre, plutôt le repaire que la capitale des Macédoniens : devenue ensuite la résidence de leurs rois, elle dominait du haut de sa citadelle toute la plaine qui se prolonge depuis le lac d'Yénidjé jusqu'au golfe Therméen et depuis le Loudias jusqu'à l'Axios. (…). »

E.M. Cousinéry (1831), W.M. Leake (1835) et A. Delacoulonche (1859) qui ont parcouru le secteur de Pella et analysé la configuration de la ville ne font pas mention de l'existence d'un bassin avec des anneaux en fer. Le « romantisme géographique » dont est épris F. de Beaujour est évident : l'auteur se livre de fait à des conjectures extravagantes qui ne reposent sur aucune étude précise. Il semble en outre que ses connaissances sur l'histoire antique de la Macédoine soient relativement restreintes. En effet, un détail nous laisse entrevoir ces lacunes : il considère que Pella est devenue la capitale du Royaume sous le règne d'Alexandre Le Grand. Or l'analyse des sources littéraires antiques révèle que Pella est devenue la capitale du Royaume au début du IV^e^ siècle av. J.-C., sous le règne du roi Archélaos ou de celui d'Amynhtas III (Sakellariou, 1982 ; Papazoglou, 1988).

T.A. Desdevises-du-Dézert est le seul à critiquer l'affirmation de F. de Beaujour et considère pour sa part qu'il n'existait probablement pas d'infrastructures portuaires capables d'accueillir des bateaux. Il ne devait pas y avoir de quai de débarquement construit en pierres, le lac Loudias (Borboros) servant probablement de zone d'échouage aux vaisseaux (Desdevises-du-Dézert, 1862, p. 342) :

> « Le port de Pella était le lac Borboros tout entier, d'où on opérait le débarquement à droite et à gauche sur les quais du canal intérieur. Mais ce canal intérieur s'accédait-il au sud de Pella, comme le pense M. Delacoulonche, ou bien au nord, au-delà de la colline d'Hagious Apostolous, comme le pense Cousinéry ? Tout d'abord il semble naturel de croire qu'il s'accédait au sud : c'est plus direct, et cela permettait au canal de desservir la ville basse, protégée elle-même par un mur d'enceinte. Mais on voit des traces d'une escale à l'ouest, près d'Iénikéui, et dans les basses eaux, on aperçoit, vers l'extrémité nord-ouest du lac, des pierres énormes qui semblent avoir appartenu à un quai. Nous pensons que le canal intérieur a dû avoir deux ouvertures, l'une au sud-ouest, par laquelle les vaisseaux arrivaient, l'autre au nord-ouest, par où ils s'en retournaient, et le canal d'écoulement qui porte dans le lac au moyen d'un aqueduc les eaux de Bagnia pourrait correspondre à cette seconde issue. »

Les récits des voyageurs permettent d'appréhender de manière détaillée la configuration des paysages entre le début des XVIII^e et XX^e siècle et d'attribuer des toponymes précis à des localités et à des cours d'eau (figure 69). Il semble qu'il y ait eu peu d'évolution morphologique depuis la période antique. Le réseau hydrographique a certes subi de légères modifications qui concernant essentiellement le tracé des fleuves Loudias et Axios dans la partie centrale de la plaine, mais, comme durant l'Antiquité, une vaste étendue lacustre s'étend au pied de la ville de Pella.

On note qu'au gré des descriptions, des essais de compréhension relatifs à l'évolution morphologique de la plaine depuis le début de l'Antiquité s'esquissent. Des éléments de réflexion sur la genèse de cette plaine sont également avancés.

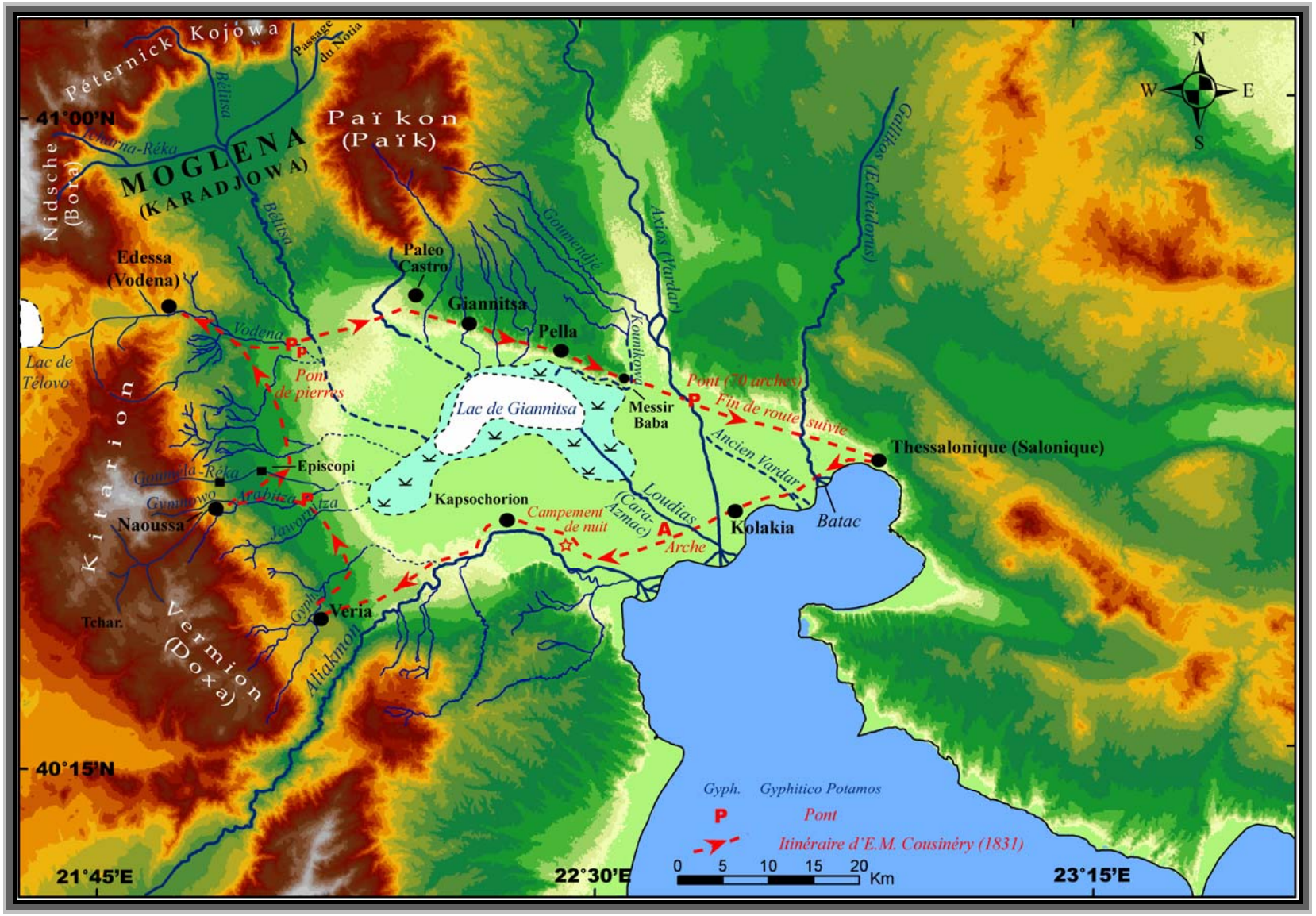


Figure 69 : Reconstitution paysagère de la plaine de Macédoine centrale au XIX^{e} siècle d'après les récits de voyageurs

CONCLUSION

La plaine de Macédoine centrale est au XIX^e^ siècle un territoire drainé par trois fleuves principaux. Les faits morphologiques et hydrologiques majeurs reposent sur la formation d'un cours unique créé par la confluence de l'Axios et du Loudias dans leur partie terminale. La morphologie de la plaine est caractérisée par la présence de nombreuses lagunes qui ceinturent le golfe Thermaïque et par une faible avancée du trait de côte depuis l'Antiquité.

La partie centrale de la plaine est pour sa part occupée par le lac de Giannitsa. Cette vaste zone lacustre est alimentée par de nombreux cours d'eau provenant des chaînes de montagne du Vermion à l'ouest et du Païkon au nord. Il semble que son existence soit attestée depuis l'Antiquité (description de Strabon au I^er^ siècle av. J.-C) jusqu'au début du XX^e^ siècle. Malheureusement, le manque de sources documentaires couvrant les époques byzantine et ottomane ne permet pas d'appuyer catégoriquement cette hypothèse.

Les rares sources documentaires de cette période ne fournissent aucun renseignement sur le sujet et ne permettent pas de juger d'une présence continue de l'étendue lacustre. La mobilité du réseau hydrographique attestée par les sources documentaires antiques et contemporaines révèle simultanément une mobilité importante du réseau hydrographique. La possibilité d'un éventuel assèchement de l'ancien lac Loudias est donc à prendre aussi en compte.

La genèse et l'évolution de la plaine soulèvent de nombreuses questions et réflexions. Cependant, la reconstitution paléogéographique de la partie centrale de la plaine ne peut être exactement révélée.

La seule exégèse des sources documentaires montre très rapidement ses limites et les importants hiatus temporels dans l'acquisition des témoignages ne permettent pas une reconstitution fiable des paysages de Macédoine centrale.

Pourtant, dès la fin du XIX^e^ siècle et au tout début du XX^e^ siècle, les premières tentatives de compréhension pour évaluer l'avancée du trait de côte depuis l'Antiquité vont être formulées. En s'appuyant sur les documents écrits et iconographiques datant de l'Antiquité et sur les récits de voyageurs des XVIII^e^, XIX^e^ et XX^e^ siècles évoqués au cours de ce chapitre, des reconstitutions paléogéographiques ont été élaborées.

Conclusion de la deuxième partie

L'étude paléogéographique de la Macédoine centrale s'appuyant sur l'analyse des sources documentaires, issues de différentes époques, révèle de nombreuses approximations et une grande incertitude quant à l'interprétation cartographique des descriptions paysagères.

Les sources littéraires datant de l'Antiquité, essentiellement réparties entre le V^e^ siècle av. J.-C. et le V^e^ siècle ap. J.-C., témoignent d'une mobilité importante des paysages. Le trait de côte s'est ainsi progressivement déplacé vers le sud-est, colmatant progressivement une vaste baie marine et prolongeant vers l'ouest le golfe Thermaïque. L'étude diachronique des textes d'Hérodote, de Thucydide, du Pseudo-Skylax et de Strabon permet de juger efficacement ces changements morphologiques. L'organisation du réseau hydrographique, également renseignée par les sources anciennes, révèle une mobilité très importante du tracé des cours d'eau pendant la période antique. Les fleuves Aliakmon, Axios, Gallikos et Loudias n'ont cessé de déplacer leur lit, laissant certaines villes isolées dans les terres. Pella, l'ancienne capitale du Royaume de Macédoine est l'exemple symbolique et la "victime" de cette évolution paysagère rapide. Elle est mentionnée par Hérodote au V^e^ siècle av. J.-C. comme une ville littorale, alors que cinq siècles plus tard, Strabon la localise en bordure du lac Loudias. Les descriptions précises d'Eschine, de Plutarque et surtout celles de Tite-Live permettent de juger de modifications paléoenvironnementales notables. La ville de Pella comprenait alors une partie haute, où étaient localisés le Palais royal et la ville, et une partie basse où se trouvait l'île Phacos qui renfermait le trésor royal. L'étude des sources souligne la séparation physique de ces deux parties de la ville par un cours d'eau, appelé ponctuellement Loudias et plus sûrement Borboros. Si la forteresse royale n'a jamais été mise au jour, ni même l'île Phacos, l'existence de ce cours d'eau devrait pourtant être observable de nos jours encore au pied de l'ancienne capitale macédonienne. Dion Chrysostome, au II^e^ siècle de notre ère n'y retrouva plus que des ruines et des tuiles jonchant le sol. Plus aucune trace de la puissance macédonienne n'était visible à l'époque hellénistique.

La fin du royaume de Macédoine en 168 av. J.-C. et le déclin de l'occupation du territoire par l'Empire romain au Ve siècle de notre ère marquent la raréfaction des témoignages sur la configuration des paysages de Macédoine.

Il faudra attendre le XVIII^{e}, mais surtout le XIX^{e} siècle, pour avoir de nouvelles descriptions des paysages sur la région. Ce hiatus temporel est fortement préjudiciable à la compréhension globale des dynamiques morphologiques responsables de la création de cette vaste plaine. Les descriptions nombreuses, associées à des représentations cartographiques pléthoriques, témoignent d'une faible évolution des grandes unités paysagères depuis l'Antiquité. Le trait de côte ne s'est guère plus déplacé vers le Sud-Est, un lac occupe toujours le centre de la plaine et les cours d'eau semblent, à peu de choses près, avoir conservé leurs tracés depuis l'époque de Strabon. Seule nuance, l'Axios et le Loudias joignent leurs eaux, juste avant de se jeter dans la mer Egée.

Les voyageurs qui ont parcouru le territoire soulignent les modifications morphologiques auxquelles la plaine est régulièrement soumise. Des défluviations, des apports alluvionnaires considérables et diversifiés, ont très certainement dû contribuer à faire évoluer ce territoire depuis les premières descriptions de la Macédoine centrale.

Les tentatives de compréhension de son évolution paléogéographique ont été concrétisées au début et au milieu du XX^{e} siècle avec l'élaboration de scénarii visant à retracer les grandes étapes du comblement de l'ancienne baie marine décrite en son temps par Hérodote.

L'évolution de la plaine de Macédoine centrale a généré de nombreuses interrogations sur la genèse de cette entité paysagère singulière. La topographie, présentant des altitudes assez basses, ne traduit en aucune façon un manque de dynamiques géomorphologiques. En effet, la création de ce territoire repose sur une histoire géologique amorcée principalement au Tertiaire. L'intense sismicité et la subsidence continue observées au Quaternaire sont responsables en partie de sa morphologie. Les variations climatiques qui ont une influence directe sur les variations du niveau marin et l'alluvionnement ont contribué, au cours des derniers millénaires, à façonner l'espace actuel. Une meilleure compréhension des paléodynamiques repose sur l'adoption d'une approche paléoenvironnementale à l'échelle de la plaine.

En se fondant sur les précédents travaux de la NEDECO et de S. Bottema (1974), un plan de carottages a pu être établi puis réalisé. Huit sondages, d'une profondeur maximale de 11 m ont été effectués en septembre 2004 et en mai 2005 et se répartissent de manière homogène entre la ville de Pella au nord et le trait de côte actuel au sud.

Les analyses de laboratoire combinant l'identification des mollusques contenus dans les séquences sédimentaires et des études sédimentologiques complètes (granulométrie et susceptibilité magnétique) doivent permettre de préciser les modes de dépôts. Les datations

par le radiocarbone doivent pour leur part, permettre de dater précisément les différents milieux de vie.

Enfin, le traitement des données numériques doit faciliter l'interprétation spatiale des données acquises ponctuellement et la reconstitution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale.

TROISIÈME PARTIE

RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE DE LA PLAINE DE THESSALONIQUE FONDÉE SUR L'APPROCHE PALÉOENVIRONNEMENTALE ET L'UTILISATION DES DONNÉES NUMÉRIQUES

Introduction de la troisième partie

L'approche paléoenvironnementale a été privilégiée et d'importants travaux de terrain et de laboratoire ont permis de livrer de nombreux résultats indispensables afin d'établir la reconstitution paléogéographique des paysages de l'actuelle plaine de Macédoine centrale.

La présente thèse reprend ainsi une approche méthodologique qui s'est très largement développée depuis une trentaine d'années dans l'étude de l'évolution des plaines côtières de Méditerranée. La bibliographie est riche de nombreux travaux récents portant sur les littoraux d'Albanie (Fouache, 2005, 2006), d'Espagne (Carmona, 1999), de Grèce (Kraft *et al.*, 1977 ; Fouache *et al.*, 2005a ; Lespez *et al.*, 2003 ; Vött 2007 ; Vött *et al.*, 2003, 2004, 2006a, 2006b ; Pavlopoulos *et al.*, 2006, 2007), d'Italie (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2003 ; Amorosi *et al.*, 2005 ;), de Chypre (Morhange *et al.*, 2000), d'Egypte (Goiran, 2001), du Liban (Marriner & Morhange, 2007), de Turquie (Brückner, 2003, 2005 ; Brückner *et al.*, 2002a, 2002b, 2003, 2006). Les techniques paléoenvironnementales sont très nombreuses et il a donc fallu choisir celles capables de nous renseigner au mieux sur l'évolution morphologique du secteur étudié.

Le **premier chapitre** présente les résultats obtenus par diverses méthodes d'études paléoenvironnementales. L'identification malacologique (**1e section**), a ainsi permis la distinction de plusieurs milieux (marin, lagunaire, lacustre et palustre). L'identification des différentes phases marines, lagunaires, lacustres et fluviatiles s'accorde avec les résultats obtenus par la NEDECO (1970). Des analyses granulométriques, effectuées grâce à un granulomètre L.A.S.E.R., ont permis d'associer à chaque milieu de vie précédemment identifié une texture caractéristique (**2e section**), via le traitement statistique des données (choix d'indices granulométriques). Ces analyses ont été complétées par des mesures de susceptibilité magnétique (capacité d'un matériau à s'aimanter par application d'un champ magnétique), permettant de révéler la teneur en particules ferromagnétiques (**3e section**) d'un sédiment. L'intérêt de cette méthode est de distinguer les apports sédimentaires de l'Axios et de l'Aliakmon, grâce à des signatures en susceptibilité magnétique caractéristiques (elle-même liées à la nature pétrographique des roches présentes dans chaque bassin-versant), et de définir ainsi le rôle de chaque fleuve dans l'édification de la plaine de Macédoine centrale.

Cette technique a été associée à la minéralogie des dépôts (minéraux lourds, Oldfield & Thompson, 1985 ; Smith, 1985 ; Thompson & Oldfield, 1986 ; Walden & Slaterry, 1993).

Enfin, dix-sept datations par le radiocarbone ont été effectuées aux laboratoires de Poznan (Pologne), de Gif-sur-Yvette et de Lyon utilisant la méthode A.M.S. (16 échantillons) et conventionnelle (1 échantillon) afin d'établir une chronostratigraphie des faciès sédimentaires (**4e section**).

Le **deuxième chapitre** est consacré à l'évolution spatiale de la plaine en relation avec les résultats de laboratoire et l'utilisation de supports numériques.

La spatialisation des informations obtenues lors des analyses de laboratoire a été possible grâce à l'établissement de transects chrono-stratigraphiques (**1e section**). L'utilisation des données numériques, intégrées dans un S.I.G., a constitué une étape importante du travail de modélisation (**2e section**). Le recours à l'imagerie satellitaire (LANDSAT TM 5, 11/05/1997) a permis de prouver efficacement la présence de formes fluviales ou lacustres héritées, révélant ainsi de précieux indices de paléo dynamiques (Novak & Soulakellis, 2000 ; Courel, 1985 ; Cerri, 1998). L'apport des données topographiques S.R.T.M. a également permis, grâce à une précision altimétrique très fine, de restituer la topographie de la plaine (Ghilardi, 2006). L'utilisation de ces informations a révélé de nombreux indices morphologiques (Clevis *et al.*, 2003 ; Rabus *et al.*, 2003) tels que d'anciennes levées alluviales de l'Aliakmon et de l'Axios. De l'association des données acquises en laboratoire avec les données numériques a découlé une modélisation des apports des différents bassins versants ayant édifié la plaine au cours de l'Holocène récent (**3e section**).

Le **troisième chapitre** est une synthèse des résultats permettant de retracer l'évolution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale à l'Holocène récent. L'utilisation des datations absolues et de la modélisation numérique des données a précisé les phases d'occupation successive et a ainsi livré de premiers éléments sur la paléogéographie de la plaine (**1e section**). Une discussion est ensuite engagée autour des descriptions antiques confrontées à notre schéma évolutif de la plaine. La comparaison porte ici d'une part sur la mobilité du trait de côte, les changements du tracé des cours d'eau et l'évolution des paysages pour la ville de Pella (**2e section**). Enfin, notre travail propose de porter la réflexion sur les questions paléoenvironnementales auxquelles une réponse n'a pu être précisément apportée (**3e section**), ouvrant ainsi la voie à de nouvelles études dans la région.

Chapitre 1 : Les méthodes d'étude des paléoenvironnements et des paléodynamiques

INTRODUCTION

L'étude paléoenvironnementale emploie des techniques dont le but est de faciliter la reconstitution de l'évolution des milieux de vie à partir de données ponctuelles, généralement obtenues à partir de prélèvement par sondages.

Les données ont été entièrement acquises à partir de huit sondages légers dont la profondeur oscille entre 7.00 m et 11.00 m (tableau 8). Leur localisation exacte est reportée sur la figure 70. L'emplacement des sondages a été choisi en fonction des études réalisées par la NEDECO (1970) et des résultats malacologiques et sédimentologiques obtenus dans le cadre de cette étude.

Le matériel utilisé est constitué d'un équipement léger et mobile. Un carottier à percussion et un extracteur manuel ont été utilisés durant les missions de terrain (photos 23 & 24). Les sédiments ont été prélevés dans des tubes P.V.C. de 46 cm de long et hermétiquement fermés. L'utilisation d'huile minérale pour la lubrification a permis d'éviter toute contamination d'origine mécanique.

L'adoption d'un protocole précis d'échantillonnage a ensuite permis de livrer des résultats ayant pour but de favoriser une interprétation spatiale paysagère. Dans l'ordre, il convient d'évoquer les différentes méthodes utilisées.

Les éléments biologiques contenus dans les sédiments doivent être pris en compte car ils sont indicateurs de l'environnement du dépôt (Roberts, 1998 ; Arnaud-Fassetta, 2000). L'étude malacologique repose sur l'identification des espèces de mollusques marins (en milieu marin et lagunaire) et continentaux (en milieu fluviatile et lacustre/palustre). Cette identification permet d'interpréter ponctuellement puis localement les conditions paléoécologiques des différents milieux de sédimentation. La chronologie de mise en place des unités biostratigraphiques s'appuie sur des datations par le radiocarbone, en l'absence de vestiges et d'artéfacts archéologiques.

Associées à la malacologie, les études sédimentologiques reposent principalement sur des analyses de couleur, de granulométrie des sédiments qui permet de préciser le type de milieu de sédimentation (Arnaud-Fassetta, 2000). L'édification de la plaine de Macédoine centrale résulte des apports de plusieurs cours d'eau. L'Aliakmon et l'Axios sont les fleuves les plus importants par la taille de leurs bassins versants. Ils traversent des terrains de nature géologique très variée. Les sédiments provenant de l'érosion de roches de composition pétrographique différente présentent des cortèges minéralogiques très diversifiés et peuvent

caractériser certains apports (Arnaud-Fassetta, 2000). La réalisation d'analyses sédimentologiques peut permettre de préciser ces différents apports. C'est en particulier le cas des études minéralogiques, réalisées avec succès dans d'autres régions (Walden & Slattery, 1993 ; Arnaud-Fassetta, 2000). De même, l'utilisation de la susceptibilité magnétique, fondée sur l'application d'un champ magnétique à des particules sédimentaires, permet de distinguer les particules ferromagnétiques du reste des sédiments (Thompson *et al.*, 1979 ; Oldfield *et al.*, 1989 ; Walden & Slattery, 1993 ; David *et al.*, 1998 ; Dearing, 1999 ; Feïss *et al.*, 2004).

L'intérêt de reconstituer les conditions paléoenvironnementales est de pouvoir proposer par la suite un scénario spatio-temporel d'édification de la plaine.

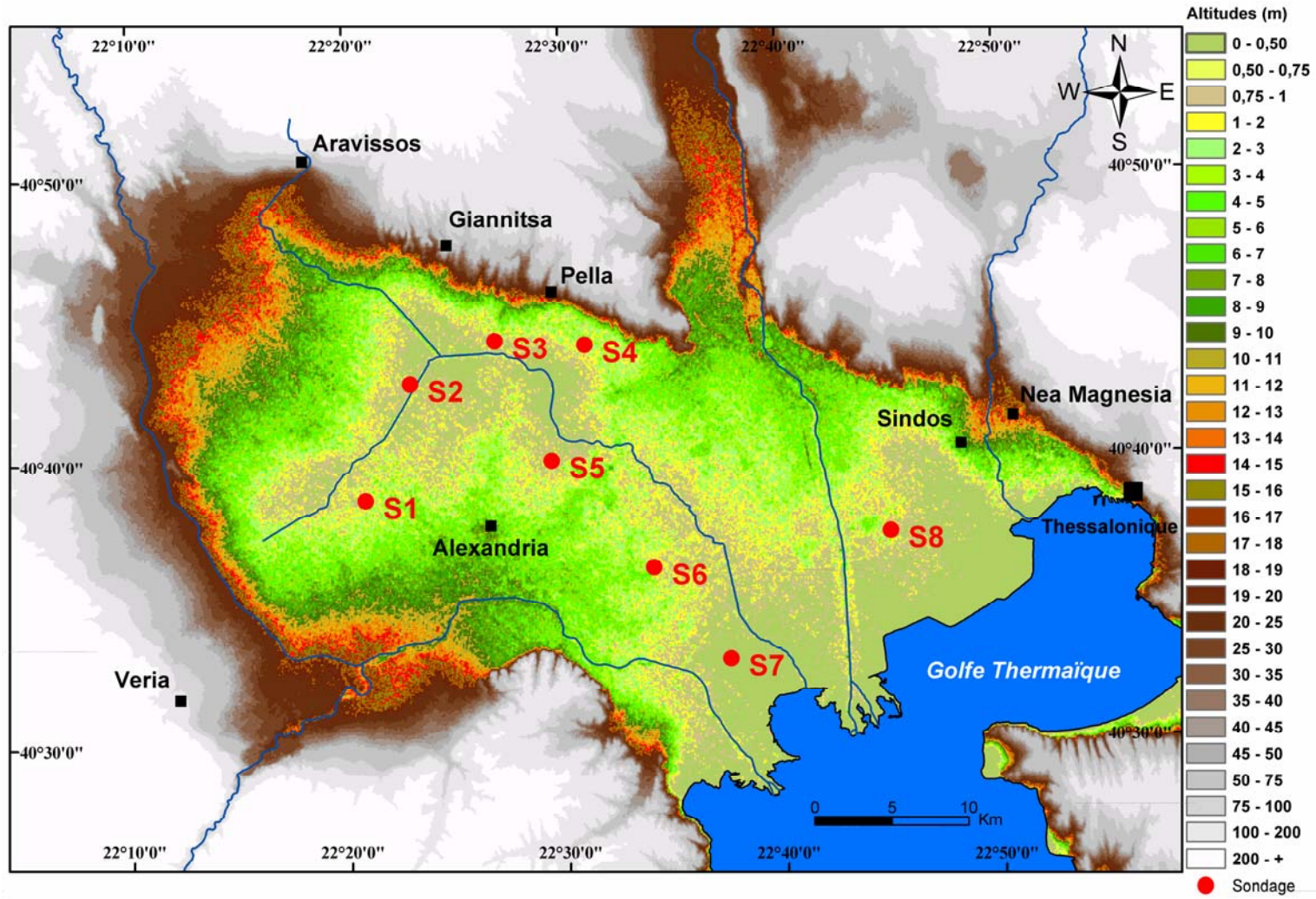


Figure 70 : Localisation des sondages effectués en mai 2005
(fond topographique obtenu à partir des données S.R.T.M.)

Sondage n°	Latitude (D.M.S. – W.G.S. 84[1])	Longitude (D.M.S. – W.G.S. 84[1])	Profondeur (m)	Altitude par rapport au niveau moyen de la mer en m (erreur : ± 0.70 m)
S1	N 40°38'40	E 22°20'51	11.00	(+2.90)
S2	N 40°42'45	E 22°22'58	7.15	(+0.00)
S3	N 40°44'14	E22°26'53	9.90	(+2.30)
S4	N 40°44'29	E 22°31'18	9.90	(+3.20)
S5	N 40°39'59	E 22°29'26	9.90	(+1.90)
S6	N 40°36'11	E 22°34'04	7.70	(+2.30)
S7	N 40°32'56	E 22°37'32	11.00	(-0.30)
S8	N 40°37'21	E 22°44'59	7.00	(+1.50)

Tableau 8: Caractéristiques (référence, latitude, longitude, profondeur) des sondages réalisés

[1] D.M.S. : *Degrés, Minutes, Secondes* / W.G.S. 84 : *World Geodetic System 84*

Photo 23 : Prélèvement des sédiments effectué grâce à un carottier à percussion

A l'aide d'un carottier à percussion de marque Makita, il a été possible de prélever les sédiments dans des carottes d'une longueur de 46 cm. La méthode de forage implique un travail d'équipe…

Photo 24 : Phase d'extraction mécanique des carottes

Extraction manuelle des carottes. En fonction du sédiment, cette opération peut prendre plus ou moins de temps. Un sédiment argileux facilitera le processus d'extraction.

3.1.1. L'utilisation des marqueurs biologiques : l'identification malacologique

La malacologie permet notamment de révéler la présence de milieux aquatiques marins dont elle peut préciser la profondeur (Arnaud-Fassetta, 2000) le degré de salinité, la température et la turbidité des eaux. Depuis les années 1960, une classification précise des groupes de mollusques marins de la Méditerranée a été établie (Péres & Picard, 1964 ; Péres, 1982). Des travaux plus récents affinent le recensement et la classification des espèces marines (d'Angelo & Gargiullo, 1978 ; Doneddu & Trainito, 2005).

Les sondages ont tous révélé la présence d'une faune terrestre et seuls les carottages S2, S3, S4, S5, S6 et S7 témoignent d'un ancien niveau marin (voir tableau 9 et photo 25 pour consulter l'ensemble des espèces identifiées, ainsi que les figures 71 et 72 pour consulter les profils stratigraphiques de chaque sondage). L'identification malacologique a été effectuée à l'université de Thessalonique par G. Syrides.

Dans le contexte détritique propre à la sédimentation deltaïque et en raison des probabilités non négligeables de remaniement des sédiments, des erreurs d'interprétation peuvent parfois intervenir. Il est ainsi difficile d'apprécier si certaines données biologiques reflètent une image du paléoenvironnment local ou un mélange d'apports allochtones (Arnaud-Fassetta, 2000 ; Fouache *et al.*, 2003).

Milieux de vie	***Espèces représentatives***
Lacustre	**Gastéropodes** : *Helicidae sp., Lymnaea sp., Valvata sp.*
Marin	**Bivalves** : *Acantocardia sp., Arca sp., Cardita sp., Cerastoderma edule, Chamelea sp., Chlamys varia, Chlamys flexuosa, Corbula gibba sp., Donax sp., Dosinia sp., Hydrobia sp., Modiolus barbatus,Nucula nucleous, Nuculana pella, Ostrea sp., Pecten sp.,Tapes sp., Tellina sp., Venus sp.* **Gastéropodes** : *Bittium reticulatum, Cerithium sp., Cyclope neritea, Cythara sp., Natica sp., Nassarius reticulatum* **Vermets** : *Dentalium sp., Ditrupa sp., Serpula sp.,*

Tableau 9: Espèces marines et continentales (malacofaune)

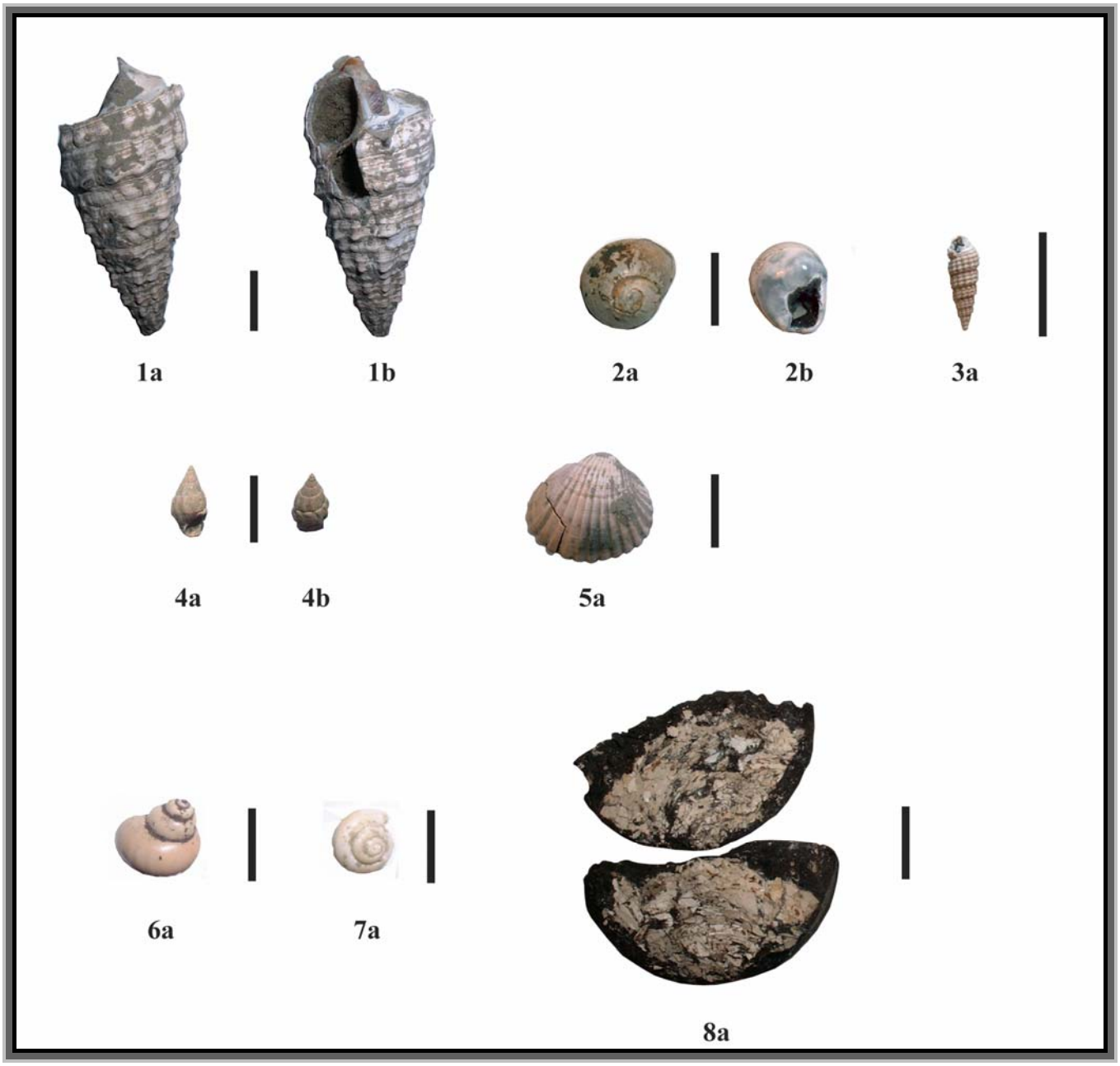


Photo 25 : Indicateurs biologiques identifiés

(Echelle : 1 cm ,1a – 1b : *Cerithium vulgatum*, 2a – 2b : *Cyclope neritea*, 3a : *Bittium reticulatum*, 4a – 4b : *Nassarius reticulatum*, 5a : *Cerastoderma edule*, 6a : *Valvata sp.*, 7a : *Helicidae sp.*, 8a : débris coquilliers dans matière organique)

3.1.1.1.Identification des différents milieux de vie

Mis à part les sondages S3 et S5, la malacofaune d'origine marine est assez pauvre, et seules quelques espèces dominent le milieu : il s'agit soit de bivalves de type *Cerastoderma edule* ou *Loripes sp.*, soit de gastéropodes de type *Bittium reticulatum*, *Nassarius reticulatum* ou *Cyclope neritea*.

La malacofaune d'origine terrestre révèle pour l'ensemble des sondages, des milieux relativement pauvres où seuls des gastéropodes de type *Valvata sp.* ou *Lymnaea sp.* cohabitent avec des espèces de type *Helicidae sp.*

a) Sondage S1 (ancien lac de Giannitsa): un milieu de vie exclusivement continental

Le sondage S1 ne révèle pas la présence de milieu de vie marin. Ce sont uniquement des espèces continentales de type *Helicidae sp.* parfaitement conservées qui ont été identifiées (4.25 m et 7.76 m), indiquant ainsi une absence de remaniement.

b) Sondage S2 : un milieu de vie marin de forte énergie

Le sondage S2 atteste d'un niveau marin puis continental (tableau 10), la transition se situant à 4.35 m de profondeur. Les milieux sont généralement assez pauvres en mollusques terrestres et marins.

Deux stades lacustres sont attestés, respectivement entre 1.10 m et 2.30 puis entre 3.30 m et 4.35 m. La malacofaune identifiée indique la présence d'espèces de type *Helicidae sp.* La transition entre milieu de vie continental et marin est caractérisée par la présence d'un horizon riche en matière organique.

Entre 4.35 m et 5.95, il n'y a aucun mollusque marin en place et seuls des fragments de bivalves de type *Cerastoderma edule* et de gastéropodes de type *Cyclope neritea* sont parfaitement identifiés, suggérant ainsi un remaniement.

Entre 5.95 m et 6.05 m, des gastéropodes de type *Cyclope neritea* sont retrouvés en quantité moyenne et leur présence traduit un milieu de vie lagunaire caractérisé par des eaux saumâtres.

Profondeur en m par rapport à la surface	Densité de mollusques	Espèces
0 – 4.35	Très faible	*Helicidae sp.*
4.35 – 5.95	Très faible	Fragments de bivalves *Cerastoderma edule* et de gastéropodes *Cyclope neritea*
5.95 – 6.05	Moyenne	**Gastéropodes** : *Cyclope neritea*
6.05 – 6.50	nulle	Fragments de bivalves *Cerastoderma edule,*
6.50 – 6.60	Moyenne	**Bivalves** : *Cerastoderma edule*
6.60 – 7.05	nulle	
7.05 – 7.15	nulle	

Tableau 10: Identification malacologique pour le sondage S2

Entre 6.05 m et 6.50 m, aucun mollusque mort *in situ* n'est identifié, de nouveau des débris coquilliers de bivalves de type *Cerastoderma edule* sont retrouvés. La taille et la forme des fragments de coquilles indiquent une forte énergie de transport.

Entre 6.50 m et 6.60, des bivalves de type *Cerstoderma edule* sont identifiés et leur taille, relativement petite, indique des variations importantes de salinité.

Entre 6.60 m et 7.05 m, aucun mollusque n'est visible. Quelques très rares débris coquilliers laissent suggérer une phase d'occupation marine de forte énergie, identique à celles observées précédemment.

Entre 7.05 m et 7.15 m, aucun mollusque n'a pu être localisé de manière formelle. Les rares fragments coquilliers de taille millimétrique ne permettent pas de connaître ni la famille ni l'espèce.

c) Sondage S3 (piémont du massif du Païkon) : une phase de sédimentation marine complète

Le sondage S3 est celui qui par le nombre important d'espèces identifiées se distingue des autres sondages étudiés (tableau 11). Si le milieu terrestre est assez pauvre en espèces, le milieu marin est pour sa part assez riche. La transition entre le milieu marin et le milieu continental est franche et intervient à une profondeur de 5.40 m par rapport à la surface[1]. Entre 5.30 m et 5.40 m, une forte densité de *Charophytes* (plantes aquatiques) attestent d'une présence lacustre continue. Le milieu de vie marin est présent entre 5.40 m et 8.70 m et indique des variations sensibles de densité de mollusques.

[1] Les profondeurs seront toutes indiquées par rapport à la surface, se reporter au tableau pour estimer le niveau par rapport au niveau moyen de la mer

Entre 5.40 m et 5.75 m, le milieu de vie, toujours marin, est caractérisé par la présence de bivalves (*Cerastoderma edule*) et de gastéropodes (*Bittium sp.*) qui affectionnent tout particulièrement les fonds sableux. La diminution sensible de la taille des espèces de type *Cerastoderma edule* indique une baisse conséquente de la salinité sur une courte période, si l'on en juge par la faible épaisseur des dépôts (0.35 m). La présence d'eaux saumâtres est confirmée par la présence d'espèces de type *Hydrobia sp.* (Arnaud-Fassetta, 2000).

Profondeur en m par rapport à la surface	Densité de mollusques	Espèces
0 – 5.30	Très faible	*Helicidae sp.*
5.30 – 5.40	Nulle	
5.40 – 5.75	Moyenne	**Bivalves** : *Abra sp., Bittium sp., Cerastoderma edule, Hydrobia sp.*
5.75 – 7.15	Faible	**Bivalves** : *Cerastoderma edule*(5,85 m – 6,80 m)*, Abra sp.,*
7.15 – 7.55	Moyenne	**Bivalves** : *Cerastoderma edule, Abra sp., Hydrobia sp., Cyclope neritea*
7.55 – 8.55	Faible	**Bivalves** : *Cerastoderma edule* (7,90 m – 7,95 m – 8,10 m – 8,44 m), *Abra sp.* (8,10 m)*, Modiolus sp.* (8,46 m)
8.55 – 8.70	Très forte	**Bivalves** : *Acantocardia sp., Arca sp., Cardita sp., Chamelea sp., Chlamys varia, Chlamys flexuosa, Corbula gibba sp., Donax sp., Dosinia sp., Modiolus barbatus, , Nucula nucleous, Nuculana pella, Ostrea sp.,Pecten sp., Tapes sp., Tellina sp., Venus sp.,* **Gastéropodes** : *Bittium sp., Cerithium sp., Cythara sp., Natica sp.* **Vermets** : *Dentalium sp., Ditrupa sp., Serpula sp.*
8.70 – 9.90	Nulle	

Tableau 11: Identification malacologique pour le sondage S3

Entre 5.75 m et 7.15 m, le milieu de vie marin semble perturbé par des apports continentaux car la faible quantité de mollusques indique clairement des conditions environnementales défavorables au développement d'espèces marines. Une baisse de la salinité en est très certainement responsable.

Entre 7.15 m et 7.55 m de profondeur, la densité de bivalves de type *Cerastoderma edule* augmente considérablement et l'apparition de gastéropodes de type *Cyclope neritea* indique clairement l'apparition de conditions saumâtres, dans des eaux peu profondes où la salinité est assez fluctuante (coquilles de faibles dimensions).

Entre 7.55 m et 8.55 m, probablement en raison d'apports d'eau continentale, le nombre d'espèces marines diminue considérablement, et ne subsistent plus que quelques bivalves parmi lesquels *Cerastoderma edule*, dont la petite taille indique nettement une baisse de la salinité.

A la base, entre 8.55 m et 8.70 m, un horizon très riche en mollusques marins repose directement sur une surface constituée de dépôts continentaux de couleur rouge. Les familles identifiées (gastéropodes, bivalves, vermets) sont indicatrices d'un milieu de vie typiquement

marin, vivant aussi bien sur les fonds sableux que sur un substratum rocheux. La faible épaisseur des dépôts (0.15 m) laisse supposer un épisode marin bref.

d) Sondage S4 (3 km au sud de Pella) : un milieu de vie marin partiellement attesté

Le sondage S4, situé à courte distance de S3, contraste en terme de densité et de variétés d'espèces représentées.

Entre la surface et 7.40 m de profondeur, aucun mollusque continental n'est identifié.

Entre 7.40 m et 9.80 m, la présence d'*Helicidae sp.* en nombre assez restreint permet de constater la présence d'un milieu lacustre, confirmé par quelques passages très riches en matière organique (8.10 m à 8.30 m). Un fait intéressant est à relever : un « horizon coquillier » très fin (pas plus de 0.01 m) s'intercale dans ce passage organique. Des fragments d'espèces vivant en milieu continental (*Helicidae sp.*) se sont agglomérés. On retrouve également la présence de particules sableuses.

A la base du sondage, entre 9.80 m et 9.90 m, quelques espèces prédominent : des bivalves de type *Cerastoderma edule* et des gastéropodes de type *Cyclope neritea*. La petite taille des premiers et l'abondance des seconds indiquent un milieu saumâtre où la salinité diminue.

e) Sondage S5 (partie centrale de la plaine) : un important stade marin

Le sondage S5 est, avec S3, celui qui présente la plus grande diversité malacologique, tant en milieu continental qu'en milieu marin (tableau 12). Le contact entre milieu continental et milieu marin est établi à 6.31 m de profondeur. Entre 6.31 m et 9.90 m, un milieu de vie marin est attesté grâce à l'identification des espèces marines. Il faut cependant noter la moins grande diversité observée pour le sondage S5 comparée à S3.

Entre la surface et 2.45 m, on observe peu de mollusques, mis à part quelques rares *Helicidae sp.* de petite taille.

Entre 2.45 m et 5.09 m, une occupation lacustre est attestée par la présence de gastéropodes de type *Valvata sp.* et *Lymnaea sp.*, parfois retrouvés intacts dans des horizons riches en matière organique (tourbières).

Profondeur en m par rapport à la surface	Densité de mollusques	Espèces
0 – 2.45	faible	*Helicidae sp.*
2.45 – 5.09	faible	*Lymnaea sp.* (3.34 m), *Valvata sp.* (5.02 m)
5.09 – 6.31	nulle	Fragments de *Cerastoderma edule*
6.31 – 6.70	Moyenne	**Bivalves** : *Cerastoderma edule, Loripes sp. (lacteus ?* – fragments) **Gastéropodes** : *Bittium reticulatum*
6.70 – 7.00	Forte	**Bivalves** : *Cerastoderma edule* **Gastéropodes** : *Bittium reticulatum, Nassarius reticulatum*
7.00 – 8.90	Faible	**Bivalves** : *Ostrea sp.* **Gastéropodes** : *Bittium reticulatum, Cerithium vulgatum, Nassarius reticulatum.*
8.90 – 9.90	Forte	**Bivalves** : *Cerastoderma edule*

Tableau 12 : Identification malacologique pour le sondage S5

Entre 5.09 m et 6.31 m, des fragments de bivalves marins (*Cerastoderma edule ?)* de très petite taille sont retrouvés en petit nombre. La présence de charbons (quelques mm) est également attestée.

Entre 6.31 m et 6.70 m, on retrouve des débris coquilliers en abondance. Il s'agit de bivalves de type *Loripes lacteus* et des *Cerastoderma edule* de petite taille possédant encore les deux valves. Des apports continentaux contribuent à diminuer la salinité du milieu et peuvent expliquer la réduction de la taille des mollusques.

Entre 6.70 m et 7.00 m, on observe une malacofaune marine très riche en espèces de type *Cerastoderma edule*, *Bittium reticulatum et Nassarius reticulatum.*

Entre 7.00 m et 8.90 m, peu de mollusques sont recensés ; on retrouve quelques gastéropodes isolés de type *Nassarius reticulatum* (7.46 m), *Bittium reticulatum* (8.05 m), et des bivalves de type *Ostrea sp.* (*edulis* ? 8.53 m). Les fluctuations de salinité expliquent probablement le faible nombre d'espèces identifiées.

Entre 8.90 et 9.90, on constate une très forte présence de bivalves de type *Cerastoderma edule* est attestée.

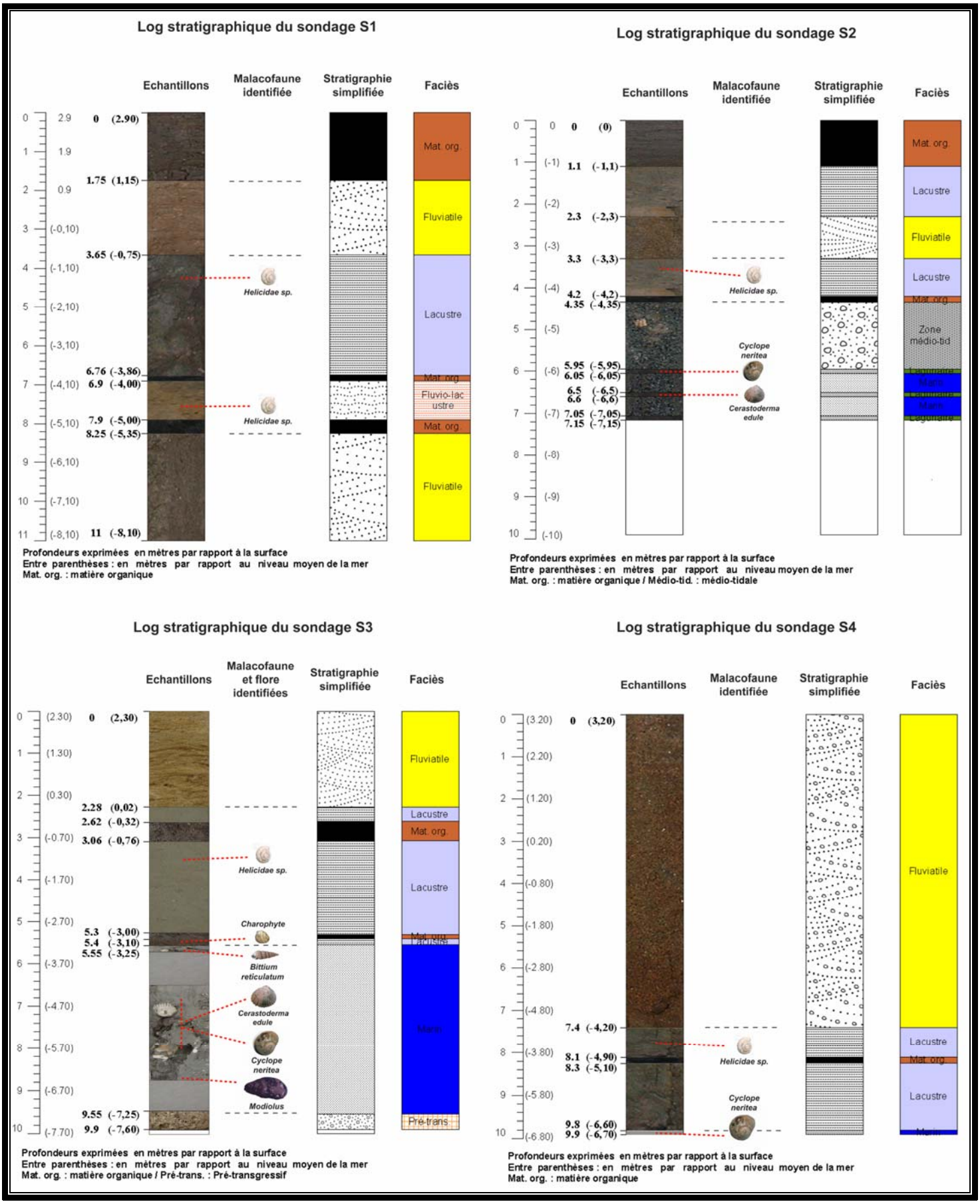


Figure 71 : Logs stratigraphiques (avec malacofaune) des sondages S1 à S4

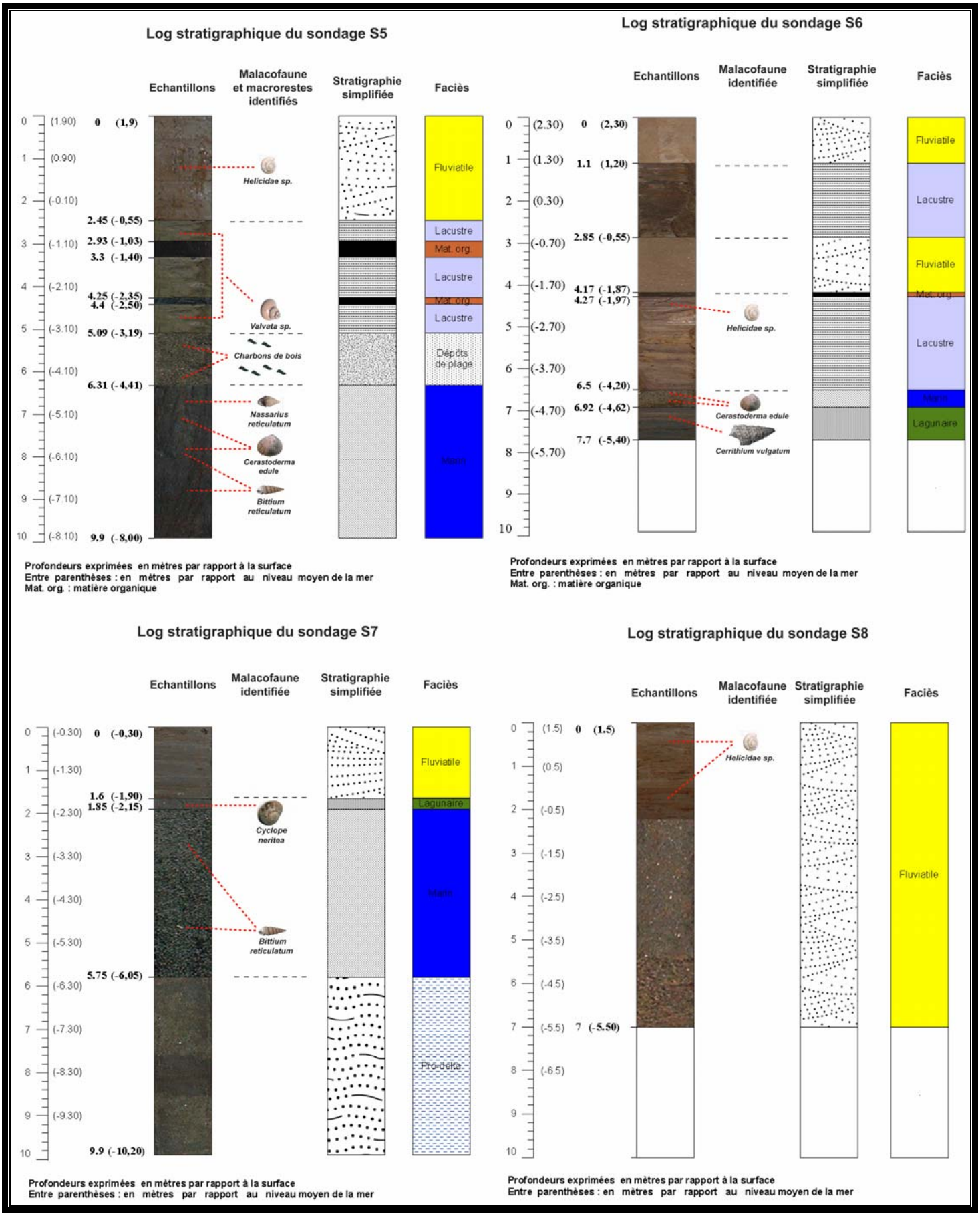


Figure 72 : Logs stratigraphiques (avec malacofaune) des sondages S5 à S8

f) Sondage S6 : un niveau lagunaire important

Le sondage S6 révèle la présence d'un milieu de vie continental entre la surface et 6.50 m de profondeur, puis marin entre 6.50 et 7.70 m. Dans les deux cas, des nuances permettent d'affiner la connaissance des milieux de vie.

Entre la surface et 4.27 m, aucun mollusque n'est reconnu, seul un niveau riche en matière organique entre 1.10 m et 2.85 m révèlant un stade lacustre ou palustre.

Entre 4.27 m et 6.50 m, des espèces de type *Helicidae sp.* (4.40 m) sont identifiées et quelques passages de matière organique renferment des fragments de coquilles indéterminées.

Entre 6.50 m et 6.92 m, des coquilles (un seul hémisphère) de bivalves de type *Cerastoderma edule* sont présentes en faible quantité (seulement deux retrouvées à 6.68 et 6.78 m). Leur petite taille indique une diminution de la salinité, probablement causée par des apports d'eau continentale. Le milieu est marin mais fortement influencé par des variations de salinité (lagunaire).

Entre 6.92 m et 7.70 m, un gastéropode de type *Cerithium vulgatum* (7.10 m) est retrouvé entier (4 cm de long pour 1.5 cm de diamètre) dans les sédiments, accompagné de fragments coquilliers de bivalve de type *Cerastoderma edule* de petite taille. La taille relativement importante du *Cerithium vulgatum* indique un milieu de vie lagunaire peu profond, dans lequel des influences continentales peuvent modifier la salinité.

g) Sondage S7 (partie distale du delta de l'Aliakmon) : un milieu de vie marin et de marais littoraux

Le sondage S7 révèle la présence d'un milieu de vie continental entre la surface et 1.60 m de profondeur, un milieu de vie marin entre 1.60 m et 5.75 m et un niveau quasiment azoïque entre 5.75 m et 9.90 m.

Entre 1.60 m et 1.85 m, des gastéropodes de type *Cyclope neritea* prouvent l'existence d'un milieu de vie marin – saumâtre où les influences continentales sont importantes.

Entre 1.85 m et 5.75 m, un milieu de vie exclusivement marin est identifié, comme en témoignent les gastéropodes de type *Bittium reticulatum* trouvés ; la présence de *Cerastoderma edule* n'est pas attestée.

Entre 5.75 m et 9.90 m, aucun mollusque n'a été recensé ; le milieu est d'ailleurs très pauvre en matière organique.

h) Sondage S8 (rive gauche de l'Axios – Chalastra) : un milieu de vie exclusivement continental (fluviatile)

Le sondage S8 révèle la présence exclusive d'un épisode continental (fluviatile), la malacofaune y est très pauvre. Entre la surface et 2.00 m de profondeur, il est possible d'identifier quelques coquilles de mollusques terrestres et de très petits *Helicidae sp.* (quelques millimètres).

3.1.1.2. Interprétation à l'échelle de la plaine actuelle

a) Un milieu pauvre en organismes marins à la base des sondages dans la partie distale du delta de l'Aliakmon (pro-delta)

Le sondage S7, localisé dans la partie distale du delta de l'Aliakmon indique la présence d'un milieu quasiment azoïque à la base du niveau marin. Aucun mollusque n'a été recensé et seuls quelques rares fragments coquilliers de très petite taille (1 à 2 mm) et des macrorestes (végétaux carbonisés de type *Salix sp.*) laissent suggérer un probable transport par un cours d'eau.

b) Un stade marin important attesté à la base des sondages situés au centre de l'actuelle plaine de Thessalonique

Les sondages S3 et S5, localisés au centre de la plaine apportent la preuve d'une longue phase d'occupation marine. Le nombre important d'espèces de mollusques marins dans certains niveaux traduit un milieu peu affecté par des variations de salinité : les conditions de vie sont idéales pour favoriser la prolifération des mollusques marins.

En effet, il faut relever que des fluctuations de salinité entraînent localement une forte baisse du nombre, de la variété et de la taille des espèces. Il semble que dans ces conditions seuls des bivalves de type *Cerastoderma edule* et des gastéropodes de type *Bittium reticulatum* et *Nassarius reticulatum* s'adaptent assez rapidement aux variations de salinité.

Les sondages S2, S4 et S6 indiquent un milieu très confiné, un milieu de vie exclusivement marin (sans apport liquides et solides continentaux) n'étant pas clairement identifié. Le faible nombre d'espèces, parmi lesquelles *Cerastoderma edule* et *Cyclope*

neritea, suggère des variations de teneur en sel des eaux, probablement en raison d'apports en eau douce.

c) Un large stade lagunaire au-dessus du stade marin observé à l'échelle de la plaine

La diminution progressive de la salinité, favorisée par des apports en eau douce, engendre un appauvrissement malacologique en nombre, en taille et en diversité d'espèces. De précédentes études (NEDECO ; Bottema, 1974) avaient révélé la présence abondante de bivalves de type *Cerastoderma edule* attestant de l'existence d'une phase d'occupation lagunaire. Il faut également rajouter des gastéropodes de type *Cyclope neritea* qui ont été retrouvés en assez grand nombre en transition avec le milieu continental.

d) Deux niveaux lacustres recensés à l'ouest et au centre de la plaine

D'après l'identification malacologique réalisée sur les sondages S1, S2, S3, S4, S5 et S6 en particulier, il est possible de distinguer un milieu de vie dominé par les eaux douces.

Un stade lacustre (important) s'installe après un stade marin, la transition étant généralement assurée par une couche de matière organique ou par la présence de plantes aquatiques de type charophytes (S3). De fréquents passages tourbeux et de matière organique (deux ou trois décimètres au maximum), associés à la présence de gastéropodes de type *Valvalta sp.* ou *Lymnaea sp.* confirment un milieu de vie en eau douce.

La seconde phase d'occupation lacustre est très récente puisqu'elle correspond au niveau supérieur des sédiments des sondages S1, S2, voire S3. Il s'agit d'un milieu peu profond (pas plus d'un à deux mètres) et où de nombreux *Helcidae sp.* et quelques *Valvata sp.* de très petite taille sont identifiés.

e) Un milieu de vie fluviatile relativement pauvre en mollusques

L'ensemble des sondages prouve la présence d'un milieu de vie fluviatile au sommet des séries sédimentaires. Les sondages S4 et S8 sont dominés par un faciès fluviatile ; quelques rares *Helicidae sp.* et des fragments coquilliers épars témoignent d'une forte énergie.

3.1.2. Analyse granulométrique des sédiments

3.1.2.1. Intérêt des analyses granulométriques dans les études paléoenvironnementales

La granulométrie est l'étude de la répartition et de la fréquence des éléments en fonction de leur taille à l'intérieur d'une formation sédimentaire (B. Coque, 1988). Elle peut nous renseigner sur le mode de transport et les conditions de dépôt final (Elliott, 1986 ; Miskovski, 1988). Les études menées dans les milieux littoraux de Méditerranée (Morhange *et al.*, 2000 ; Stefaniuk & Morhange, 2005 ; Marriner *et al.*, 2005 ; Marriner & Morhange, 2007), en particulier les milieux deltaïques (Fouache, 1999, 2003 ; Arnaud-Fassetta, 2000), soulignent l'importance des études granulométriques (éventuellement associées à des identifications malacologiques) dans les études paléoenvironnementales.

3.1.2.2. Protocole et matériel utilisé

a) Protocole d'analyses

Les échantillons prélevés dans les huit sondages ont fait l'objet d'analyses granulométriques. Les échantillons ont été prélevés systématiquement tous les 5 cm en tenant compte d'éventuels remaniements au sommet de chaque carotte (en raison de la technique d'échantillonnage, il existe une possibilité de retrouver dans la partie supérieure de la carotte des sédiments de la série précédente provenant d'une pollution d'origine mécanique).

Les sédiments ont fait l'objet d'un traitement particulier avant chaque mesure granulométrique. Les fractions les plus fines (0 à 50 µm) ont été placées dans une solution d'Héxamétaphosphate de sodium et ont été agitées durant deux heures dans un agitateur rotatif. Cette désagrégation a permis la dispersion des argiles. Pour les particules les plus grossières, une adjonction d'Héxamétaphosphate à hauteur de 5‰ directement dans le module voie humide du granulomètre a été effectuée avant chaque mesure.

b) Matériel utilisé

Les analyses granulométriques ont été réalisées au département de sédimentologie du Laboratoire de Géographie Physique Pierre Birot (C.N.R.S. / U.M.R. 8591).

Les analyses ont été faites grâce à un granulomètre L.A.S.E.R. (photo 26) de marque Beckman et de type Coulter LS 230 (version du logiciel 2.05). L'étendue de la gamme granulométrique est comprise entre 0.04 et 2 000 µm ; les mesures se répartissent en 116 fractions.

Les échantillons ont été analysés entre 6 % et 10 % d'obscuration et entre 50 et 57 % d'obscuration pour le P.I.D.S. (Polarization Intensity Differential Scattering). Le modèle de calcul utilise les théories de Fraunhofer et de Mie.

Photo 26 : Granulomètre L.A.S.E.R. Beckman Coulter LS 230

c) Choix des indices granulométriques

Plusieurs indices granulométriques ont été utilisés afin de caractériser les dynamiques sédimentaires :

- la texture correspond à la proportion des trois fractions (sables, limons, argiles) au sein d'un même échantillon. Elle permet de caractériser le faciès sédimentaire (Weydert, 1976 ; Arnaud-Fassetta ; 2000).
- Le mode reflète la compétence maximale d'un cours d'eau à transporter une particule, il indique donc les épisodes de crues fluviales et d'apports évènementiels. Dans un milieu de sédimentation relativement calme tel que le milieu marin, lagunaire ou lacustre, le mode révèle des phases de dépôts de plus forte énergie (apports fluviatiles en milieu lacustre par exemple). Le grain moyen (Folk & Ward, 1957 ; Arnaud-Fassetta ; 2000) mesure la compétence moyenne du flux liquide. En milieu deltaïque,

il semble que cet indice ne puisse pas mettre en évidence les phases maximales d'apport, c'est pour cette raison qu'il n'a pas été sélectionné pour cette étude.

- Le D10 (premier décile) correspond à la taille des grains représentant 10% de la population totale, en démarrant par les éléments les plus fins vers les plus grossiers. Cet indice permet de caractériser les apports les plus fins.
- La médiane (d50) représente 50% de la population totale des sédiments.

Les résultats des analyses sédimentologiques sont présentés sur les figures 74 et 75 et annexes XIII à XX.

De précédentes études en milieu deltaïque (Arnaud-Fassetta ; 2000) ont utilisé la méthode de l'image CM (Passega, 1957 ; Bravard, 1983) pour appréhender la compétence moyenne et maximale du flux liquide et fournir une image synthétique des caractères de la sédimentation fluviatile. Cette méthode n'a toutefois pas pu être appliquée au présent secteur d'études, pour deux raisons principales :

La première est d'ordre technique ; l'utilisation de l'image CM impose de prendre notamment en compte le d99 (99^{e} percentile). Or, les mesures faites grâce au granulomètre L.A.S.E.R. (mesures tridimensionnelles d'une particule) peuvent parfois présenter des irrégularités dans les classes granulométriques les plus grossières, faussant la valeur de d99 (la présence de micas, par exemple, dans les éléments les plus grossiers ne correspond pas à une dynamique de forte énergie mais perturbe parfois fortement la distribution, figure 73 p.291).

Toutefois, l'un des défauts majeurs du granulomètre laser est sa dissemblance (Allen, 1992 ; Rawle ; Zérai, 2006), par rapport à un tamis classique, dans la logique de mesure des diamètres de particules. En effet, le premier prend comme diamètre d'une particule sa plus grande longueur (L) alors que le second en prend sa plus grande largeur (l). Certains minéraux, inclus dans les schistes se débitent en fines plaquettes, peuvent interférer et donc fausser le d99.

La seconde raison est liée à la présence de différents milieux de sédimentation (marin, lagunaire, lacustre et fluviatile) dont l'épaisseur des dépôts ne permet pas toujours d'avoir un nombre suffisant d'échantillons pour effectuer une image CM représentative.

3.1.2.3. Résultats stratigraphiques et granulométriques

L'analyse visuelle, complétée par des clichés photographiques (annexes V à XII), une description colorimétrique (utilisation du code Munsell) et l'établissement de logs stratigraphiques simplifiés a permis de révéler la structure des sédiments (figures 71 & 72).

a) Les structures sédimentaires en milieu fluviatile

Dans les sédiments fluviatiles, deux types de structures sédimentaires peuvent être distingués (Reineck & Singh, 1980 ; Arnaud-Fassetta, 2000) : les structures massives et litées.

Les structures massives correspondent à une absence de litage, donc à des apports réguliers où le cours d'eau présente une compétence égale. Les sondages S4 et S8 indiquent la présence d'une structure massive très épaisse (7.40 m pour S4 et 4.80 m pour S8). La couleur présente une teinte très oxydée et le mode granulométrique homogène (entre 150 et 200 µm) correspond à des sables moyens bien triés (distribution unimodale des courbes des fréquences granulométriques, annexe XXIV et XXVII). Les courbes de distribution des sédiments sont de type gaussien et indiquent un très bon tri des dépôts.

Les structures litées évoquent des variations de compétence et des apports plus ou moins violents. On les retrouve essentiellement au sommet de la plupart des sondages et ils forment la surface sub-actuelle des sondages S3, S5, S6, S7 et S8 (annexe XXVII). Le mode indique une grande variabilité, oscillant entre 4 et 75 µm (argiles à sables fins) et témoigne de changements de compétence dans un milieu de sédimentation relativement calme.

b) Les structures sédimentaires en milieu lacustre

Dans les sédiments lacustres, la structure sédimentaire observée révèle généralement des secteurs uniformes, compacts, où quelques passages riches en carbonates et en matière organique (tourbes) viennent interrompre la structure. Il faut également indiquer que les secteurs de transition avec d'autres milieux (fluviatile ou lagunaire) présentent parfois des structures litées, marquant l'influence de plusieurs milieux de sédimentation avec des dynamiques propres de mise en place des dépôts (figure 73, annexes XXII et XXIII). Tous les sondages, à l'exception de S8, révèlent la présence de dépôts lacustres et d'une structure sédimentaire massive. Le mode granulométrique varie peu et oscille entre 2 et 60 µm (argiles à limons grossiers) pour la plupart des échantillons analysés.

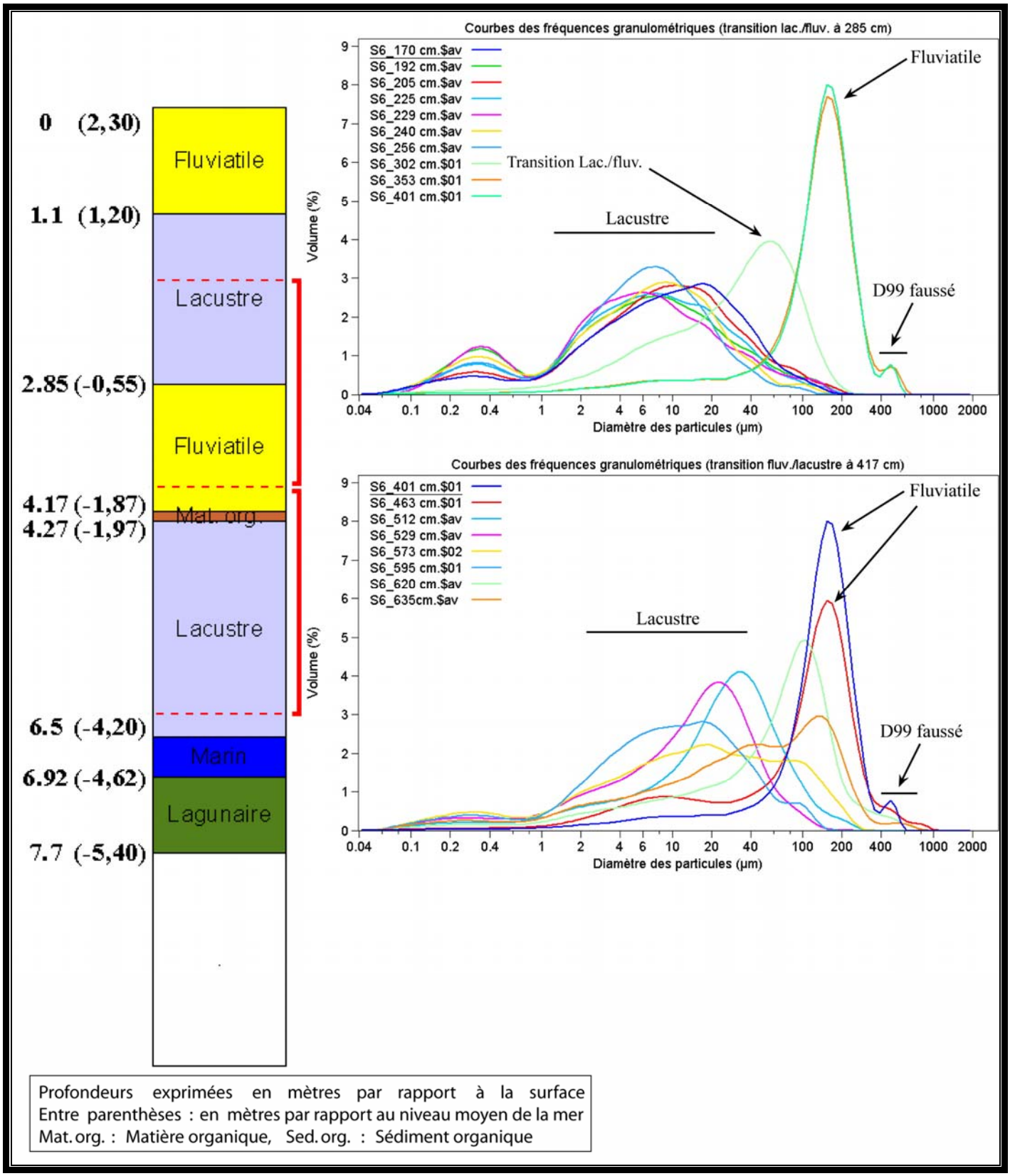


Figure 73 : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S6

Le passage d'un milieu de sédimentation lacustre à fluviatile est caractérisé par des courbes de fréquences granulométriques plurimodales (S6_302 cm est un bon exemple). Si la sédimentation en milieu fluviatile est caractérisée par des courbes de fréquences de type gaussien (unimodal indiquant un bon tri des sédiments), en milieu lacustre, le tri est moins bon. A noter que le D99 se situe à l'extrême droite des graphiques et indique la présence de micas.

c) Les structures sédimentaires en milieu lagunaire

Les sédiments lagunaires présentent une structure généralement influencée par des apports continentaux et marins. Les sondages S2, S3, S4, S5, S6 et S7 révèlent la présence de sédiments lagunaires. Leur épaisseur n'excède pas 0.2 m et présente une variation granulométrique s'échelonnant des argiles aux limons grossiers (2 à 60 µm). Si aucune structure litée n'est visible, des apports ponctuels de sédiments fluviatiles (limons riches en micas) et marins (argiles très plastiques de couleur sombre, plus riches en faune marine) ont été observés.

d) Les structures sédimentaires en milieu marin

Les sédiments marins ont des structures très variées selon leur position par rapport au jet de rive.

Le sondage S2 se caractérise par la présence de dépôts marins de la zone médio-tidale (jet de rive), alternativement immergée puis émergée. L'énergie des vagues (ou courants côtiers) est probablement responsable de la granulométrie élevée : essentiellement des sables très grossiers (de 250 à 1 000 µm). Il n'y pas de structure sédimentaire *stricto sensu* et cela témoigne donc d'une irrégularité dans le mode de dépôt et d'un remaniement constant.

Le sondage S3 montre la présence de structures massives et compactes, de couleur très sombre. Le mode granulométrique indique l'omniprésence d'argiles (taille des particules majoritairement inférieure à 4 µm). Les sédiments sont en milieu totalement immergé, l'identification malacologique (*cf. supra*) permettant de l'attester.

Le sondage S5 révèle la présence de dépôts de plage (zone supra-tidale) particulièrement bien triés (annexe XXV) surmontant des dépôts hétérogènes (remaniements).

Le sondage S6 indique la présence de dépôts marins caractérisés par la présence de sables moyens à grossiers (250 µm). De courts passages argileux, présentant une teinte oxydée, indiquent des influences de sédimentation continentale. Ces dépôts marins surmontent des dépôts lagunaires : la rupture d'un cordon littoral est probablement à l'origine de cette caractéristique. L'influence d'un chenal deltaïque explique peut être aussi la présence de ces courts dépôts argileux.

Le sondage S7 indique une structure sédimentaire en milieu marin non massive présentant des variations granulométriques importantes. Des passages argileux (mode de 2 µm) alternent avec des horizons plus sableux (mode atteignant 300 µm – sables grossiers).

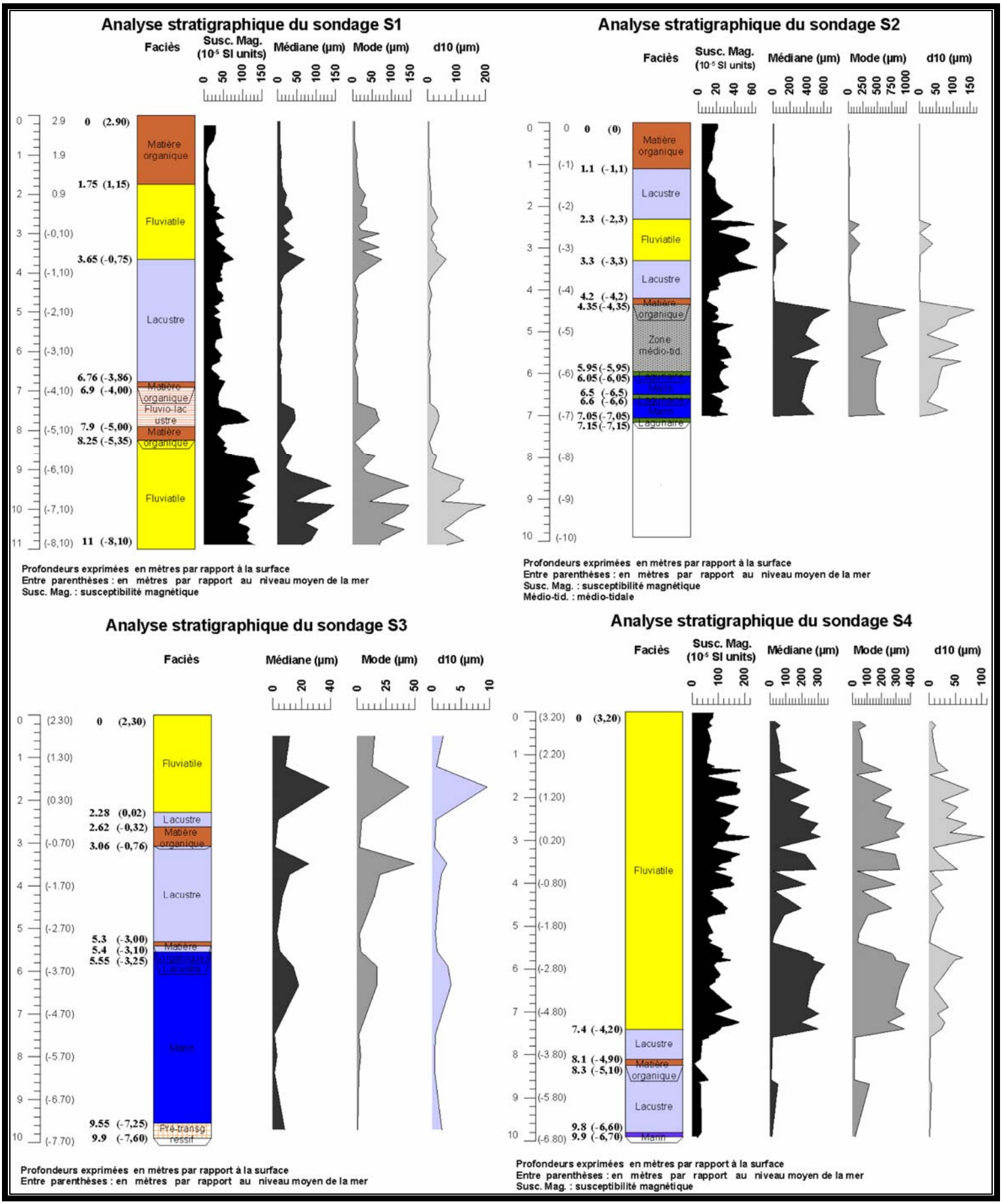


Figure 74 : Analyses stratigraphiques des sondages S1, S2, S3, S4

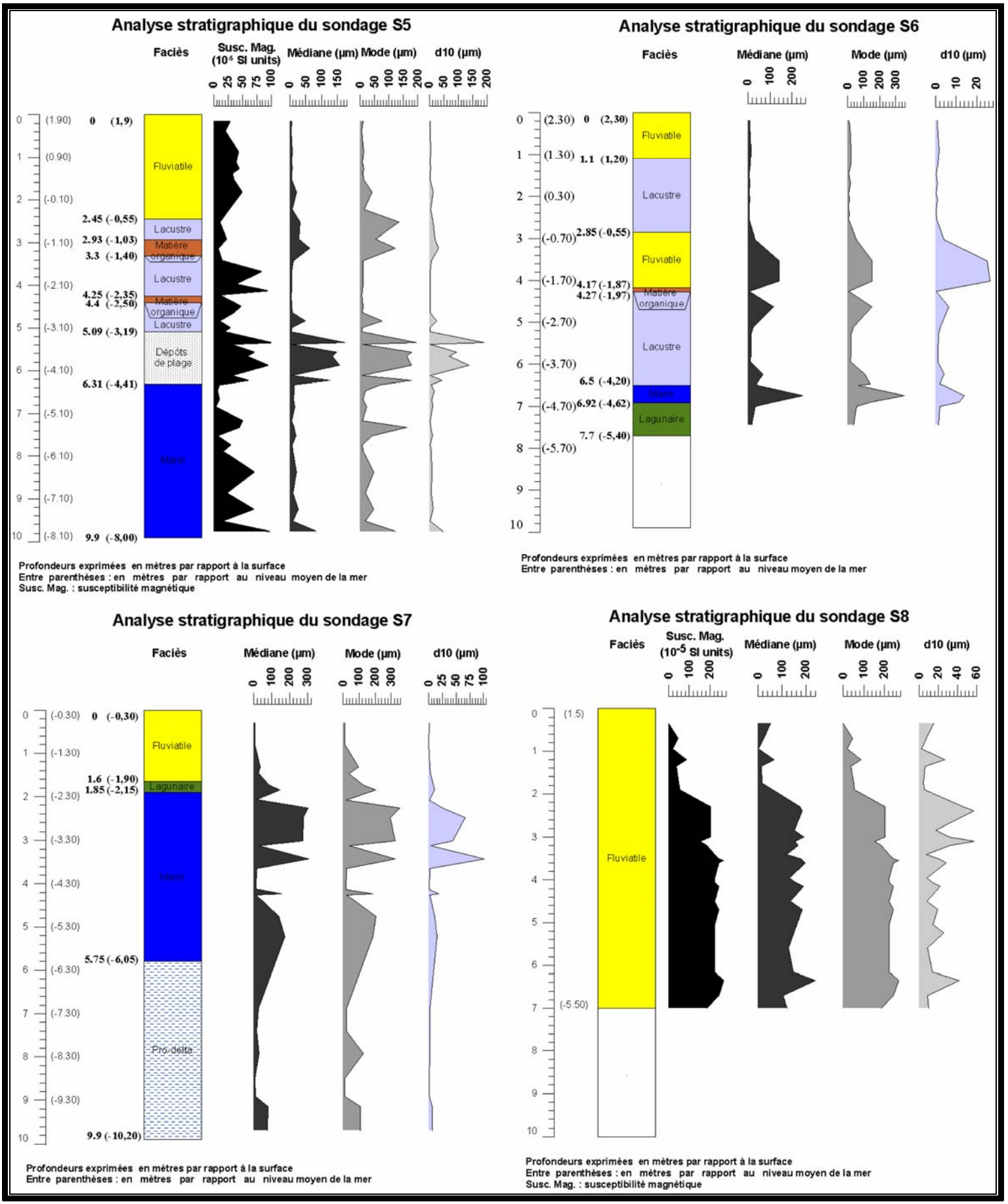


Figure 75 : Analyses stratigraphiques des sondages S5, S6, S7, S8

3.1.3. La susceptibilité magnétique : un traceur important des transferts sédimentaires

3.1.3.1. L'apport de la susceptibilité magnétique aux études paléoenvironnementales

Les études corrélant des analyses granulométriques et de susceptibilité magnétique ont été largement développées depuis le milieu des années 1970 pour distinguer les apports sédimentaires de différentes sources de matériaux, ou de plusieurs bassins versants, dans le but de déterminer l'origine des dépôts détritiques (Thompson & Morton, 1979 ; Oldfield *et al.*, 1989; Walden & Slattery, 1993; David *et al.*, 1998 ; Feïss *et al.*, 2004).

Les propriétés magnétiques des sédiments (encadré 2) varient en effet considérablement avec la taille des particules (Thompson & Morton, 1979; Thompson & Oldfield, 1986 ; Gale & Hoare, 1991 ; Yim *et al.*, 2004), mais aussi avec la taille et la forme des minéraux (Maher, 1988 ; Boar & Harper, 2002). Il semble également que les activités colluviales et alluviales puissent influencer directement les signatures magnétiques, autant que les processus pédogéniques intervenant après les phases de dépôts (Maher, 1986; Anderson & Rippey, 1988; Alvasi & Vigliotti, 1996; Crockford & Wilett, 1997).

Des études ont également révélé que les analyses granulométriques corrélées avec des analyses de susceptibilité reflètent des changements environnementaux importants en relation avec des changements du contexte climatique et avec l'anthropisation du milieu (Bloemendal *et al.*, 1992; Oldfield & Robinson, 1985 ; David *et al.*, 1998).

Le recours à la susceptibilité magnétique a été guidé dans cette étude par la volonté de vouloir différencier les apports sédimentaires des deux fleuves Aliakmon et Axios. Les études sur la question étaient jusqu'alors très limitées (Albanakis *et al.*, 1993). Il a été ainsi nécessaire de sélectionner les sondages pour lesquels des analyses de susceptibilité magnétique et une corrélation granulométrie/susceptibilité magnétique permettraient de distinguer des signatures magnétiques différentes.

Seuls les sondages les plus adaptés à notre problématique (S1, S2, S4, S5 et S8) ont donc été étudiés.

La susceptibilité magnétique est une mesure importante lors d'études paléoenvironnementales car elle peut être réalisée aussi bien sur les roches en place que sur les formations superficielles. Elle est un bon complément aux autres analyses et peut être faite en laboratoire ou sur le terrain. Elle présente également l'avantage de ne pas détruire l'échantillon (Dearing 1999, pp. 6-7).

La mesure de la susceptibilité magnétique a pour but de fournir une indication simple et rapide du contenu de fer dans un échantillon quelconque en mesurant son attraction en réaction à un aimant ou à un champ magnétique (Dearing 1994, p.7).

Il existe cinq différents comportements magnétiques :

Le premier couvre les substances les plus magnétiques comme le fer pur, le nickel, ou le chrome, c'est le ferromagnétisme. Ces substances ont une très forte susceptibilité magnétique mais elles ne sont généralement pas trouvées dans l'environnement. Il est donc important de se poser des questions face à l'obtention de ces résultats.

Le deuxième comportement est nommé antiferromagnétisme. Il couvre les minerais de fer, tel l'hématite, et certains oxydes de fer. La valeur de la susceptibilité magnétique obtenue est plus faible que pour les minéraux ferromagnétiques.

Le troisième comportement est le paramagnétisme. Cette catégorie englobe la plupart des sels et un grand nombre de minéraux contenant du fer, tel la biotite et la pyrite. Les valeurs de susceptibilité magnétique sont similaires ou inférieures à celles de la deuxième catégorie.

Le quatrième comportement est le diamagnétisme. Cette catégorie donne des valeurs de susceptibilité magnétique très faibles et parfois même négatives. Ce groupe inclut plusieurs minéraux qui ne contiennent pas de fer tel le quartz et le carbonate de calcium.

Cette catégorie contient aussi des non-minéraux tel la matière organique, qui constitue **le cinquième** comportement. L'eau et les plastiques en font partie (Dearing 1999, pp. 7-8 et 33).

Finalement, l'interprétation de la susceptibilité magnétique n'est pas simple ; mais s'avère très utile pour corréler les archives sédimentaires et pour faire une étude des changements environnementaux au sein de ces sédiments.

Encadré 2 : Différents types de comportements magnétiques

3.1.3.2. Protocole adopté et matériel utilisé

a) Protocole d'analyse

Pour réaliser les mesures de susceptibilité magnétique, les échantillons analysés en granulométrie ont été réutilisés (prélèvement systématique tous les 5 cm). Un volume de 10 cm^3 de sédiments a été prélevé puis versé dans un récipient en plastique, en prenant soin de laisser le moins d'espace vide possible entre les particules de taille hétérogène.

Pour les sédiments compacts à tendance argileuse, un broyage manuel dans un mortier d'agate a été nécessaire (aucune interférence dans les prises de mesure), afin d'obtenir une texture homogène. Les transferts dans les récipients en plastique ont ensuite été effectués avec des spatules en plastique afin d'éviter toute contamination.

b) Matériel utilisé : Bartington MS2B

Les analyses conduites au Laboratoire de Géographie Physique Pierre Birot (C.N.R.S. / U.M.R. 8591) au sein du département de sédimentologie ont été effectuées grâce à l'utilisation d'un Bartington MS2B (photos 27 & 28, voir tableau 13 pour consulter les caractéristiques techniques). L'avantage de cette technique, en plus d'être non destructrice pour les échantillons prélevés (Lecoanet *et al.*, 1999), est l'obtention très rapide de résultats (quelques secondes).

Résolution	**2 x 10 -6 SI (2 x 10 -7 CGS)[1] avec 0.1 range)**
Temps de mesure	**1.2 secondes avec x1 range** **12 secondes avec x0.1 range**
Fréquence opératoire	**0.465 kHz (LF) and 4.65 kHz (HF)**
Poids	**0.8 kg**
Dimensions	**200 x 110 x 110 mm**

Tableau 13 : Caractéristiques techniques du Bartington MS2B

[1] CGS = Centimètre, Gramme, Seconde (obtenu en divisant les valeurs exprimées en SI par 0.4 ; Dearing, 1999)

Avant chaque série de mesures, un échantillon test (fourni avec le matériel) a été analysé et les mesures des capteurs ainsi vérifiées. La fréquence choisie a été de 0.465 (LF) et le temps de mesure de 12 secondes (range 0.1). 189 échantillons ont été analysés trois fois (χ_{f1}, χ_{f2}, χ_{f3}), puis les résultats obtenus ont été moyennés grâce au logiciel *Multisus* pour Windows®. L'unité de référence est le *Standard International* (*SI*) et les résultats de la susceptibilité magnétique (χ_f) sont exprimés en x 10^{-5} SI. $\chi_f = (\chi_f + \chi_{f2} + \chi_{f3}) / 3.$

Photo 27 : Bartington MS2B

Photo 28 : Bartington MS2B relié à l'instrument de mesure

3.1.3.3. Résultats obtenus

L'analyse systématique des sédiments prélevés tous les 5 cm, a permis d'évaluer l'appartenance des échantillons aux milieux marin, lacustre, fluviatile.

En raison du grand nombre d'échantillons et pour faciliter la lecture, les résultats ont été présentés sous forme de graphiques, juxtaposés avec les profils stratigraphiques et trois indices granulométriques de référence : la médiane, le mode et le D10 (figures 74 et 75).

a) Une forte variabilité des résultats en fonction du milieu de sédimentation

La mise en relation de χ_f et du mode granulométrique permet de mettre en évidence des contrastes entre dépôts d'origine marine (**M**) et ceux d'origine lacustre (**L**) et fluviatile (**F**).

- Milieu de sédimentation marine

Il est utile de rappeler que seuls les sondages S2, S4 et S5 révèlent une phase de sédimentation marine (identification malacologique), contrairement aux sondages S1 et S8 (fluviatile ou fluvio-lacustre).

Les résultats (figure 76) mettent en évidence des valeurs pour χ_f qui s'échelonnent entre 4-5 x 10^{-5} SI pour les valeurs les plus faibles à environ 100 x 10^{-5} SI pour les valeurs les plus élevées. De manière générale, les résultats obtenus sont inférieurs à 30 x 10^{-5} SI et il n'y a pas proportionnalité entre la taille des particules et les résultats obtenus pour χ_f.

On peut cependant distinguer trois groupes assez bien individualisés notés $\mathbf{M_1}$, $\mathbf{M_2}$ et $\mathbf{M_3}$ (figure 74B).

- $\mathbf{M_1}$ comprend des sédiments provenant des sondages S2, S4 et S5 ; il est caractérisé par la présence de particules argileuses et limoneuses, avec un mode granulométrique inférieur à 70 µm. Ces échantillons correspondent à des dépôts purement marins (entièrement immergés) et pour lesquels on observe une signature magnétique peu élevée (la majorité ont des valeurs de χ_f inférieures à 25 x 10^{-5} SI).
- $\mathbf{M_2}$ comprend des sédiments provenant uniquement du sondage S5 et se compose de dépôts de plage (sédiments remaniés), donc exposés à l'air libre. La granulométrie est relativement constante et les valeurs pour le mode sont majoritairement situées autour de

170 µm (sables fins à moyens). Les valeurs pour χ_f sont relativement élevées et sont comprises entre 35 et 95 x 10^{-5} SI.

- **M_3** comprend uniquement des sédiments du sondage S2 (figure 76B) et est composé de sédiments provenant de la zone médio-tidale (région alternativement immergée puis émergée). Le mode indique l'omniprésence de sables grossiers, les valeurs sont comprises entre 450 et 1000 µm. Les valeurs de χ_f sont comparables à celles de **M_1**, en grande partie sont inférieures à 25-30 x 10^{-5} SI.

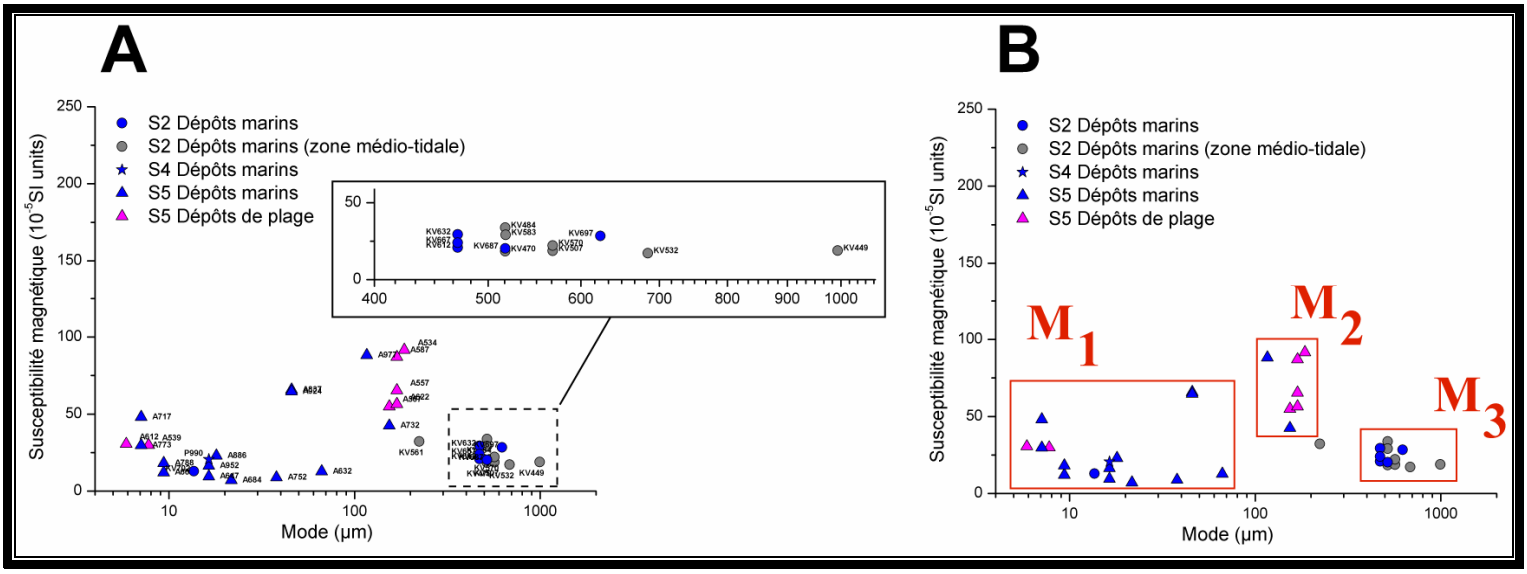


Figure 76 : Résultats obtenus en fonction de la susceptibilité magnétique et du mode granulométrique, en milieu de sédimentation marine

- Milieu de sédimentation lacustre

A l'exception de S8, les sondages S1, S2, S4 et S5 révèlent la présence d'une phase de sédimentation lacustre succédant à une phase de sédimentation marine.

Les premières observations indiquent une certaine homogénéité dans la répartition des échantillons en fonction de χ_f et du mode granulométrique (figure 77). Les sédiments sont majoritairement des argiles et des limons fins (mode compris entre 2 et 35 µm). On constate cependant la présence de sables fins pour les sondages S4 et S5, sans doute à rapporter à des influences fluviatiles. Les signatures magnétiques relevées sont relativement peu importantes et les valeurs de χ_f sont en très grande proportion inférieures à 50 x 10^{-5} SI. Une similitude avec les valeurs obtenues en milieu de sédimentation marine est à remarquer. Néanmoins, on

observe que quelques échantillons provenant des sondages S1 et S4 ont des valeurs pour χ_f supérieures à 50 x 10^{-5} SI.

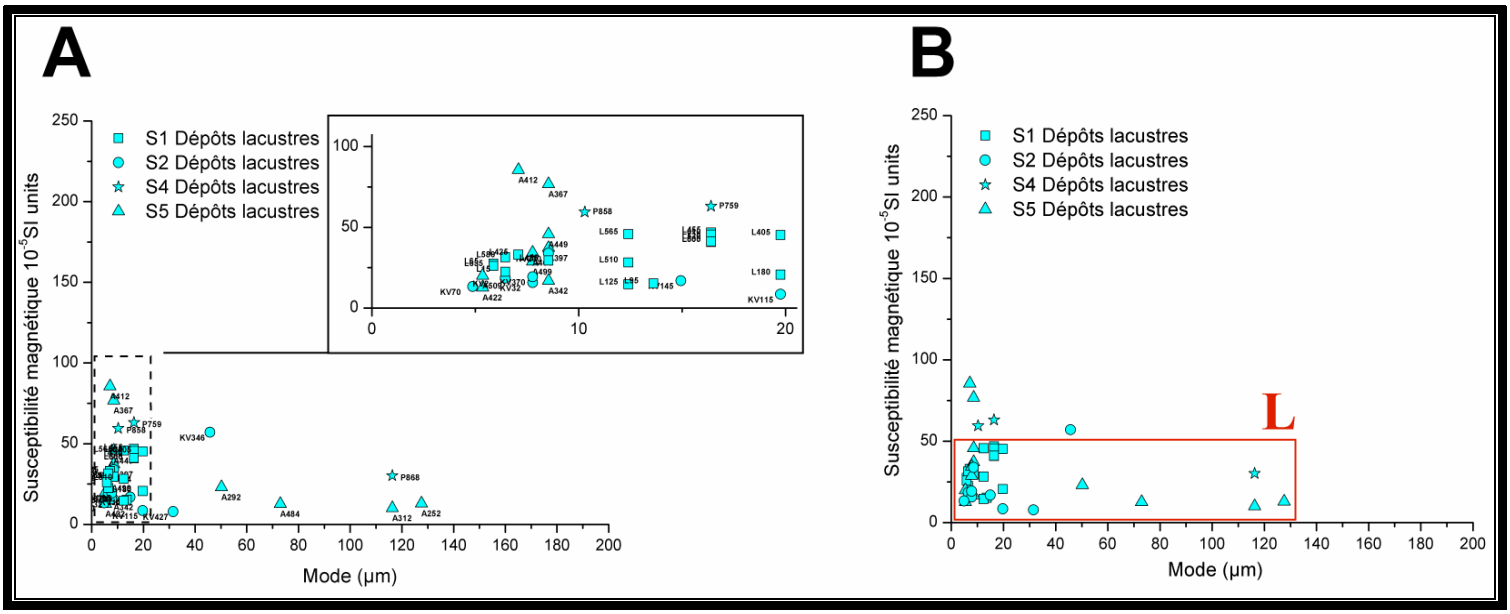


Figure 77 : Résultats obtenus en fonction de la susceptibilité magnétique et du mode granulométrique, en milieu de sédimentation lacustre

Les signatures magnétiques, relativement peu élevées et observées en milieu lacustre, peuvent s'expliquer par la forte teneur en matière organique. En effet, des études ont montré que les sédiments organiques obtenus lors d'une phase de production originelle dans des zones de lac ont des valeurs de χ_f assez faibles, voire même négatives.

Les raisons invoquées pour expliquer ces valeurs faibles proviennent soit d'une dissolution du fer et des oxydes de fer (Hilton & Lishman, 1985; Boar & Harper, 2002) contenus dans les sédiments, soit d'une précipitation du fer dans les nappes phréatiques (Bloemendal, 1982).

- Milieu de sédimentation fluviatile

Les cinq sondages étudiés attestent tous d'une phase de sédimentation fluviatile à leurs sommets. Les données obtenues sont très hétérogènes (figure 78A) et les valeurs pour le mode granulométrique sont comprises entre 2 et 400 µm (argiles à sables grossiers). Les signatures magnétiques indiquent des valeurs comprises entre 10 et 240 x 10^{-5} SI. On note cependant qu'il existe une relation de proportionnalité entre la taille des particules et les valeurs de χ_f.

Comme en milieu marin, trois unités peuvent être distinguées en fonction de χ_f et des résultats obtenus pour le mode granulométrique : **F_1**, **F_2** et **F_3** (figure 78B).

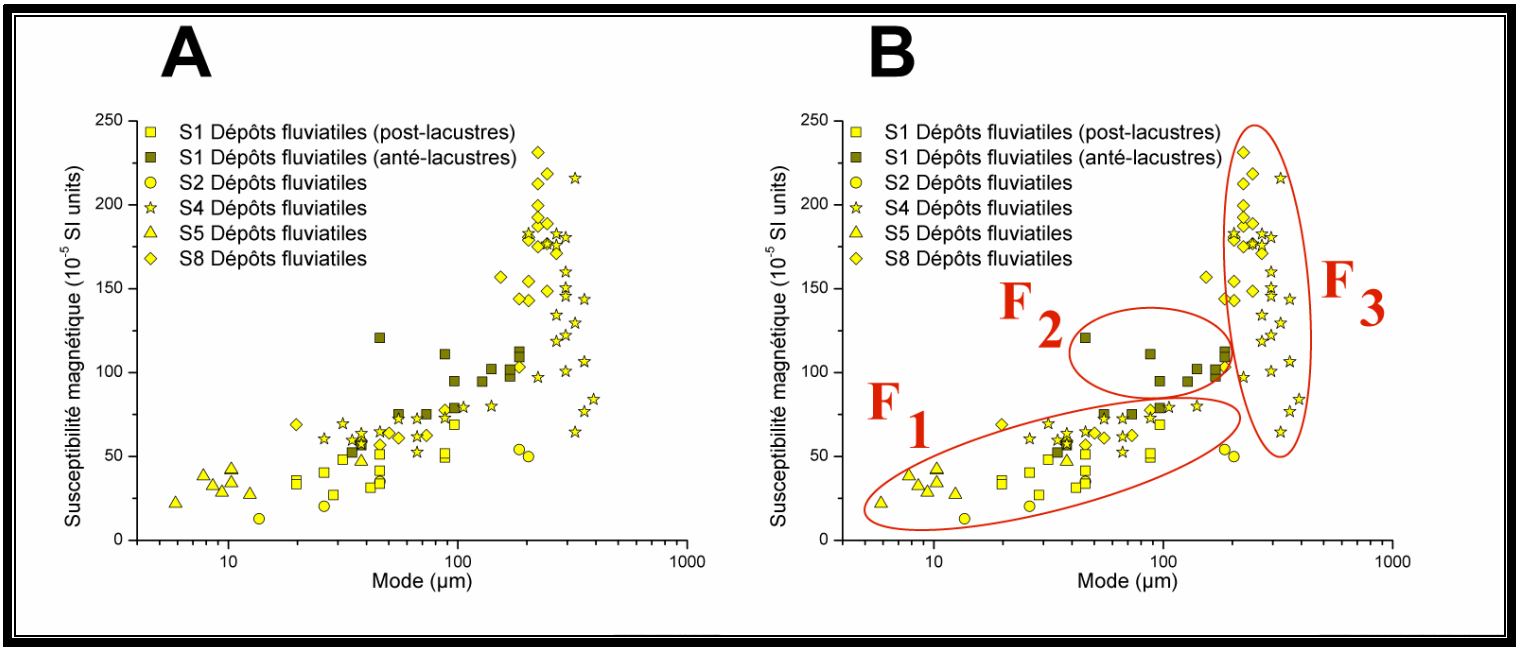


Figure 78 : Résultats obtenus en fonction de la susceptibilité magnétique et du mode granulométrique, en milieu de sédimentation fluviatile

- **F_1** est composée de sédiments issus des sondages S1, S2, S4, S5 et S8. Le mode granulométrique révèle une taille des particules oscillant entre 4 et 150 µm (argiles à sables fins). Les valeurs mesurées pour χ_f sont comprises entre 10 et 70 x 10^{-5} SI. On note une augmentation proportionnelle des valeurs obtenues pour χ_f en fonction de la taille des sédiments essentiellement composés par des dépôts de décantation et de levées alluviales.
- **F_2** est constituée de sédiments provenant uniquement du sondage S1. Ce sont des dépôts fluviatiles observés à la base du sondage, au-dessous des sédiments lacustres. Les valeurs de χ_f sont supérieures à celle observées pour les sédiments fluviatiles post-lacustres de S1 (unité **F_1**), comprises entre 90 et 125 x 10^{-5} SI. Le mode granulométrique indique également des valeurs supérieures à celles observées pour les sédiments fluviatiles post-lacustres de S1 (unité **F_1**), comprises entre 50 et 200 µm (limons grossiers à sables moyens).
- **F_3** est composée de sédiments provenant uniquement des sondages S4 et S8. Le mode granulométrique indique la présence de sables moyens à grossiers (taille variant entre 200 et 450 µm). Les résultats obtenus montrent une grande similitude dans la taille des

particules. Les valeurs pour χ_f sont assez hétérogènes mais relativement élevées, variant entre 60 et 240 x 10^{-5} SI. La taille des particules indique une compétence du cours d'eau beaucoup plus élevée que pour les résultats observés pour **F_1**.

En ne conservant que les sédiments des sondages S4 et S8, il est possible de constater une similitude assez nette lors de la mise en relation du mode granulométrique avec χ_f. Les unités **H_1** et **H_2** se distinguent très nettement (figure 79).

Des analyses de minéraux lourds (d > 2.89), effectuées par séparation au bromoforme (photo 29), ont été pratiquées sur **H_1** (fraction limono-sableuse) et **H_2** (fraction sableuse – sables moyens à grossiers). Ces analyses (figure 79 A et 79B) révèlent des proportions similaires pour S4 et S8 : **H_1** contient 1% de minéraux lourds et **H2** contient 15% de minéraux lourds.

Photo 29 : Séparation au bromoforme des minéraux lourds (d > 2.89) du reste des minéraux

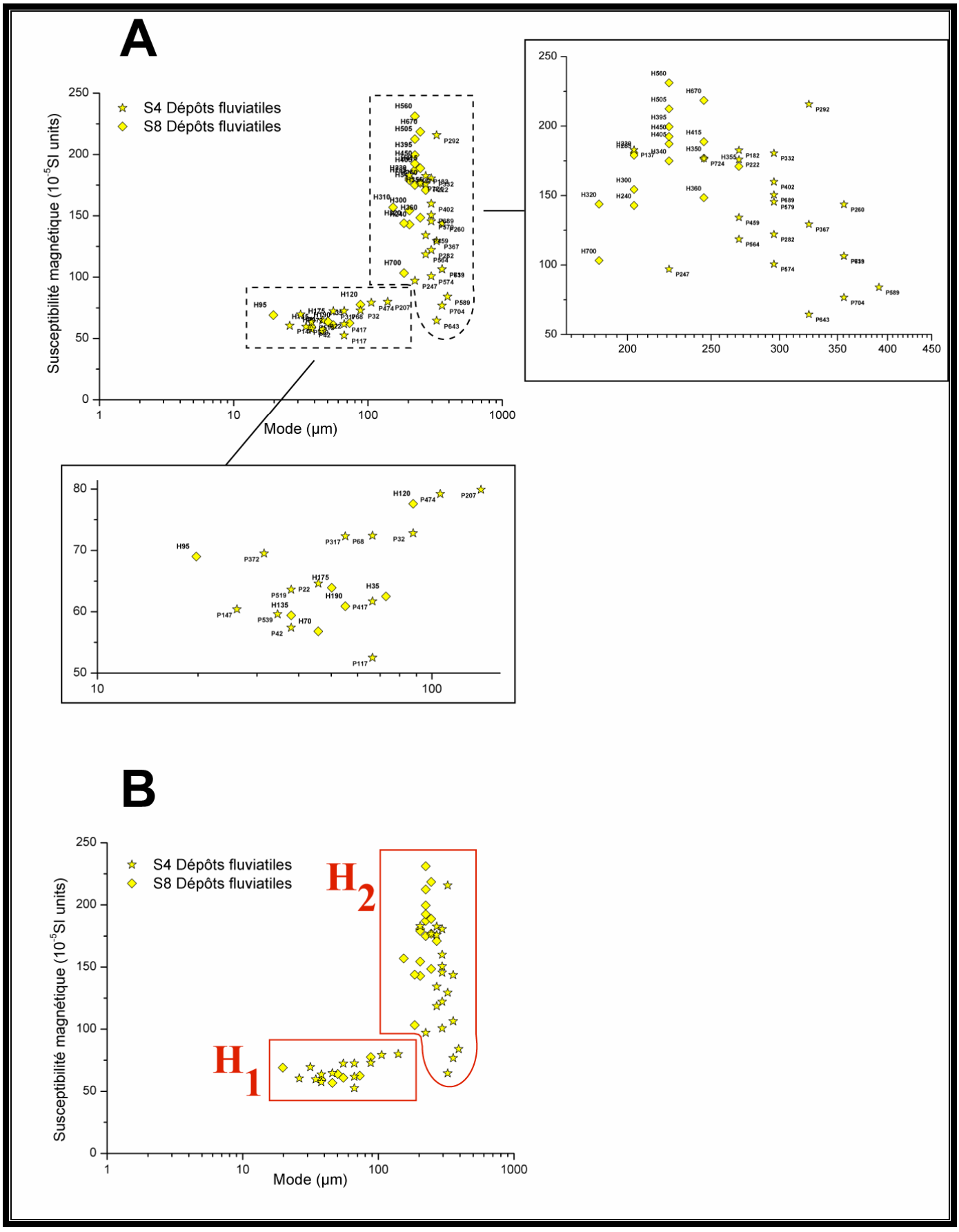


Figure 79 : Résultats obtenus en fonction de la susceptibilité magnétique et du mode granulométrique, en milieu de sédimentation fluviatile pour les sondages S4 et S8

b) Identification des apports de différentes sources sédimentaires

Les apports de différentes sources sédimentaires au sein d'un même bassin versant ont été particulièrement étudiés au milieu des années 1980 (Smith, 1985), puis repris au début des années 1990 (Walden & Slattery, 1993). Les résultats obtenus étaient très significatifs et ont permis de distinguer clairement plusieurs zones d'apports sédimentaires.

En complément du travail qui a été effectué, une méthode très simple pour déterminer différents apports sédimentaires consiste à mettre en relation des fractions granulométriques caractéristiques avec les valeurs de susceptibilité magnétique. Quatre fractions granulométriques ont été définies d'après les paramètres définis pour l'utilisation du granulomètre L.A.S.E.R. (Buurman *et al.*, 1996) : 4.6 µm (limite supérieure des argiles), 20.7 µm (limite supérieure des limons fins), 63.4 µm (limite supérieure des limons grossiers et limite inférieure des sables fins) et 200 µm (limite supérieure des sables moyens).

- Les résultats obtenus pour un pourcentage de particules dont la taille est supérieure à 4.6 µm (figure 80A) indiquent une faible qualité d'identification des différents apports de bassins versants. Il est impossible de distinguer des unités.
- Les résultats obtenus pour un pourcentage de particules dont la taille est supérieure à 20.7 µm (figure 80B) révèlent une faible qualité de séparation entre les différentes sources sédimentaires.
- Les résultats obtenus pour un pourcentage de particules dont la taille est supérieure à 200 µm (figure 80D) indiquent une mauvaise distinction entre les différentes sources sédimentaires. Les raisons reposent sur un faible nombre d'échantillons.
- Les résultats obtenus pour un pourcentage de particules dont la taille est supérieure à 63.4 µm (figure 80C) suggèrent une bonne qualité de séparation des différentes sources sédimentaires. En dessous de 50% de particules dont le mode granulométrique est supérieur à 63.4 µm, la distinction est peu évidente. Néanmoins, on peut constater que les sondages S1 et S5 semblent avoir des caractéristiques similaires. Sur la figure 80C, en dessous de 50% du total de particules d'un échantillon donné, présentant un mode supérieur à 63.4 µm, les valeurs de χ_f sont assez proches. Au-dessus de 50% de particules dont le mode granulométrique est supérieur à 63.4 µm, la séparation est plus franche.

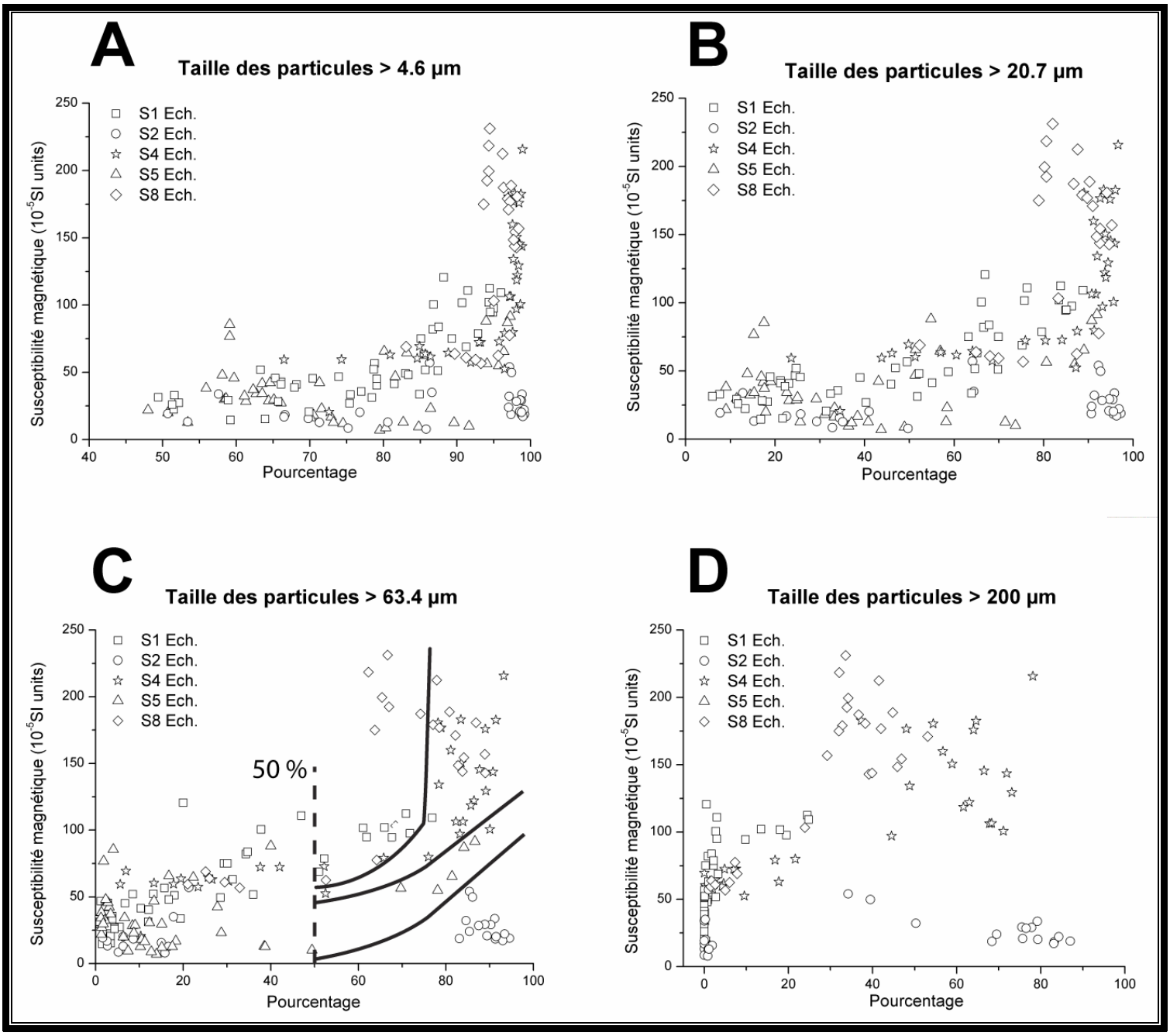


Figure 80 : Concentrations de particules (%) exprimées en fonction de la susceptibilité magnétique et de différentes fractions granulométriques (4, 20.7, 63.4, 200 µm)

Les valeurs de χ_f augmentent proportionnellement avec le pourcentage de particules dont le diamètre moyen est supérieur à 63.4 µm.

4 groupes peuvent être distingués :

- les sédiments prélevés dans le sondage S2 (χ_f < à 50 x 10^{-5} SI),
- les sédiments prélevés dans le sondage S5 (50 < χ_f < 80 x 10^{-5} SI),
- les sédiments prélevés dans le sondage S4 et S8 (80 < χ_f < 240 x 10^{-5} SI),

- les sédiments prélevés dans le sondage S1 semblent également s'individualiser avec des valeurs de χ_f de plus en plus élevées en rapport avec l'augmentation du mode granulométrique.

D'après ce qui précède, plusieurs conclusions peuvent être présentées :

- Chaque milieu de sédimentation possède une signature magnétique caractéristique. Les sédiments marins et lacustres ne présentent pas généralement de fortes valeurs pour χ_f et les données obtenues sont généralement très homogènes. De plus, il n'existe pas de proportionnalité entre l'augmentation de χ_f et la taille des particules.
  Le milieu de sédimentation fluviatile présente au contraire une très forte hétérogénéité pour le mode granulométrique en relation avec χ_f ; on observe généralement une proportionnalité entre l'augmentation de la taille des particules et les valeurs de χ_f.

- Le milieu de sédimentation fluviatile permet donc de distinguer assez clairement les apports de différentes sources sédimentaires (bassins versants).

- La distinction de plusieurs fractions granulométriques (4.6, 20.7, 63.4, 200 µm) permet d'identifier clairement les différentes sources sédimentaires, quel que soit le milieu de sédimentation. Les fractions argileuses, limoneuses et sableuses (sables grossiers) présentent une faible qualité de séparation alors que la fraction limono-sableuse (63.4 µm) indique une bonne qualité de distinction des apports.

- Les sondages S4 et S8 présentent des signatures magnétiques similaires pour une même granulométrie donnée. La proportion de minéraux lourds (d > 2.89) est identique pour les fractions sableuse de S4 et de S8 ($\mathbf{H_2}$ =15%) et limoneuse de S4 et de S8 ($\mathbf{H_1}$ = 1%). Il est fort probable que les sédiments provenant de ces deux sondages soient les mêmes, en l'occurrence le bassin versant de l'Axios.

- Les sondages S1 et S5 semblent avoir également des caractéristiques similaires. Sur la figure 79C, en dessous de 50% du total de particules d'un échantillon donné, présentant un mode supérieur à 63.4 µm, les valeurs de χ_f sont assez proches.

- Il semble que les sédiments provenant du sondage S2 aient des caractéristiques distinctes des autres unités.

- L'utilisation de paramètres magnétiques (S.I.R.M. et A.R.M.) devrait permettre de ppréciser la composition minéralogique de $\mathbf{H_1}$ et $\mathbf{H_2}$ (figure 78).

3.1.4. Les marqueurs biologiques : utilisation pour la datation absolue par le radiocarbone

L'utilisation des marqueurs biologiques (mollusques, dépôts de matière organique, sédiments organiques, etc.) est largement adoptée dans les études paléoenvironnementales pour établir la chronostratigraphie des faciès sédimentaires. 17 échantillons ont été prélevés puis envoyés pour analyse au laboratoire de datation par le radiocarbone de Lyon (1 échantillon), au laboratoire de datation de Poznan (14 échantillons) et à Gyf Sur Yvette (2 échantillons). Les résultats sont présentés sur le tableau 14 et les figures 81 et 82.

L'absence de marqueurs archéologiques dans les archives sédimentaires étudiées ne permet pas de confronter les datations absolues et relatives.

3.1.4.1. Sélection des échantillons

Pour dater les différents faciès sédimentaires, la sélection des échantillons s'est appuyée sur le prélèvement de mollusques marins morts dans le milieu de vie (non remaniés par l'action des vagues) et de dépôts de matière organique (sédiment organique) provenant du milieu de vie lacustre.

3.1.4.2. Calibration des datations

Le logiciel de calibration Intcal04.14c (Stuiver *et al.*, 2006) a été utilisé pour calibrer les 17 échantillons prélevés (Reimer *et al.*, 2004 ; Hughen *et al.*, 2004).

La correction de l'âge réservoir marin a été prise en compte dans les calculs pour les mollusques marins (Siani *et al*., 2000 ; Reimer & McCormac, 2002). Il est également acquis que la correction de l'âge réservoir marin varie sensiblement en fonction du milieu de vie dans lequel ont été prélevés les échantillons (Vött, 2007). En l'absence de marqueurs archéologiques datables dans les sondages analysés, il est très difficile de livrer une correction précise. Les 402 ans généralement attribués (Vött, 2007) semblent surestimés pour le présent secteur d'études en raison des apports en eau douce très importants délivrés par les cours d'eau et des rapides changements de milieux de vie (marin, lagunaire, saumâtre, lacustre).

Sondage n°	Profondeur par rapport au niveau moyen de la mer (m)	Matériel daté	Méthode de datation	Code laboratoire	δ13C	Age (14C BP)	±	Cal. BC / AD (1σ max/min)[1]
S1	2.35	Sédiment organique	AMS	Poz-16762	-18,8	8400	50	7570 - 7353 BC[2]
S2	3.80	Matière organique (partie inférieure)	AMS	Poz-16759	-26,8	3605	35	2039 BC - 1883 BC[2]
S2	5.50	Mollusque marin (*Cyclope neritea)*	AMS	Poz-14362	-43,9	4735	35	2993 BC - 2677 BC[3]
S2	6.05	Mollusque marin (*Cerastoderma edule)*	AMS	Poz-14363	-20,3	4995	35	3294 BC - 3113 BC[3]
S3	0.55	Matière organique (partie inférieure)	AMS	Poz-16763	-28,1	2090	35	201 BC - 37 BC[2]
S3	3.40	Mollusque marin (*Cerastoderma edule)*	AMS	Poz-14366	-9,7	4985	35	3281-3097 BC[3]
S3	5.15	Mollusque marin (*Cerastoderma edule)*	AMS	Poz-14368	0,1	4920	35	3183 BC - 2975 BC[3]
S3	6.45	Mollusque marin (*Modiolus)*	AMS	Poz-16092	3	5730	35	4083 BC - 3947 BC[3]
S4	4.50	Matière organique (partie inférieure)	AMS	Poz-16764	-23,3	1950	35	5 AD - 82 AD[2]
S4	6.15	Mollusque marin (*Cyclope neritea)*	AMS	Poz-16091	-0,5	5100	40	3454 BC - 3281 BC[3]
S5	1.22	Matière organique (partie inférieure)	AMS	Poz-16831	-23,2	900	30	1046 AD - 1183 AD[2]
S5	2.42	Matière organique (partie inférieure)	AMS	Poz-16758	-20,3	2480	30	769 BC - 503 BC[2]
S5	5.08	Mollusque marin (*Cerastoderma edule)*	AMS	Poz-14364	-0,7	5190	35	3497 BC - 3367 BC[3]
S6	4.35	Mollusque marin (*Cerastoderma edule)*	AMS	CEN-002661	-3,1	3390	45	1205 BC - 1018 BC[3]
S6	4.58	Mollusque marin (*Cerastoderma edule)*	AMS	CEN-002662	-5,3	3400	45	1220 BC - 1033 BC[3]
S6	4.70	Mollusque marin (*Cerithium vulgatum)*	Conventionnelle	Ly-13243	-1,58	3900	70	1823 BC - 1648 BC[3]
S7	3.37	Mollusque marin (*Cyclope neritea)*	AMS	Poz-14365	-1,3	2855	30	520 BC - 379 BC[3]

Tableau 14 : Résultats des datations par le radiocarbone

[1] Logiciel de calibration Intcal04.14c, d'après Stuiver & Reimer, 1993
[2] Reimer *et al.*, 2004
[3] Hughen *et al.*, 2004

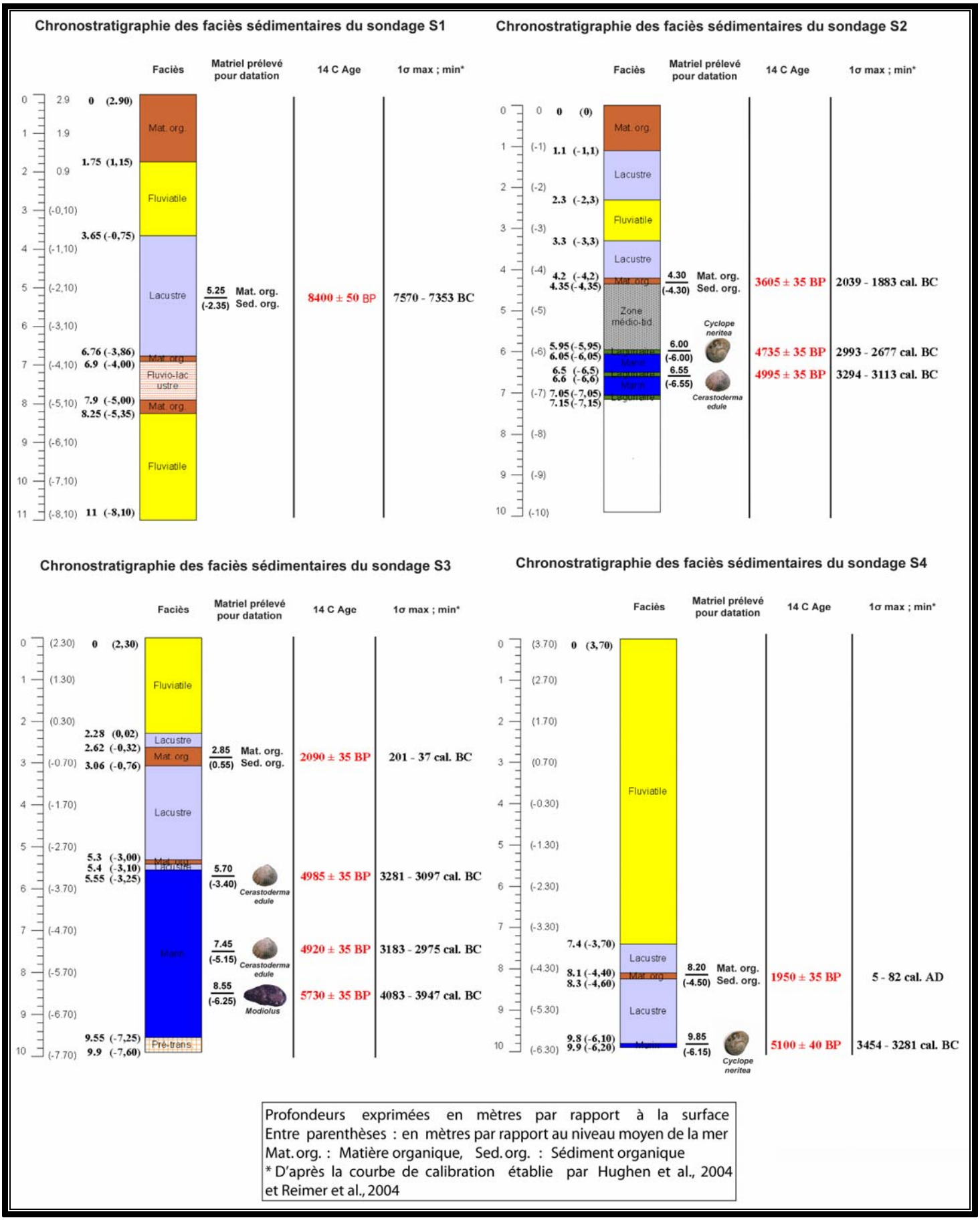


Figure 81 : Chronostratigraphie des faciès sédimentaires des sondages S1, S2, S3, S4

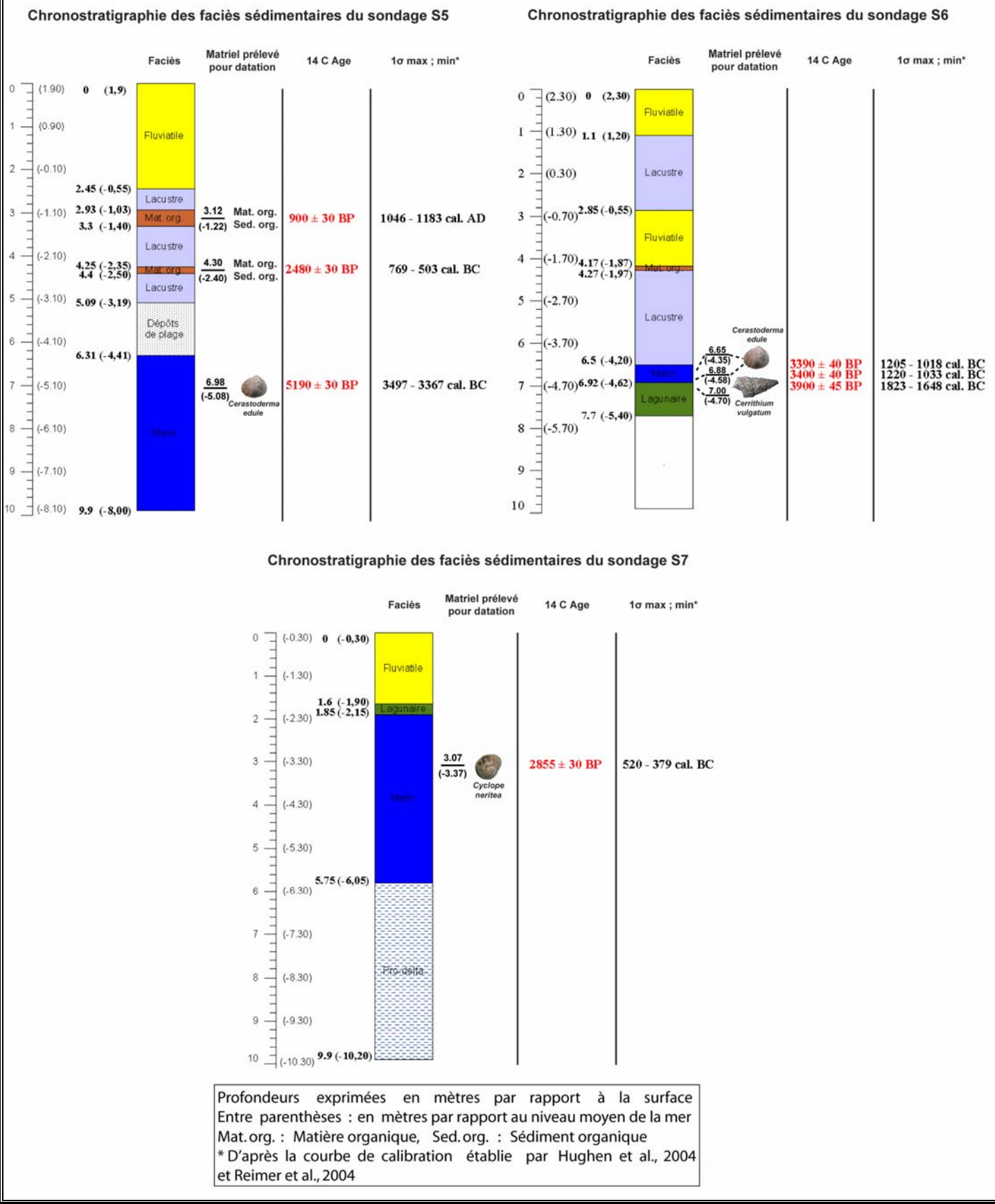


Figure 82 : Chronostratigraphie des faciès sédimentaires des sondages S5, S6, S7

CONCLUSION

L'identification de différents milieux, marin, lagunaire, lacustre et fluviatile, s'est appuyée sur l'identification malacologique et a mis en valeur le passage progressif d'un milieu marin à un milieu continental. Les apports liquides et solides des fleuves sont responsables de ce changement environnemental (baisse progressive de la salinité) en contexte de progradation deltaïque.

La granulométrie des sédiments a ensuite permis de qualifier les sédiments de marins, lacustres, palustres et fluviatiles.

Le recours à la susceptibilité magnétique a induit les apports de deux bassins versants principaux : ceux de l'Aliakmon et de l'Axios. La variété géologique et la nature pétrographique des roches, qui constituent leur bassin versant, ont engendré des signatures magnétiques différentes.

Le secteur proche de Pella a été colmaté par des apports détritiques provenant en grande partie de l'Axios, alors que l'essentiel de la plaine de Macédoine semble avoir bénéficié des sédiments de l'Aliakmon, du moins dans sa partie centrale.

La datation par le radiocarbone permet de préciser l'évolution morphologique de la plaine opérée pendant les six derniers millénaires (Holocène récent).

La difficulté d'interpréter spatialement les données ponctuelles obtenues peut être résolue grâce à l'établissement de transects reprenant les faciès sédimentaires des différents sondages. L'utilisation des données numériques, en particulier l'imagerie satellitaire, favorise l'observation de formes vives (chenaux actuels, position du trait de côte) et de formes héritées (paléochenaux, méandres abandonnés, anciennes levées alluviales, stade lacustre ou palustre). L'étude topographique qui nécessite à l'échelle d'une plaine deltaïque de disposer de données altimétriques précises doit ensuite permettre de définir le sens général d'avancée du trait de côte et de distinguer les paléochenaux de chaque cours d'eau.

Chapitre 2 : interprétation spatiale des données de laboratoire

INTRODUCTION

Les résultats obtenus en laboratoire grâce aux analyses malacologiques et sédimentologiques ont contribué à reconstituer localement les milieux de sédimentation de l'actuelle plaine de Thessalonique.

Cependant, compte tenu de la superficie du secteur d'études, une interprétation régionale uniquement fondée sur les sondages apparaît comme assez délicate.

Afin de reconstituer une évolution générale de la plaine de Thessalonique, des transects ont dans un premier temps tenté d'établir des relations entre les différents milieux de vie et de sédimentation. Le premier de direction W-E tient en compte les sondages S2, S3, S4 et S5 et le second transect d'orientation NW-SE comprend les sondages S3, S5, S6 et S7. Ces deux coupes partent du piémont du Païkon vers le trait de côte actuel et couvre partiellement l'ancien lac de Giannitsa.

Dans un second temps, des données numériques associant le traitement d'images satellites et l'apport d'informations topographiques de grande précision ont été exploitées pour caractériser les différentes formes héritées observées sur le terrain et sur les cartes topographiques. L'identification de formes continentales héritées associées à chacun des cours d'eau drainant actuellement la plaine et des formes littorales (paléodelta) induites par les paléodynamiques fluviales a favorisé une interprétation spatiale des apports sédimentaires de l'Aliakmon et de l'Axios.

Le recours à ces techniques permet ainsi de pallier au manque de données ponctuelles et favorise une extrapolation évolutive de la plaine. Les apports des bassins-versants ont ainsi pu être également modélisés.

L'interprétation spatiale des données acquises en laboratoire doit aboutir à une reconstitution paloégéographique précise de la plaine de Macédoine centrale.

3.2.1. Interprétation spatiale à partir des données biostratigraphiques et des datations absolues

L'étude des échantillons prélevés dans les sondages offre une vision ponctuelle des séries sédimentaires. L'établissement de transects, destiné à la comparaison et à la mise en relation de différents faciès, fournit également une vision tridimensionnelle des milieux de sédimentation. Cette technique, basée sur l'extrapolation des données est largement utilisée dans l'étude des plaines deltaïques et à une échelle plus large des régions côtières, la littérature abondante sur la question reflète leur large utilisation (*cf. introduction 3e partie*).

3.2.1.1. Transect 1 (sondages S2, S3, S4, S5): une progradation deltaïque observée de l'ouest vers l'est

Le transect 1 (figure 83), long de 20 km utilise les données des sondages S2, S3, S4 et S5 et se localise au pied du massif du Païkon et de la ville de Pella. La coupe est globalement orientée W-E entre S2 et S4 (distance de 12 km) et NNE-SSW entre S4 et S5 (distance de 8 km).

L'étude des données paléoenvironnementales et les datations par le radiocarbone révèlent une occupation générale par la mer entre 4 000 et 2 500 av. J.-C. Progressivement, en raison d'importants apports de sédiments et d'eau douce, le trait de côte avance dans le golfe Thermaïque et des conditions lagunaires s'installent entre 2 500 et 2 000 av. J.-C. Une occupation lacustre s'installe ensuite entre 2 000 av. J.-C. et environ le IIIe siècle ap. J.-C. D'importants apports fluviatiles, de l'Axios notamment, contribuent à la réduction de l'étendue lacustre au pied de Pella. Enfin, très récemment (depuis le XVIIIe siècle ?), une nouvelle étendue lacustre, ou plus vraisemblablement une zone de marais peu profonds, s'est installée pour disparaître à la suite des aménagements réalisés dans les années 1930 (*cf. première partie, chapitre 1*). Il convient ici de détailler le transect 1 pour livrer une évolution spatio-temporelle précise du secteur central de la plaine.

a) Une extension marine jusqu'au pied du massif du Païkon

Tous les sondages indiquent la présence d'un milieu de vie marin. La densité de mollusques marins est plus forte au centre et au nord de la plaine actuelle qu'à l'ouest ; il semble que dans ce dernier secteur les limites de l'extension marine au cours de l'Holocène

récent soient atteintes à l'emplacement du sondage S2. La présence de colluvions (graviers anguleux) et l'appauvrissement en marqueurs biologiques supposent un milieu relativement confiné et très fortement influencé par des apports réguliers d'eau douce. Un ancien tracé de l'actuel fleuve Loudias (?) est probablement responsable de ces apports liquides et solides. Il est possible de l'affirmer en observant les signatures en susceptibilité magnétique relevées (inférieures à 50×10^{-5} SI). La faible teneur en minéraux ferromagnétiques s'explique par la composition pétrographique du massif du Païkon, d'où est issu le Loudias. En effet, les roches contenues dans la partie amont du bassin-versant sont composées majoritairement de roches carbonatées (calcaires dolomiques). Les concrétions carbonatées de taille millimétrique observée renforcent cette hypothèse. La fin de l'occupation marine pour S2 est datée de 3 000 av. J.-C. environ.

Au centre de la plaine, à proximité des sondages S3 et S5, la très forte proportion de mollusques marins indique un milieu de vie franchement marin dans lequel les fluctuations de salinité n'ont que faiblement influencé, semble-t-il, la densité et la variété des espèces marines. Les apports continentaux ont certainement une influence moindre que pour S2. L'avancée du trait de côte se serait produite aux alentours de 3 000 – 2 500 av. J.-C. Le sondage S4, localisé à seulement 4 km au SE de Pella indique un retrait très ancien de la mer et la mise en place d'un stade lagunaire, comme la datation de 3 300 av. J.C. environ le suggère.

Le milieu de vie marin est soumis à des apports continentaux qui ne cessent de modifier les fonds et de diminuer la salinité du milieu. Progressivement, des conditions lagunaires se mettent en place.

b) Un court stade lagunaire consécutif au retrait de la mer

Le recul du trait de côte se fait assez rapidement du nord vers le sud et de l'ouest vers l'est. Une courte phase d'occupation lagunaire (300 ans au maximum) est attestée par la présence de mollusques caractéristiques et peut être datée entre 2 800 et 2 500 av. J.-C. Il faut également noter que des ruptures occasionnelles de cordons littoraux sont probablement à l'origine de nouvelles invasions marines ; le sondage S2 est à ce sujet très indicateur : en effet, trois courtes phases d'occupation lagunaire sont identifiées et alternent avec de brèves occupations marines de forte énergie (origine certaine de la rupture du cordon).

c) Une sédimentation lacustre de grande ampleur et une extension spatiale de l'ouest vers l'est de la plaine

A partir de 1 800 av. J.-C. environ, dans le secteur proche du sondage S2, une lagune se serait installée avant de laisser place à un lac. Les dépôts de matière organique indiquent globalement des profondeurs assez faibles au sein desquelles la malacofaune a du mal à se développer. Il faut peut être voir ici l'influence d'eau saumâtre sur la faune et la flore aquatiques. Le sondage S4 révèle également une occupation lacustre, assez longue dans le temps, entre 2 700 av. J.-C. et le III^{e} siècle ap. J.-C. La faible épaisseur des sédiments lacustres correspond à une phase de calme dans la sédimentation (faible variabilité de la granulométrie des dépôts).

Les sondages S3 et S5 indiquent une occupation lacustre plus tardive que pour S2 et pour S4 en raison d'une progression de l'ouest vers l'est et du nord vers le sud. Cependant il semble que pour S3, le stade lacustre disparaisse plus rapidement que pour S5. Au sommet du niveau de sédimentation lacustre de S3, une datation nous indique que l'étendue lacustre disparaît du paysage dans le secteur au III^{e} siècle av J.-C. S5 indique pour sa part un stade lacustre entre 1 000 av. J.-C. et 1 200 ap. J.-C. environ et constitue le seul sondage qui établit la persistance d'une occupation lacustre vers 1 200 ap. J.-C.

d) D'importants apports fluviatiles grossiers finissent par combler partiellement la cuvette lacustre de la plaine

Le comblement progressif de la vaste étendue d'eau douce qui occupait le centre de la plaine, se déplaçant progressivement de l'ouest vers l'est, a été favorisé par les apports détritiques de plusieurs fleuves.

Les analyses de susceptibilité magnétique réalisées sur les sédiments provenant de S1 ont révélé la forte influence d'un cours d'eau provenant d'un secteur à forte présence de roches carbonatées (un ancien tracé des cours du Loudias ou du Gramos actuel ?).

S4 a montré pour sa part d'importants apports du fleuve Axios : l'épaisseur des dépôts y atteint plus de sept mètres en moins de 2 000 ans (un exhaussement des terrains de 35 cm par siècle).

Les analyses sédimentologiques effectuées sur le sondage S5 révèlent des apports détritiques à faible teneur en minéraux ferromagnétiques, il ne peut donc s'agir de sédiments transportés par l'Axios mais plutôt charriés par l'Aliakmon. Il faut cependant noter que

certains dépôts lacustres analysés pour S5 incluent des minéraux ferromagnétiques dont la signature en susceptibilité est caractéristique des sédiments de l'Axios. Y-aurait-il eu un défluent de l'Axios dans ce secteur ? Les analyses le suggèrent fortement et seules les informations extraites du traitement des différents supports satellitaires pourront apporter des éléments complémentaires de réponse. Il convient également d'évoquer un possible remaniement des sédiments de l'Axios par transport côtier dans un contexte de progradation deltaïque.

e) Un nouveau stade lacustre-palustre (à partir du XVIII^e^ siècle ?)

Une étendue lacustre de faible profondeur dans la partie centrale de la plaine (S3 et S5) et de plus grande importance à l'ouest (S2) s'installe probablement au cours des derniers siècles (au XVIII^e^ siècle ?) et y dépose les sédiments les plus récents des sondages S1[1] et S2 (*cf. supra,* dépôts de matière organique). Les travaux d'assèchement du lac de Giannitsa dans les années 1930 ont contribué au drainage de l'intégralité de ses eaux vers la mer. De nos jours, les sols sombres (riches en matière organique) témoignent encore de cette occupation (S1 et S2).

En l'absence de datation de cet épisode lacustre, il faut se reporter aux récits de voyageurs et aux cartes pour en extrapoler les limites précises (Leake, 1835 ; Ancel, 1930 ; figures 66 et 67). Il semble d'ailleurs que S1 et S2 aient été réalisés dans la partie la plus profonde du lac de Giannitsa et que vers l'est, le lac soit auréolé de marécages peu profonds (Cousinéry, 1831 ; Delacoulonche 1859).

[1] Le sondage S1 n'a pas été inclus au transect 1 en raison de son éloignement géographique et de ses caractéristiques sédimentaires particulières (phases d'occupation lacustre et fluviatiles uniquement)

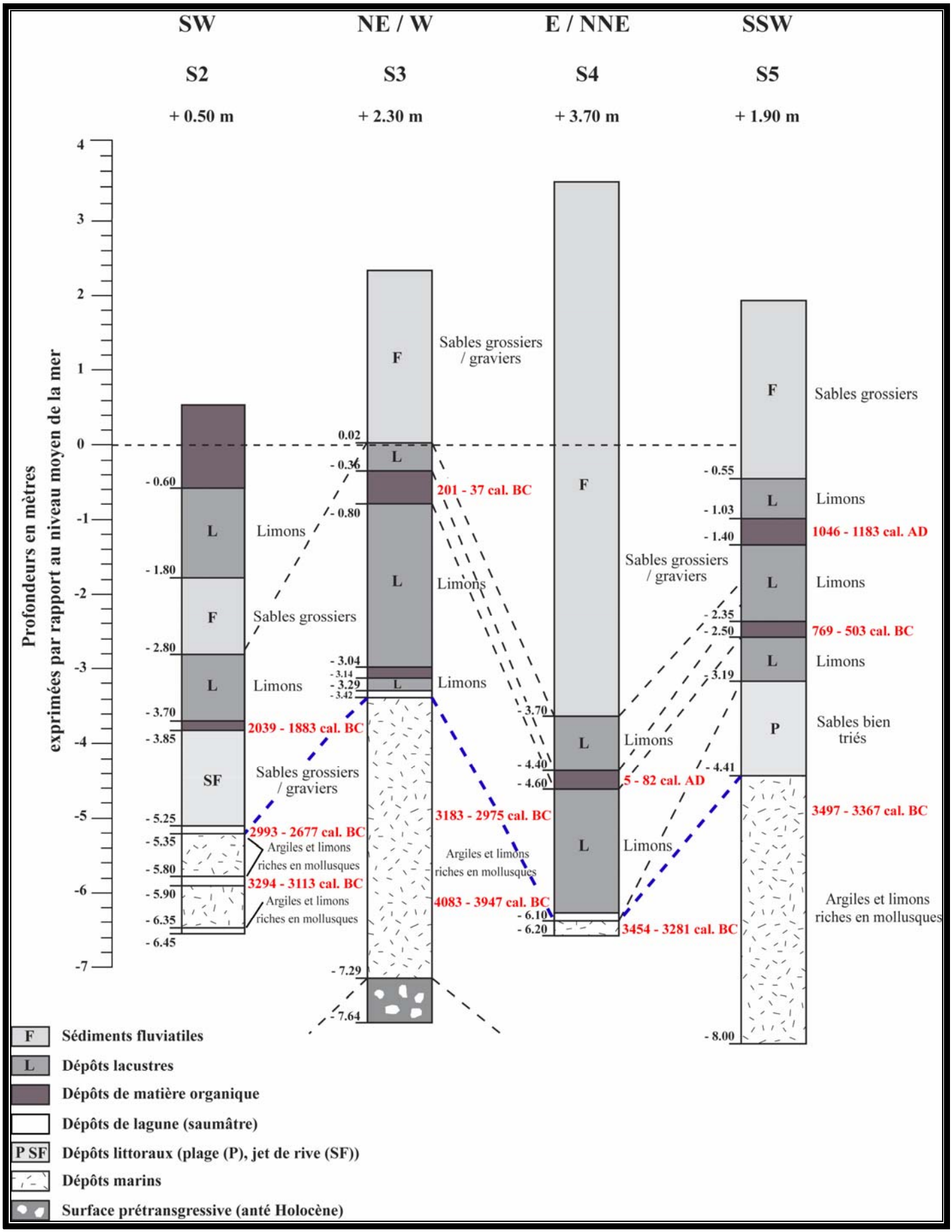


Figure 83 : Transect 1 (Sondages S2, S3, S4 et S6)

3.2.1.2. Transect 2 (sondages S3, S5, S6, S7) : une progradation deltaïque également mise en évidence du nord vers le sud

Le transect 2 (figure 84) long de 26 km et orienté NW-SE est défini par les sondages S3, S5, S6 et S7 et se localise approximativement entre la ville de Pella et la partie distale du delta de l'Aliakmon.

Le transect 1 a révélé le retrait progressif de la mer de l'ouest vers l'est ; le transect 2 permet de constater et de confirmer une avancée du trait de côte du nord vers le sud.

La mer se retire de la région de Pella vers 3 000 av. J.-C. (comme indiqué pour le transect 1, cf. *supra*). S6 indique que le passage d'un milieu marin à un milieu continental s'effectue vers 1200 av. J.-C. tandis que dans le secteur de S7, la transition s'opère vers 100 av. J.-C. En 3 000 ans le retrait de la mer s'effectue rapidement sur 25 km environ (un retrait de 8 m par an). L'importante phase de sédimentation lacustre révélée par l'étude du transect 1 est confirmée sur le transect 2. Cependant, il semble que l'extension spatiale se prolonge de quelques kilomètres au sud du sondage S6.

a) Un retrait rapide de la mer du nord vers le sud

Dans le but d'éviter toute redondance avec l'étude du transect 1, il convient de se concentrer plus particulièrement sur les sondages S6 et S7. L'étude de ces derniers indique un milieu de vie marin peu profond, fortement influencé par les apports d'eau douce.

La faible densité et le type de mollusques identifié permettent de confirmer cette hypothèse. Les études sédimentologiques indiquent aussi clairement la proximité d'un chenal deltaïque à proximité du sondage S6 : les nombreuses lentilles argilo-limoneuses de couleur ocre renforcent l'idée d'un alluvionnement intense. La mer se retire dans le secteur vers 1 200 av. J.-C. Le sondage S7, localisé dans la partie distale du delta de l'Aliakmon, indique un retrait définitif de la mer vers 100 av. J.-C. (extrapolation du résultat obtenu par datation). Depuis cette époque, la progression du trait de côte a considérablement ralenti, puisque S7 n'est localisé qu'à 8 km du rivage actuel du golfe Thermaïque. Aucune avancée significative du trait de côte pendant la période ottomane n'est attestée, alors que les études régionales prouvent une progradation deltaïque marquée dans d'autres zones deltaïques de Méditerranée orientale, (Fouache, 1999, 2006 ; Brückner, 2005).

b) Une lagune de très grande ampleur dans la partie distale du delta de l'Aliakmon

Les analyses malacologiques réalisées sur le sondage S6 indiquent la présence d'un milieu de vie lagunaire important. Les variations granulométriques soulignent l'alternance de particules argileuses et limoneuses et témoignent donc d'apports fréquents en eau douce. Le milieu saumâtre permet à certaines espèces de se développer dans des conditions de salinité fluctuante et en eau peu profonde : c'est le cas du gastéropode de type *Cerithium vulgatum* de taille optimale (4 cm de long).

Le milieu lagunaire semble ensuite se déplacer progressivement vers le sud et le sondage S7 atteste d'une occupation lagunaire, relativement brève, à partir de 100 av. J.-C.

c) Un stade lacustre restreint

La progression vers l'est du stade lacustre observée sur le transect 1 se poursuit sur le transect 2. L'extension est révélée d'après l'identification de la malacofaune effectuée sur le sondage S6. On peut cependant noter deux épisodes lacustres : le premier succède à l'occupation lagunaire et s'inscrit dans un contexte d'évolution morphologique régionale et a atteint son extension maximale à partir de 1 000 av. J.-C. ; malheureusement aucune datation n'a permis de révéler la fin de cet épisode. Des apports sédimentaires d'origine fluviatile viennent ensuite colmater le lac, comme cela a d'ailleurs été observé sur le transect 1. Ces dépôts sableux, très bien triés, indiquent une activité d'alluvionnement constante. Aucune variation significative du débit liquide ou solide n'est observée. Il n'a pas été possible, à partir des résultats sédimentologiques, d'identifier précisément l'origine de ces sédiments.

Le second stade lacustre, relativement récent (XVIII^{e} siècle ?) et déjà observé sur les sondages S1 et S2, est caractérisé par la présence de dépôts argilo-limoneux à forte teneur en matière organique (environnement palustre). Ensuite, au sommet du sondage S6, de nouveaux dépôts fluviatiles viennent à nouveau recouvrir les sédiments lacustres/palustres.

Les analyses des faciès sédimentaires de S7 ne laissent pas de doute : aucune sédimentation lacustre n'est attestée. Il est donc légitime d'extrapoler l'extension spatiale maximale des différentes périodes lacustres entre S6 et S7.

d) Une influence fluviatile limitée dans la partie distale de la plaine

Afin d'éviter les répétitions, il est utile de préciser que la sédimentation fluviatile a beaucoup moins affecté le sud de la plaine actuelle que ses parties centrale et septentrionale.

Les dépôts analysés pour S6 et S7 indiquent une plus faible énergie de transport et les variations de débit sont peu évidentes à déceler. S6 et S7 sont localisés dans un secteur de sédimentation relativement calme. Les influences sédimentaires de l'Axios et de l'Aliakmon sont évidentes mais les faibles pentes ont dissipé l'énergie de transport des sédiments dont la granulométrie est constituée de limons et de sables fins bien triés.

L'interprétation spatio-temporelle des données acquises ponctuellement en laboratoire (à partir des sondages) est rendue possible grâce à l'établissement de transects chronostratigraphiques.

Le nombre de sondages réalisés ne permet cependant pas une interprétation à l'échelle de la plaine. L'utilisation des données numériques, de l'imagerie satellitaire en particulier, a démontré au cours de précédentes études (Fouache, 1999, 2006 ; Novak & Soulakellis, 2000) une certaine capacité à révéler la morphologie composite des surfaces actuelles. En effet, les formes vives, témoignant de la dynamique hydro-géomorphologique actuelle, coexistent avec des formes héritées, témoignages de paléodynamiques différentes.

La plaine de Thessalonique, intensément aménagée, conserve certains reliquats de dynamiques anciennes.

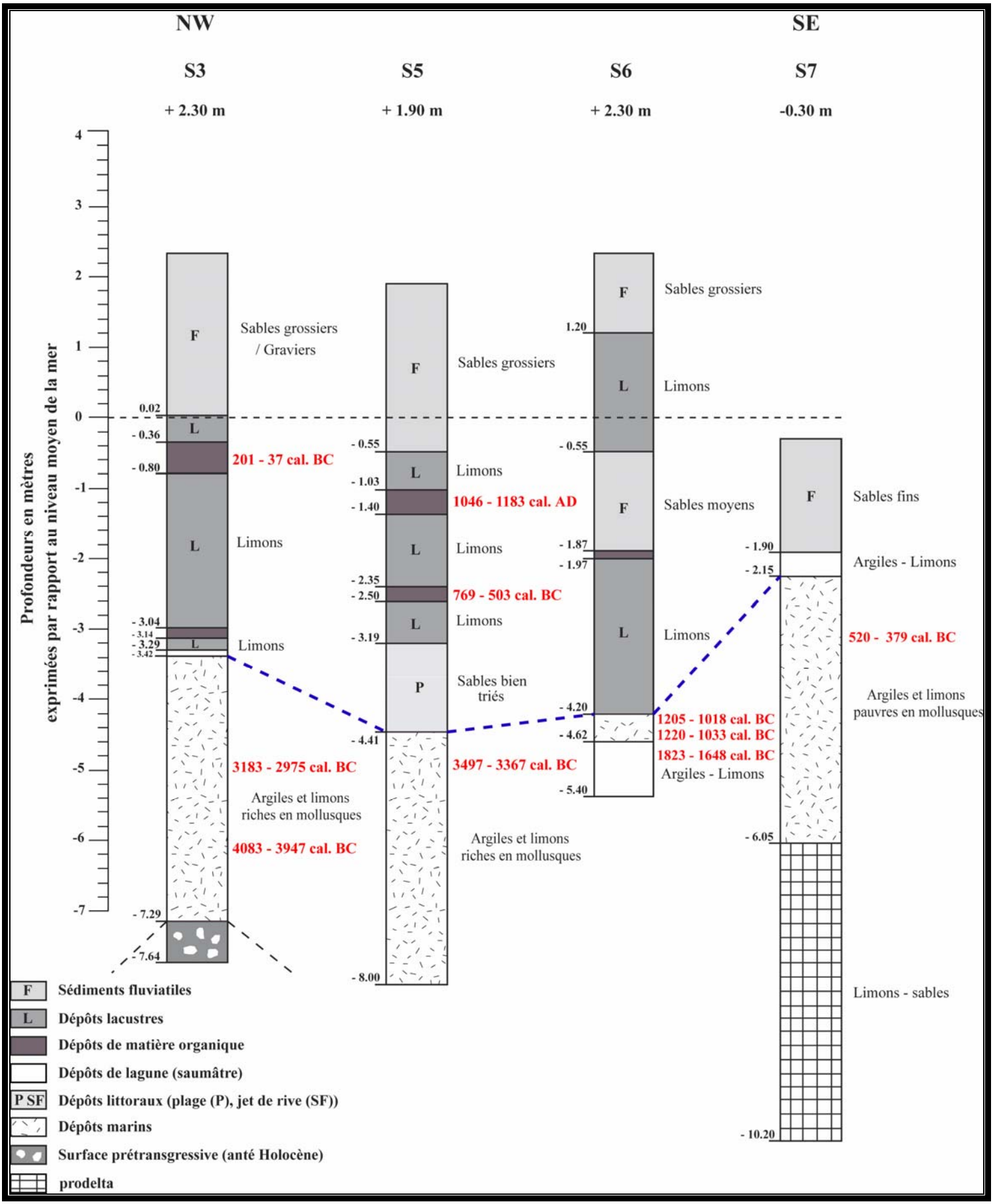


Figure 84 : Transect 2 (Sondages S3, S5, S6 et S7)

3.2.2. L'apport de la télédétection : mise en évidence de l'évolution paléoenvironnementale

Les cartes topographiques consultées pour l'identification morphologique montrent assez rapidement leurs limites en ce qui concerne les formes fluviales ou littorales héritées.

L'aménagement de la plaine entrepris depuis le premier quart du XX^{e} siècle et les travaux agricoles d'aplanissement général ont de fait contribué en grande partie à gommer des supports cartographiques traditionnels (cartes H.M.G.S.[1] éditées à l'échelle 1 : 50 000^{e}) certains indices de l'évolution morphologique.

L'analyse d'images satellites est relativement peu répandue dans les études paléoenvironnementales des deltas grecs et seuls quelques travaux menés sur les littoraux de la façade ionienne (delta de l'Achéloos, Fouache, 1999, 2006) permettent d'identifier d'anciennes manifestations d'activité fluviale (lits fluviaux et défluents anciens, méandres abandonnés, etc.). En Macédoine centrale, cette technique a déjà permis dans le passé de mettre en évidence une morphotectonique active (Astaras & Soulakellis, 1990).

Plusieurs images satellites ont été étudiées (LANDSAT TM, SPOT, LANDSAT ETM+), parmi lesquelles les données numériques d'une image LANDSAT TM 5 (Thematic Mapper), datée du 11 mai 1997, dont la résolution en mode multi-spectral est de 30 m.

L'analyse des données s'est faite au laboratoire P.R.O.D.I.G. (C.N.R.S. - U.M.R. 8586) grâce aux logiciels Er Mapper version 6.0 et Envi version 4.0. Le traitement des différentes bandes spectrales a abouti à la conception de compositions colorées (fausses couleurs, Campbell, 1987 ; C.N.R.S., 1997) permettant de révéler à la fois des formes actuelles et héritées (Novak & Soulakellis, 2000) et des différences texturales (Courel, 1985 ; Cerri, 1998).

Dans le secteur deltaïque de la plaine de Macédoine centrale, la mise en évidence de formes héritées d'origine continentale (paléochenaux, anciennes zones lacustres et palustres) et marine (ancienne édification deltaïque) a été possible grâce au traitement des canaux 2 (520-600 nm), 3 (630-690 nm) et 5 (1 550-1 750 nm), permettant de révéler le couvert végétal et la diversité, ainsi que d'interpréter l'humidité et la texture du sol.

Le géoréférencement (dans le système international W.G.S. 84 – N UTM 34) puis l'intégration dans un S.I.G. de l'image LANDSAT TM ont favorisé une cartographie précise des formes observées.

[1] H.M.G.S. (Hellenic Military Geographic Service)

3.2.2.1. Morphologie actuelle

a) Formes fluviales

La superposition des documents topographiques de la seconde moitié du XX^{e} siècle et de l'image LANDSAT TM indique une mobilité de certaines formes fluviales. En effet, il semble que le cours amont de l'Aliakmon, entre sa sortie des gorges du Vermion jusqu'à Nisellion a subi de fortes modifications. Les autres fleuves et cours d'eau ont très peu évolué en raison des travaux de canalisation importants entrepris sur l'Axios, le Gallikos, le Loudias et les affluents de ces mêmes fleuves. Les cours des rivières apparaissent très rectilignes et très stables depuis les années d'après guerre.

b) Formes littorales

La manifestation la plus spectaculaire d'une dynamique morphologique au sein de la plaine est la présence imposante du panache de turbidité développé par le fleuve Axios (figure 84). La sédimentation de ce dernier dans le golfe Thermaïque est toujours active et de précédents travaux (Ghilardi, 2003, 2006) montrent que la progradation des deltas de l'Aliakmon et de l'Axios se poursuit, du moins dans la partie occidentale du golfe Thermaïque. La forme digitée de la partie distale des secteurs deltaïques est assez révélatrice de la progression du trait de côte dans ce secteur. Il apparaît évident en revanche que l'érosion littorale prédomine dans la partie orientale du delta de l'Axios, à proximité de la ville de Thessalonique (Kapsimalis *et al.*, 2005 ; Stiros, 2001).

3.2.2.2. Témoignages morphologiques des paléodynamiques

a) Anciennes zones humides (lacs –marais)

Parmi les différentes unités morphologiques identifiées sur la composition colorée, d'anciennes zones lacustres et palustres ont été identifiées dans la partie centrale de la plaine de Thessalonique. La couleur vert-olive sur la composition colorée caractérise des dépôts à forte teneur en eau (battement de la nappe phréatique consécutive à des épisodes de précipitations soutenues) ; d'après les analyses granulométriques, la texture de surface est essentiellement composée d'argiles et la végétation de type hygrophile.

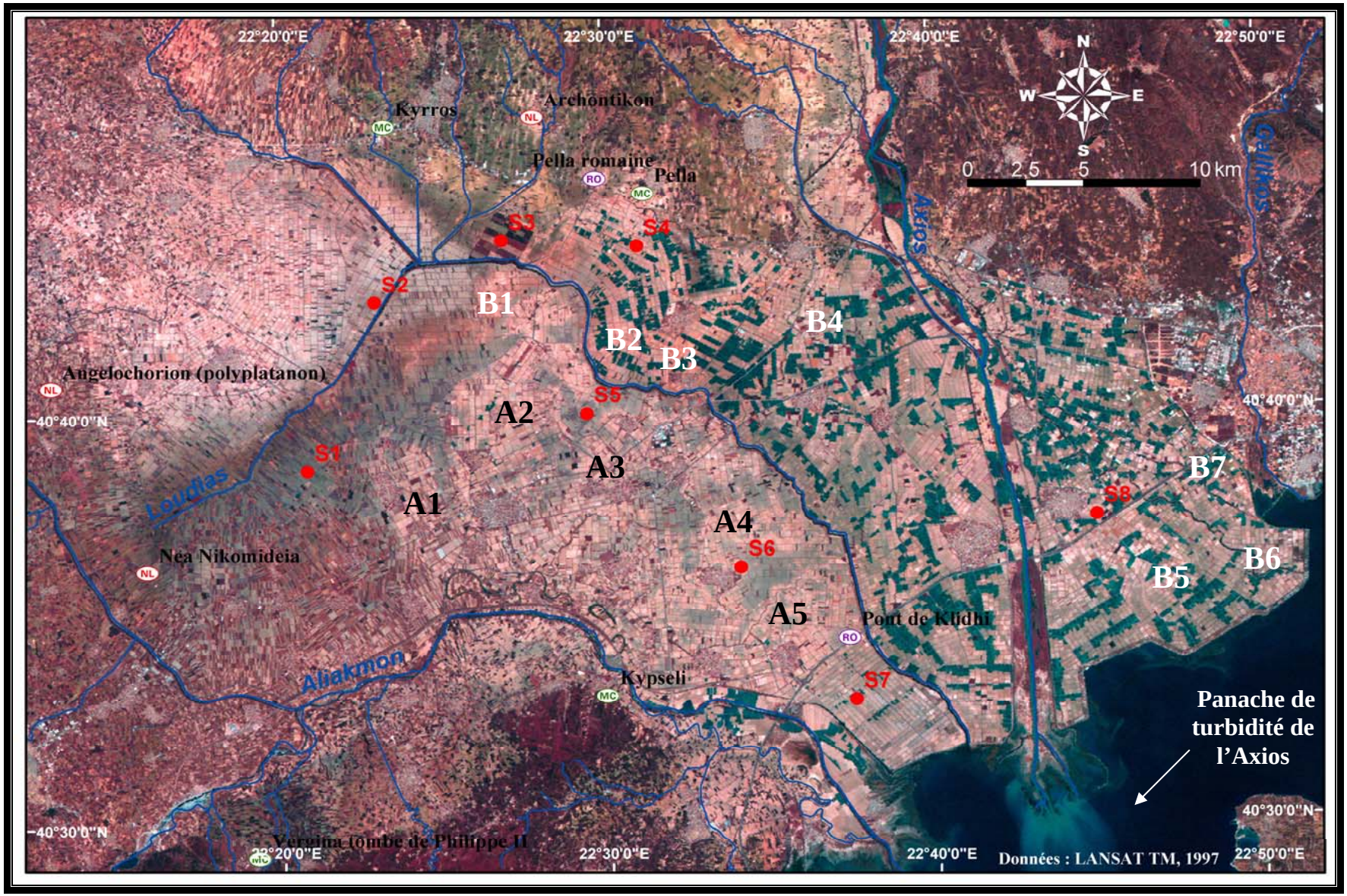


Figure 85 : Image satellite LANDSAT TM (composition colorée, canaux 2, 3, 5)

Deux unités sont distinguées : à l'ouest, une vaste dépression allongée (80 - 90 km²) d'orientation SW- NE peut être identifiée. Ses dimensions importantes permettent d'y voir l'ancien lac de Giannitsa évoqué précédemment. Les précipitations importantes qui ont précédé la prise du cliché satellitaire (première moitié du mois de mai) ont fait remonter le niveau général de la nappe phréatique, expliquant partiellement cette teinte verdâtre. Au centre de la plaine, des secteurs de dimensions réduites (3 – 4 km² au maximum) peuvent être interprétés comme des témoins de marais (développés entre deux levées alluviales) ou comme un ancien lac fragmenté par d'anciens chenaux fluviaux.

b) Formes fluviales héritées

Certaines formes fluviales sont encore bien marquées dans le paysage (anciens chenaux et méandres abandonnés). D'autres sont plus difficiles à identifier, comme les levées alluviales les plus récentes, étroites et hautes seulement de quelques décimètres.

- Méandres abandonnés de l'Aliakmon

Dans les secteurs de Nisellion – Prasinada et de Kouloura[1], de grands méandres abandonnés visibles sur les cartes géologiques[2], apparaissent également sur l'image LANDSAT TM (alors que les cartes topographiques ne les mettent pas en valeur). L'étude des sources cartographiques anciennes (Goltz, 1894, Strück, 1908) montre que ces méandres abandonnés étaient encore actifs au début du XX^{e} siècle ; les travaux de canalisation du cours de l'Aliakmon réalisés dans les années 1930 ont été responsables d'un tracé plus linéaire (régulier). Les plus anciens supports cartographiques disponibles décrivant le cours de l'Aliakmon indiquent la présence de méandres dans le secteur aval au début du XIX^{e} siècle (J. Carry, 1801 ; T. J. Fenner, 1835).

- Paléochenaux et anciennes levées de l'Aliakmon

Au moins cinq anciennes levées alluviales et deux paléochenaux de l'Aliakmon peuvent être identifiés (A1, A2, A3, A4, A5, figure 85) au nord du tracé actuel.

[1] Se référer à la carte topographique hors texte pour la localisation des villes

[2] I.G.M.E., 1985

Dans le secteur de Nision – Schoinas, entre les sondages S1 et S5, deux anciennes levées alluviales (A1, A2) de direction S-N sont identifiables et correspondent aux anciens cordons littoraux interprétés par la NEDECO (1970). La coloration jaune orangée reflète un bon drainage des eaux et une granulométrie de surface dominée par des sables fins à moyens. La partie terminale de A2 digitée (longueur totale estimée de la levée : 15 km) se présente comme un éventail, caractéristique d'une embouchure deltaïque.

Dans le secteur d'Arachos – Platy, une ancienne levée alluviale (A3) d'orientation SW-NE est clairement identifiée au sud du sondage S5. Les dépôts à texture sableuse sont de couleur orangée. La ville de Platy a été construite sur cette ancienne levée.

Dans le secteur de Trikala - Kleidion (sondage S6, figure 85), le chenal déprimé (A4) est encore visible dans le paysage et, lors de périodes de fortes précipitations, les eaux le remplissent presque entièrement. Les chenaux A4 et A5, de direction WSW-ENE, présentent un tracé sinueux et semblent converger vers le tracé actuel du Loudias. En outre, d'anciens bourrelets de rive, dont la réponse spectrale apparaît en jaune-orangée sont identifiables sur l'image LANDSAT TM (figure 85).

- Paléochenaux et anciennes levées de l'Axios

Outre trois paléochenaux, sept anciennes levées de l'Axios peuvent être identifiées au nord de la plaine : trois dans sa partie orientale et quatre au pied du massif du Païkon, en avant de la ville de Pella.

Au pied de cette dernière, une ancienne levée alluviale (nommée B1) est nettement identifiable sur la composition colorée de l'image LANDSAT TM (figure 85). Elle longe le piémont du Païkon jusqu'à Pella avant de prendre une orientation NE-SW (sur près de 18 km). La couleur orange foncé indique un bon drainage des eaux de surface, les études granulométriques indiquent une texture dominée par des sables grossiers et chargée en oxydes de fer (valeurs en susceptibilité magnétique plus élevées que pour celle de l'Aliakmon). L'ancien chenal d'écoulement est décelable dans la partie inférieure de l'ancienne levée qui se présente en forme d'éventail. Deux bras de longueur égale (3 km environ) ont légèrement entaillé des sédiments de granulométrie plus fine (figures 85 et 86).

Trois anciennes levées alluviales (B2, B3, B4) longues de 5-6 km et de direction NNE-SSW forment une unité morphologique commune, probablement un ancien delta de l'Axios. La couleur orange foncé indique un bon drainage des eaux de surface, la texture est en effet très grossière et riche en sédiments ferromagnétiques (sables moyens à grossiers). La forme et l'orientation du parcellaire indiquent également des terrains bien drainés.

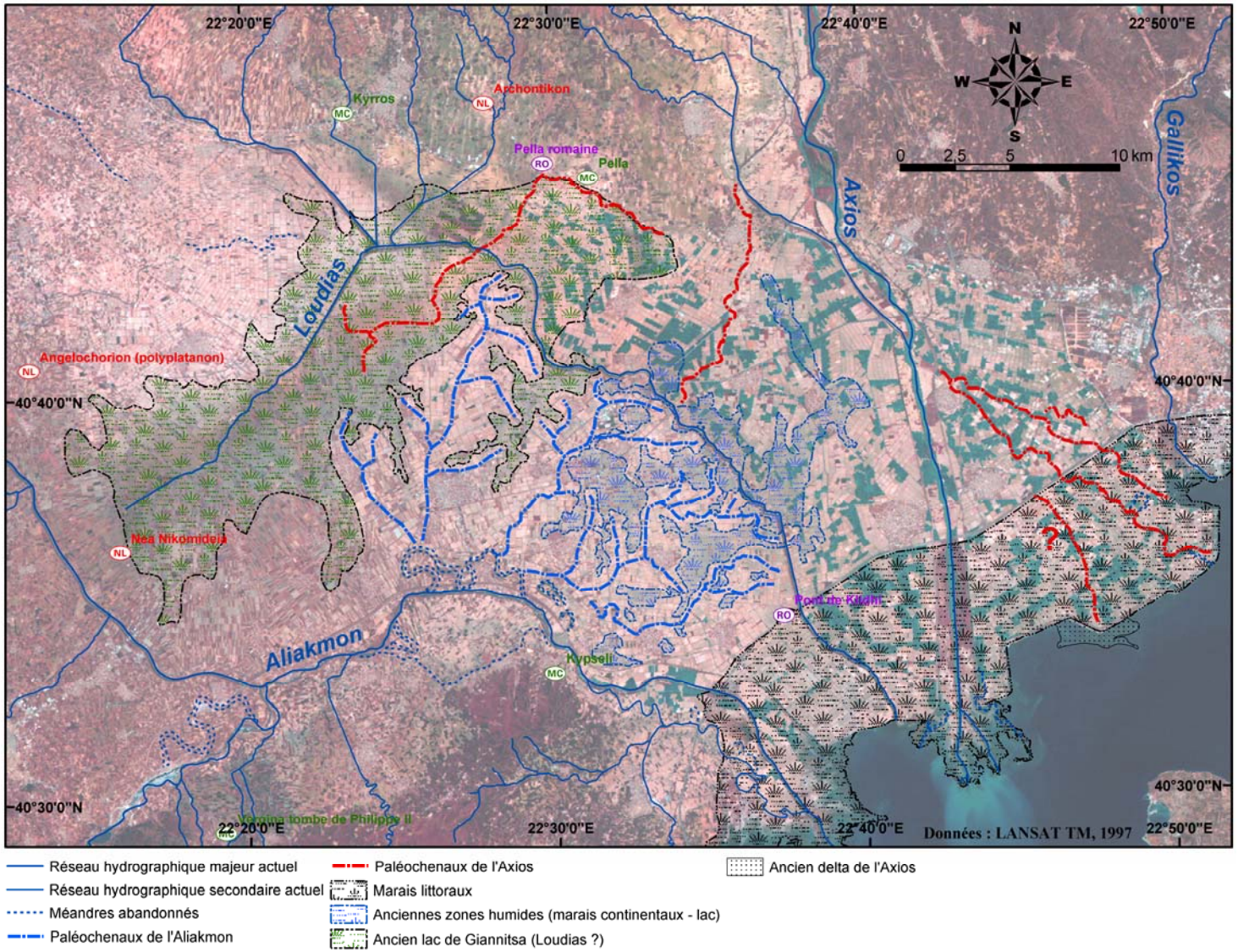


Figure 86 : Interprétation des données satellitaires de l'image LANDSAT TM 5 (11/05/1997)

Entre les cours actuels de l'Axios et du Gallikos, deux chenaux abandonnés, B6 et B7 (figure 84), au tracé sinueux, semblent se rejoindre à proximité de la localité d'Anatolikon puis, progressivement, leurs lits s'individualisent avant de se jeter dans le golfe Thermaïque. La largeur du chenal d'écoulement des eaux pouvant être comparée à celle de l'Axios actuel, il ne fait aucun doute que ces paléochenaux doivent être associés à un ou deux (?) anciens tracés de ce fleuve. Les cartes allemandes établies avant la seconde guerre mondiale indiquent d'ailleurs que ces paléochenaux étaient actifs au même titre que le cours actuel à cette date.

L'abandon définitif des branches les plus orientales est imputable, semble-t-il, aux travaux de régularisation du trait de côte et de canalisation du cours de l'Axios menés dans les années 1950.

Au sud-est de B6, une ancienne levée peut également être observée.

c) Les formes littorales héritées

Le long du littoral actuel de la plaine de Thessalonique, un ancien delta de l'Axios est identifiable entre le tracé actuel du fleuve et l'ancienne levée B6 (photo 30). L'érosion littorale a contribué à faire disparaître de nombreux chenaux deltaïques et à transporter une quantité importante de matériaux.

Photo 30 : Ancien delta de l'Axios, fortement érodé par l'action marine

L'apport de la télédétection a permis d'identifier de nombreuses formes continentales et littorales actuelles et héritées, qui témoignent de l'évolution morphologique de la plaine de Macédoine centrale. Les sondages ont été intégrés au S.I.G., de façon à permettre une interprétation sédimentologique des dépôts analysés en laboratoire.

En complément de la télédétection, la modélisation numérique de terrain présente également l'avantage de révéler des indices morphologiques témoignant de dynamiques continentales et marines anciennes (Lane, 1998 ; Ghilardi, 2006 ; Volker *et al.*, 2007).

L'utilisation des données topographiques S.R.T.M. est encore peu répandue dans les études paléoenvironnementales. La précision altitudinale de la région étudiée a été testée et révèle une erreur moyenne de quelques décimètres au maximum par rapport à celles mesurées sur des repères géodésiques (Psimoulis *et al.*, 2007).

Les anciennes levées alluviales et les zones lacustres identifiées sur la composition colorée de l'image LANDSAT TM sont parfaitement reconnaissables sur la modélisation altimétrique.

3.2.3. Utilisation de la donnée S.R.T.M.

Le 11 février 2000, la ***S**huttle **R**adar **T**opography **M**ission* (S.R.T.M.) a été lancée conjointement par la ***N**ational **G**eospatial – Intelligence **A**gency* (N.G.A.) et la ***N**ational **A**eronautics and **S**pace **A**dministration* (N.A.S.A.) afin d'obtenir une base de données topographiques à très haute résolution de la surface terrestre.

Durant près de 11 jours, la navette spatiale Endeavour a collecté de nombreuses informations topographiques, et a ainsi pu couvrir 80 % de la surface des terres émergées (Farr & Kobrick, 200).

3.2.3.1. Précision de la S.R.T.M. dans la plaine de Macédoine centrale

21 repères géodésiques remesurés dans le cadre de l'étude du phénomène de subsidence (*cf. supra*, Psimoulis *et al.*, 2007) ont été comparés et ont permis de préciser la topographie de la plaine. Il a fallu prendre en compte plusieurs paramètres, en particulier la hauteur du repère géodésique par rapport au sol afin de corriger les valeurs (tableau 15 et figure 87), et de les comparer avec la donnée S.R.T.M. (Maune *et al.*, 2001) ; cette dernière indique une altitude exprimée par rapport à la surface du sol (0 de référence acquis pour le géoïde W.G.S. 84 / E.G.M. 96 ; SRTM DTED, 2004 ; TR8350.2, 1997).

Localité	Code	Bâtiment	Hauteur ellipsoïdale 2005 (GPS)	Hauteur géoïde (m)	Hauteur par rapport au sol du repère géodésique (m)	Alt. 2005 (m)	S.R.T.M. (m)	Diff. S.R.T.M. / GPS 2005
Drosero	RT	Eglise - cimetière	67,43303	43,7	0,2	23,733	21,202	-2,731
Adendron	R264	Eglise	49,26905	42,70	0,25	6,569	4,242	-2,577
Agios Athanasios	R42	Pont	53,5633	43,2	0,2	10,413	8,231	-2,382
Nikomideia	R115	Eglise	63,15636	42,9	0,15	20,256	18,182	-2,224
Vrisaki	R58	Maison	51,79047	42,7	0,25	9,090	7,132	-2,208
Stavrodromion	RT	Eglise	56,89837	43,3	0,15	13,598	12	-1,748
Nea Nikomideia	R114	Maison	64,19676	42,9	0,05	21,297	19,691	-1,656
Kouloura	R305	Maison	61,14321	42,7	0,2	18,443	17	-1,643
Vrachia	R420	Eglise	49,30607	42,70	0,2	6,606	5,599	-1,207
Platy	R271	Station de train	47,92986	42,6	0,15	5,380	4,4	-1,130
Esovalta	R393	Maison	57,07119	43,3	0,25	13,771	12,901	-1,120
Agios Georgios	R373	Eglise	85,05284	43,5	0,3	41,603	40,828	-1,075
Kefalochorion	R301	Eglise - cimetière	56,38393	42,7	0,2	13,684	12,897	-0,987
Akrolimni	R398	Ecole	52,01426	43,1	0,05	8,914	7,996	-0,968
Palaios Mylotopos	RT	Eglise	67,19341	43,5	0,25	23,693	23	-0,943
Aspro	R390	Ecole	61,11295	43,4	0,1	17,713	17	-0,813
Angelochorion	R127	Maison	62,10341	43,3	0,15	18,803	18,61	-0,343
Alexandria	RT	Station de train	51,67721	42,6	0,2	9,077	9,336	+0,059
Liparon	R383	Maison	60,44057	43,4	0,15	17,041	17,395	+0,204
Skidra	RT	Eglise	78,87123	43,7	0,1	35,221	35,792	+0,471
Veria	R37	Station de train	121,93403	43,0	0,3	78,934	83,665	+4,431
								Moy : -0,983 ≈ - 1.00 m ± 0.50 m

Tableau 15 : Comparaison entre altitudes mesurées en 2005 (D.G.P.S.) et données S.R.T.M.

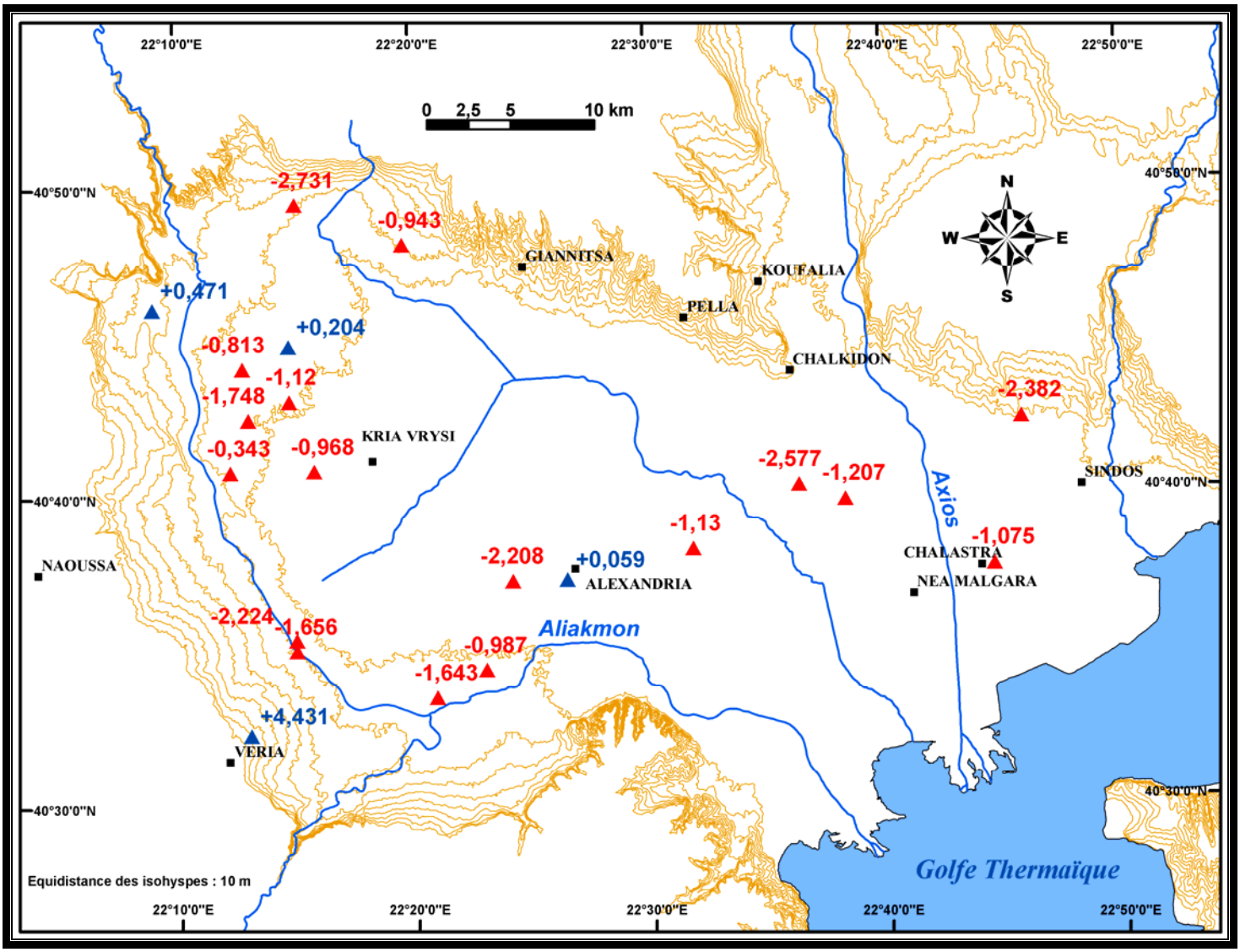


Figure 87 : Différence altimétrique exprimée en m, entre les données S.R.T.M. et les altitudes GPS mesurées en 2005

Des problèmes de précision altimétrique peuvent être observés pour certains endroits du globe (Miliaresis & Paraschou, 2004). Cependant les études indiquent que pour la région de Macédoine centrale, les mesures acquises utilisant un géoïde de type GINA DTM sont similaires à celles obtenues pour le géoïde WGS 84 / EGM 96 (Andritsanos *et al.*, 2004).

La comparaison révèle des altitudes S.R.T.M. généralement inférieures à celles obtenues par G.P.S. en 2005. Les résultats indiquent une différence altimétrique qui excède très rarement 2.50 m (figure 86), la moyenne se situant autour d'1m ± 0.50 m (tableau 15). Les secteurs qui présentent les écarts les plus importants se localisent sur les piémonts des massifs du Vermion et du Païkon, précisément là où la pente est plus forte.

Les données fournies par la S.R.T.M. apparaissent ainsi comme nettement plus précises que les supports topographiques élaborés par le H.M.G.S. L'utilisation des

informations altimétriques précises est particulièrement importante dans le secteur deltaïque de la plaine de Macédoine centrale en raison de ses faibles dénivellations (moins de 10 m sur environ 2 200 km², *cf. introduction générale*).

3.2.3.2. Transects topographiques dans la plaine actuelle

Huit profils topographiques ont été établis dans la partie centrale de la plaine (figure 88). Ils reprennent en partie le tracé des anciennes levées alluviales de l'Aliakmon et de l'Axios identifiées sur l'image satellite LANDSAT TM. Le tracé actuel du Loudias est situé dans une zone topographiquement basse, là où les pentes se relèvent progressivement vers l'amont, en direction du nord (massif du Païkon) et du sud (massifs du Vermion et de la Piérie).

Les transects Aliakmon 1 à 3 indiquent une pente qui s'abaisse progressivement du sud vers le nord et les altitudes passent de 15 à 2 m sur des distances comprises entre 10 km (Aliakmon 1) et 18 km (Aliakmon 2 à 3). Les pentes très faibles oscillent entre 0.13 et 0.074 %.

Les profils Aliakmon 4 à 5 (figure 88) sont situés dans la partie inférieure du delta de l'Aliakmon et montrent une diminution des altitudes de 10 m à 1 m sur une distance de 11 km. Les pentes sont très faibles, d'environ 0.081 % et sont sensiblement équivalentes à celles observées sur les transects Aliakmon 2 et 3.

Les profils Axios 1 à 3 révèlent un abaissement progressif des altitudes du Nord vers le Sud : les altitudes passent de 9 à 1.50 m sur environ 10.5 km de distance. Les pentes sont très faibles et similaires à celles observées pour les transects Aliakmon 1 à 5 : 0.072 %.

Le lien entre topographie actuelle et dynamique sédimentaire des fleuves Aliakmon et Axios semble évidente : la progradation deltaïque de ces deux fleuves a provoqué l'avancée progressive du front deltaïque et l'exhaussement des terrains.

Les anciennes levées alluviales, bien identifiées sur le support satellitaire LANDSAT TM, semblent donc être rattachées à la dynamique fluviale morphogène des fleuves Aliakmon et Axios.

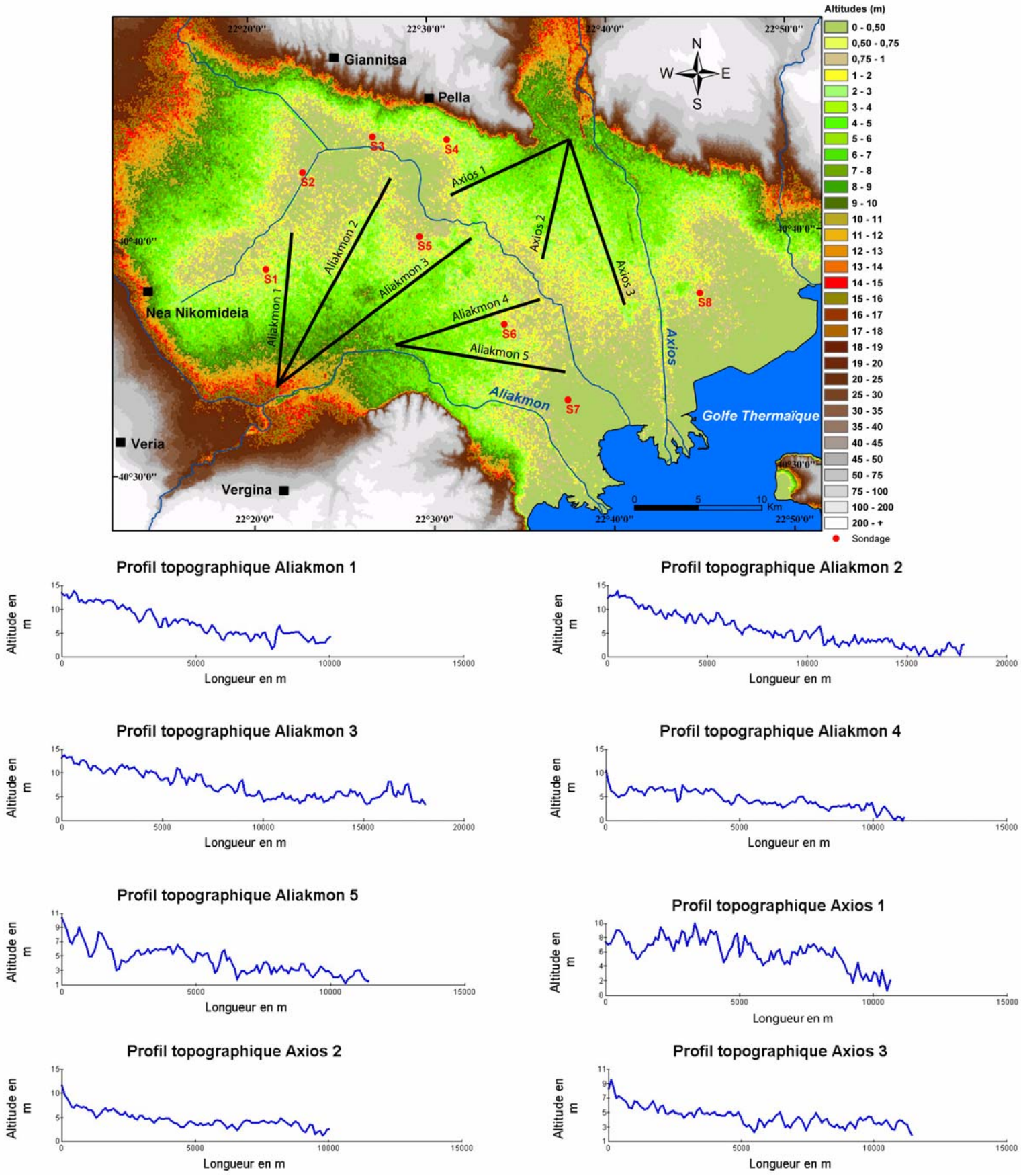


Figure 88 : Profils topographiques de la partie centrale de la plaine

3.2.3.3. Etablissement d'une carte topographique de haute résolution et identification des formes héritées identifiées sur l'image LANDSAT TM

Les études récentes fondées sur l'utilisation des données topographiques numériques (Lane, 1998 ; Rabus *et al.*, 2003 ; Ghilardi, 2006 ; Volker *et al.*, 2007) ont démontré la capacité des M.N.T. à révéler des détails morphologiques de faible développement.

La partie centrale de la plaine, dont les altitudes n'excèdent pas 10 - 15 m, présente de faibles dénivellations indétectables sur les supports cartographiques traditionnels (cartes H.M.G.S.) : la qualité graphique et la précision altimétrique y sont très approximatives et inutilisables pour notre étude.

Avec l'établissement des profils topographiques précédents, il a été possible de déterminer le sens des pentes de différents secteurs de la plaine. L'utilisation de la télédétection a également permis de caractériser des formes continentales témoignant de paléodynamiques (anciennes zones lacustres et levées alluviales).

Le présent travail a consisté à obtenir une carte topographique de très grande précision afin de révéler les différences locales d'altitude (figure 89A). L'équidistance des courbes de niveau de 0.25 m entre 0 et 1 m d'altitude et de 1 m entre 1 et 20 m d'altitude a permis de confirmer la présence d'anciens bourrelets de rives, indétectables sur le terrain.

Les cinq anciennes levées de l'Aliakmon mentionnées plus haut ont été clairement identifiées (figure 89B) entre les tracés actuels de l'Aliakmon et du Loudias, celles de l'Axios également.

Trois secteurs topographiquement déprimés sont également révélés ; l'altitude moyenne n'y excède pas 2 m.

A l'ouest, une vaste étendue de 200 km² se distingue parfaitement entre les villes de Giannitsa, de Pella et de Nea Nikomideia. Le traitement de l'image satellite LANDSAT TM a mis en évidence la présence de l'ancien lac de Giannitsa. Ce résultat est en parfait accord avec les données issues des sondages inclus dans cette zone (sondages S1 à S5) qui attestent tous de l'existence ancienne d'un lac. Il est cependant difficile de savoir si les contours délimités ici correspondent à l'extension maximale du lac de Giannitsa. ; la comparaison avec des documents cartographiques (Ancel, 1930) est assez équivoque et ne laisse guère planer de doutes. La limite occidentale de cette ancienne étendue lacustre peut également être considérée comme l'extension maximale des eaux marines lors de l'incursion de la mer observée il y a 6 000 ans.

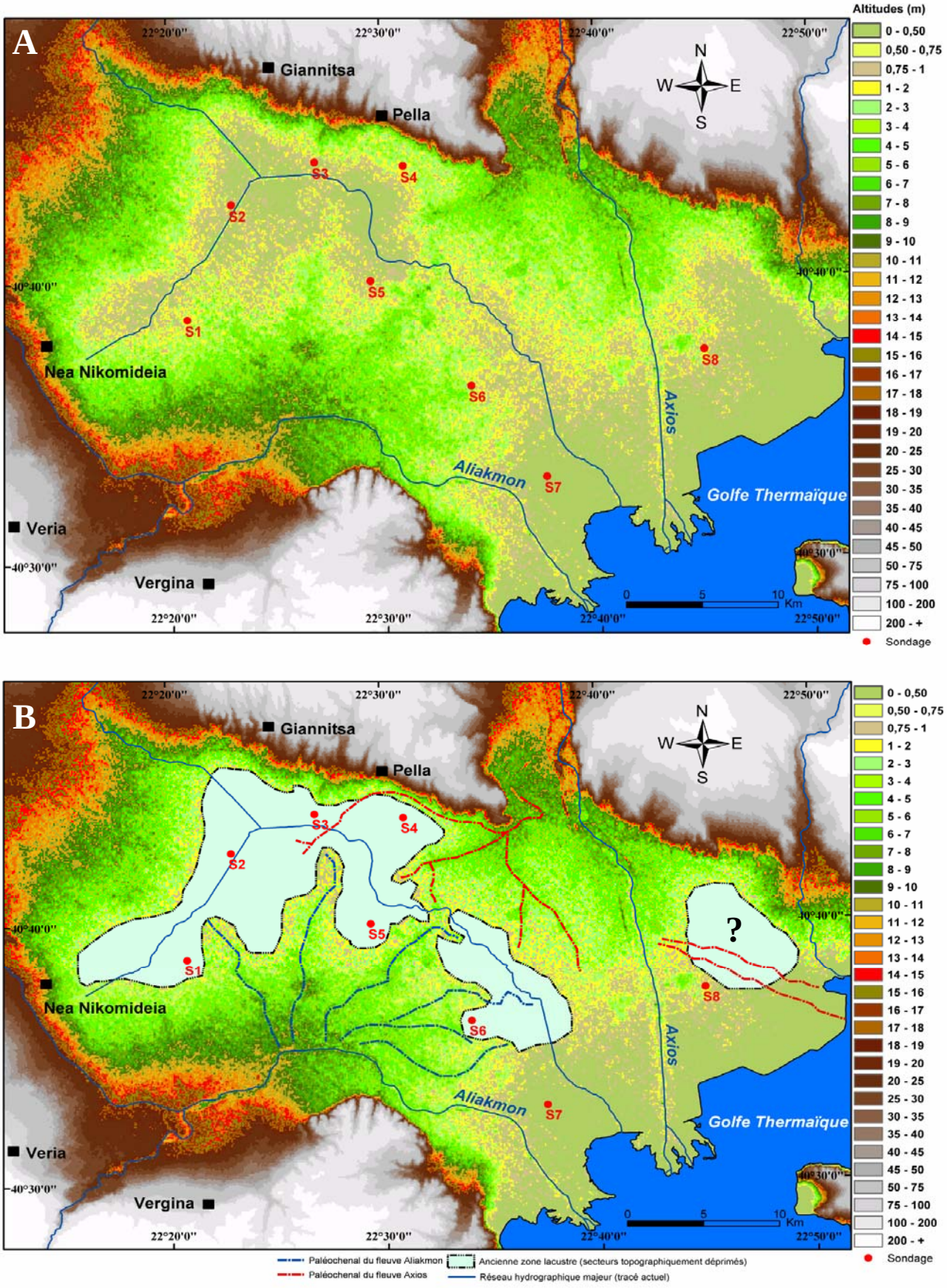


Figure 89 : Interprétation spatiale des formes héritées observées sur l'image LANDSAT TM et reportées sur le fond topographique élaboré à partir de données S.R.T.M.

Au centre de la plaine, de part et d'autre du tracé actuel du Loudias, une deuxième zone déprimée de faible ampleur (40 km²) est discernable. L'analyse de l'image LANDSAT TM a révélé la présence de plusieurs zones humides correspondant à plusieurs zones palustres de faible profondeur et dont la texture argileuse permettait une plus forte imbibition.

Il semble qu'entre les cours de l'Axios et du Gallikos un troisième secteur déprimé d'un point de vue topographique soit identifié. L'image satellite ne l'a pas révélé de manière formelle à cause probablement de la présence des deux anciens défluents de l'Axios dans ce secteur. Aucun sondage n'ayant été effectué dans le cadre du présent travail et lors de précédentes études (NEDECO, 1970 ; Palasis, 1972-1973 ; Meladiotis, 1993a), il est impossible de confirmer cette hypothèse.

La corrélation entre données de laboratoire (sédimentologie) et traitement de données numériques (image LANDSAT TM, S.R.T.M.) doit permettre d'estimer spatialement la contribution de chaque bassin versant dans l'édification de la plaine au cours des 6 000 dernières années.

3.2.4. Caractérisation spatiale des apports sédimentaires des bassins versants

3.2.4.1. Association des résultats de laboratoire et des données numériques

La mise en relation des données acquises ponctuellement par le biais des sondages a permis de caractériser d'un point de vue sédimentologique les apports des bassins versants de l'Aliakmon, de l'Axios et du Loudias (un ancien tracé provenant du Païkon).

Les données numériques associant imagerie satellitaire et données topographiques S.R.T.M. ont permis d'identifier des formes fluviales héritées témoignant de fréquentes défluviations des fleuves Aliakmon et Axios.

D'après la combinaison des informations précédentes, les apports sédimentaires du fleuve Aliakmon sont identifiables dans les sondages S1, S5 et S6 alors que les dépôts détritiques de l'Axios se rattachent aux sondages S4 et S8. S2 et S3 sont influencés par les apports détritiques du Loudias (figure 90).

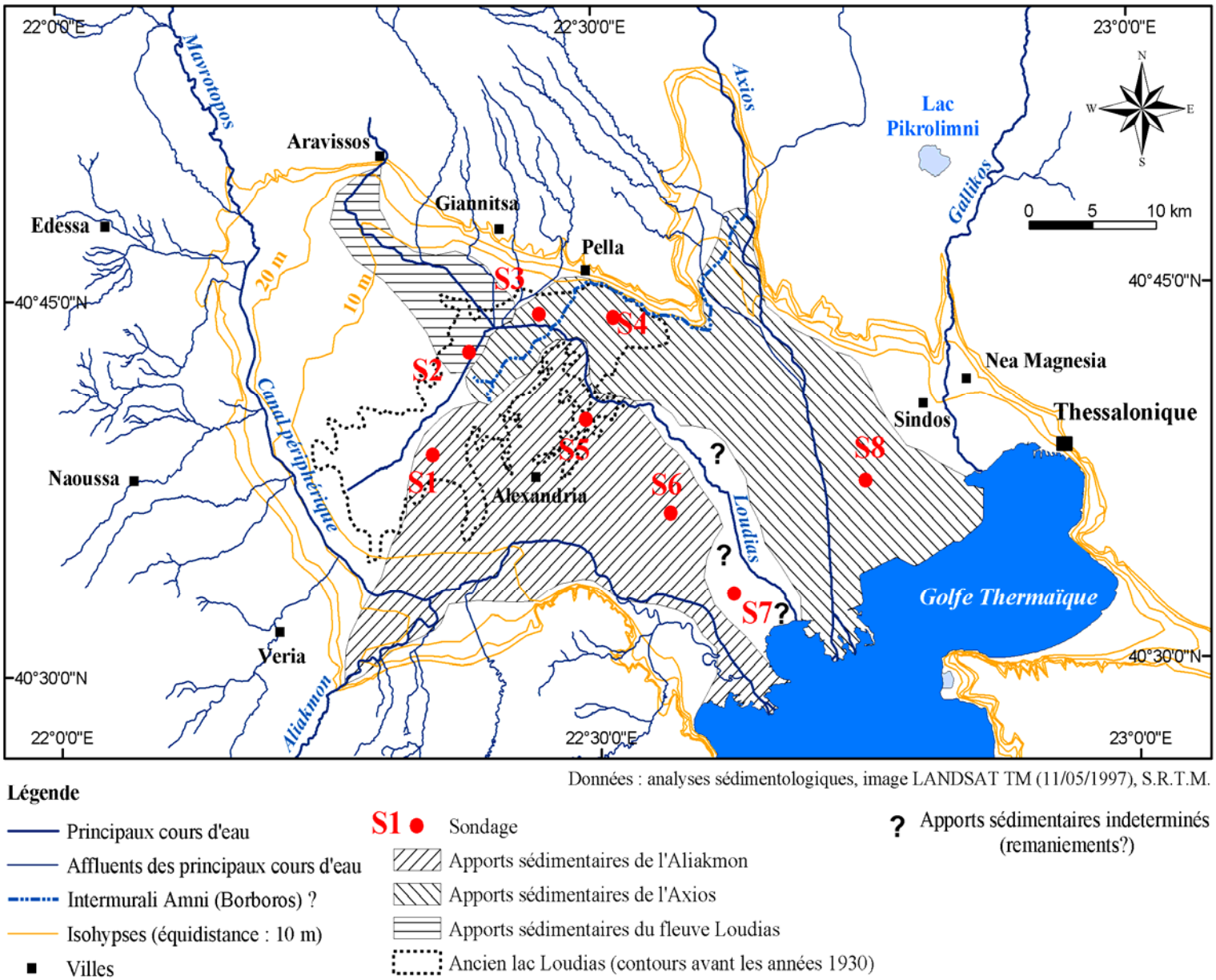


Figure 90 : Spatialisation des apports sédimentaires des différents bassins-versants

3.2.4.2. Modélisation des apports sédimentaires

L'utilisation de la modélisation numérique de terrain obtenue à partir de données S.R.T.M. et la superposition de l'image satellite LANDSAT TM ont permis d'obtenir une vision tridimensionnelle de la plaine de Thessalonique et de ses marges montagneuses.

La modélisation des apports sédimentaires des fleuves Aliakmon, Axios et Loudias ainsi que la cartographie des formes fluviales actuelles et héritées (paléochenaux et méandres abandonnés de l'Aliakmon, anciens tracés de l'Axios) sont synthétisés sur la figure 91.

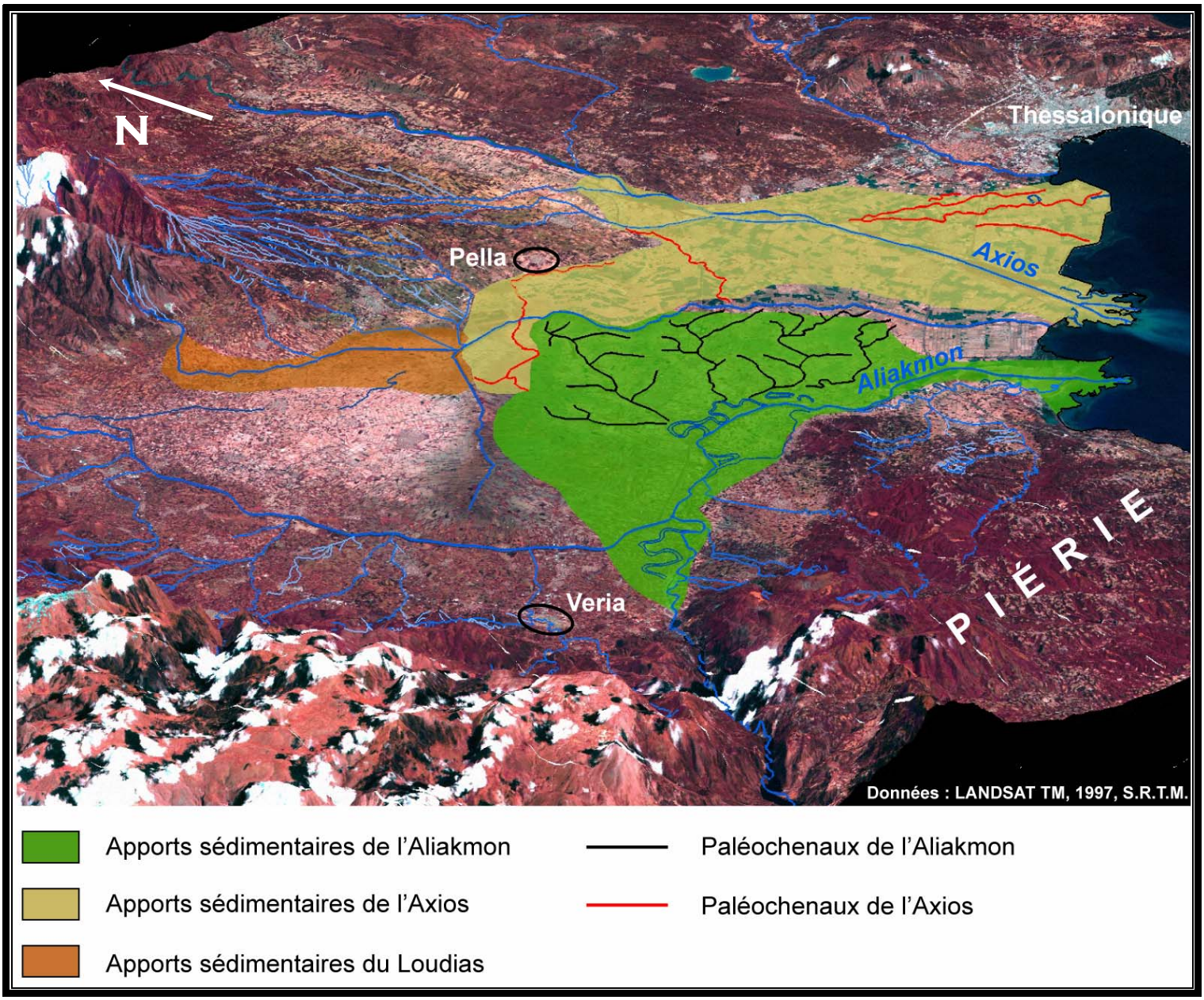


Figure 91 : Modélisation des apports sédimentaires des différents bassins-versants (M.N.T.)

CONCLUSION

Le recours aux transects a permis de caractériser une phase de régression marine agissant dans deux directions : d'ouest en est puis du nord au sud.

Les données numériques provenant du traitement de l'imagerie satellitaire (LANDSAT TM 5) et des données topographiques à haute résolution (S.R.T.M.) ont conduit à l'identification de formes continentales et marines héritées. Les nombreux défluents de l'Aliakmon et de l'Axios ont laissé dans le paysage actuel de la plaine d'anciennes levées alluviales, révélées sur l'image LANDSAT TM, dont leur caractéristique granulométrique (sables fins à grossiers), mais également grâce leur teneur en particules ferromagnétiques (la couleur orange foncée indique de fortes teneurs en oxydes de fer). Ces paléochenaux ont été différenciés des anciennes zones lacustres (lac de Giannitsa) et palustres (sur les rives du lac de Giannitsa et le long du cours actuel du Loudias) dont les dépôts de surface à texture argileuse ont pu être interprétés à partir de l'image LANDSAT TM et des données granulométriques.

La spatialisation des données obtenues, corrélées aux analyses sédimentologiques a permis de déterminer les apports des différents cours d'eau, essentiellement l'Aliakmon et l'Axios. Leur rôle dans l'édification de la plaine de Macédoine centrale a pu être précisé.

L'utilisation des datations par le radiocarbone peut désormais permettre une reconstitution paléogéographique de la plaine de Thessalonique.

Chapitre 3 : essai de reconstitution de l'évolution paléogéographique de la plaine de Thessalonique pendant l'Holocène récent (de 4 000 av. J.-C. à aujourd'hui)

INTRODUCTION

L'association des données chronostratigraphiques acquises en laboratoire avec les supports numériques a autorisé l'interprétation spatiale des apports sédimentaires de chaque fleuve dans l'édification de la plaine de Macédoine centrale.

Le déplacement progressif du trait de côte de l'ouest vers l'est et le sud-est permet de livrer une reconstitution paléogéographique du territoire en huit étapes. La chronologie couvre une période allant de 4 000 av. J.-C. à nos jours.

Deux facteurs ont été pris en compte : le déplacement du trait de côte et la mobilité du réseau hydrographique majeur (fleuves Aliakmon, Axios, Gallikos et Loudias). L'utilisation des sources documentaires anciennes (datant de l'Antiquité) et plus récentes (XIX^{e} siècle) a ponctuellement permis de préciser une confluence ou la présence de zones lacustres.

Certaines sources doivent être cependant reconsidérées. Il ne s'agit en aucun cas de remettre en cause les textes mais plutôt de replacer la description des unités géographiques dans un contexte différent.

3.3.1. Nouvelle proposition de reconstitution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale au cours de l'Holocène récent

Les données ponctuelles acquises lors de campagnes de sondages ont permis de distinguer plusieurs unités sédimentaires, révélant ainsi localement la succession de différents milieux de vie caractéristiques des zones deltaïques progradantes. Les paléomilieux indiqués par les changements faunistiques (mollusques) et les modifications des paléodynamiques interprétées à partir de la granulométrie des structures sédimentaires, indiquent le passage progressif d'un stade marin à fluviatile en passant par un stade lacustre/palustre.

Ces informations peuvent être interprétables à l'échelle de toute la plaine à condition de disposer d'informations sur le transfert des sédiments (apport de la susceptibilité magnétique et de la granulométrie) et sur l'interprétation des documents numériques (images satellites, modélisation numérique de terrain). Les paléodynamiques marines, lacustres et fluviatiles peuvent ainsi être interprétées spatialement.

L'évolution de plaine de Macédoine centrale au cours de l'Holocène est globalement conforme à celles menées dans d'autres secteurs du littoral oriental de Méditerranée (Fouache, 1999, 2003, 2006 ; Brückner, 2005 ; Poulos *et al.*, 2005 ; Vött, 2003, 2007).

3.3.1.1. De -10 000 à – 4 000 av. J.-C. : une incursion rapide de la mer

La remontée rapide du niveau marin de la mer Egée au début de l'Holocène (Lambeck, 1996 ; Lambeck & Purcell, 2005 ; Pirazzoli, 1991, 1996 ; Lykousis *et al.*, 2005, Vouvalidis *et al.*, 2005) a pour conséquences une incursion progressive de la mer. De récentes études (Lykousis *et al.*, 2005) ont démontré qu'il y a 20 000 ans, lors du maximum de la dernière grande phase de glaciation, le niveau de base des cours d'eau était 120 m plus bas que l'actuel et que le tracé des cours d'eau était différent. Ainsi l'Aliakmon, l'Axios et le Peinios au sud formaient un cours d'eau unique qui se jetait dans la mer à la latitude de l'extrémité de la péninsule de Kassandra en Chalcidique. En l'absence de données suffisantes traitant de l'évolution morphologique de la plaine actuelle au début de l'Holocène, il est délicat d'interpréter spatialement le retrait de la ligne de rivage à partir de la seule courbe de remontée du niveau marin établie par divers auteurs dans le golfe Thermaïque (Vouvalidis *et al.*, 2005).

Il est fort probable que de nombreux habitats d'âge paléolithique ou néolithique ont du être ennoyés sous les eaux lors de la rapide remontée du niveau marin.

En nous basant sur les analyses paléoenvironnementales réalisées dans ce présent travail, il apparaît qu'un seul sondage (S3) indique la présence de la surface prétransgressive à proximité des villes actuelles de Pella et de Giannitsa.

Ces dernières marquent la limite septentrionale de l'extension marine vers le Nord. Grâce aux datations ^{14}C, il est possible de situer approximativement l'arrivée de la mer dans le secteur de Pella – Paralimni vers 4 500 – 4 000 av. J.-C.

Un sondage pratiqué à quelques kilomètres vers l'Est (S1) semble également confirmer qu'au Néolithique le site de Nea Nikomideia était situé sur la rive d'un lac. Malheureusement l'absence de données additionnelles dans le secteur ne permet pas de livrer une interprétation régionale précise.

De nouvelles recherches paléoenvironnementales pourraient à ce sujet apporter de précieux renseignements, car ni les premières études (Rodden, 1964 ; Shackleton, 1970) ni les travaux suivants (Bintliff, 1976 ; Rodden, 1996) ne permettent de déterminer exactement l'évolution paysagère autour des sites néolithiques de Nea Nikomideia et d'Angelochorion. Des études palynologiques provenant de séquences sédimentaires prélevées à proximité seraient très instructives à ce sujet.

3.3.1.2. Entre 4 000 et 2 500 av. J.-C. : présence d'un golfe marin de grande ampleur

Les analyses sédimentaires, malacologiques ainsi que les datations par le radiocarbone révélent un stade marin de grande ampleur entre 4 000 et 2 500 av. J.-C (figures 92 et 93).

Les transects 1 et 2 (*cf. supra*) montrent ensuite une avancée de la mer vers l'est. L'extension du prolongement occidental du golfe Thermaïque aboutissait probablement à proximité des villes actuelles de Kria Vrysi à l'ouest, et de Pella au nord.
Les sites néolithiques d'Archontikon, de Nea Nikomedeia et d'Angelochorion se trouvaient ainsi en périphérie de ce vaste golfe marin.

Alors que la remontée générale du niveau marin tend à se ralentir (Vouvalidis *et al.*, 2005), les apports alluvionnaires des fleuves (notamment l'Aliakmon et l'Axios) contribuent à apporter des quantités d'eau douce considérables. Les variations de salinité induites par ces apports continentaux ont pour conséquence de modifier la population des mollusques marins, les espèces représentées et leur taille (biométrie).

La progradation du delta de l'Aliakmon est particulièrement marquée au sud de l'ancien golfe tandis qu'au nord, le delta de l'Axios semble en revanche peu développé.

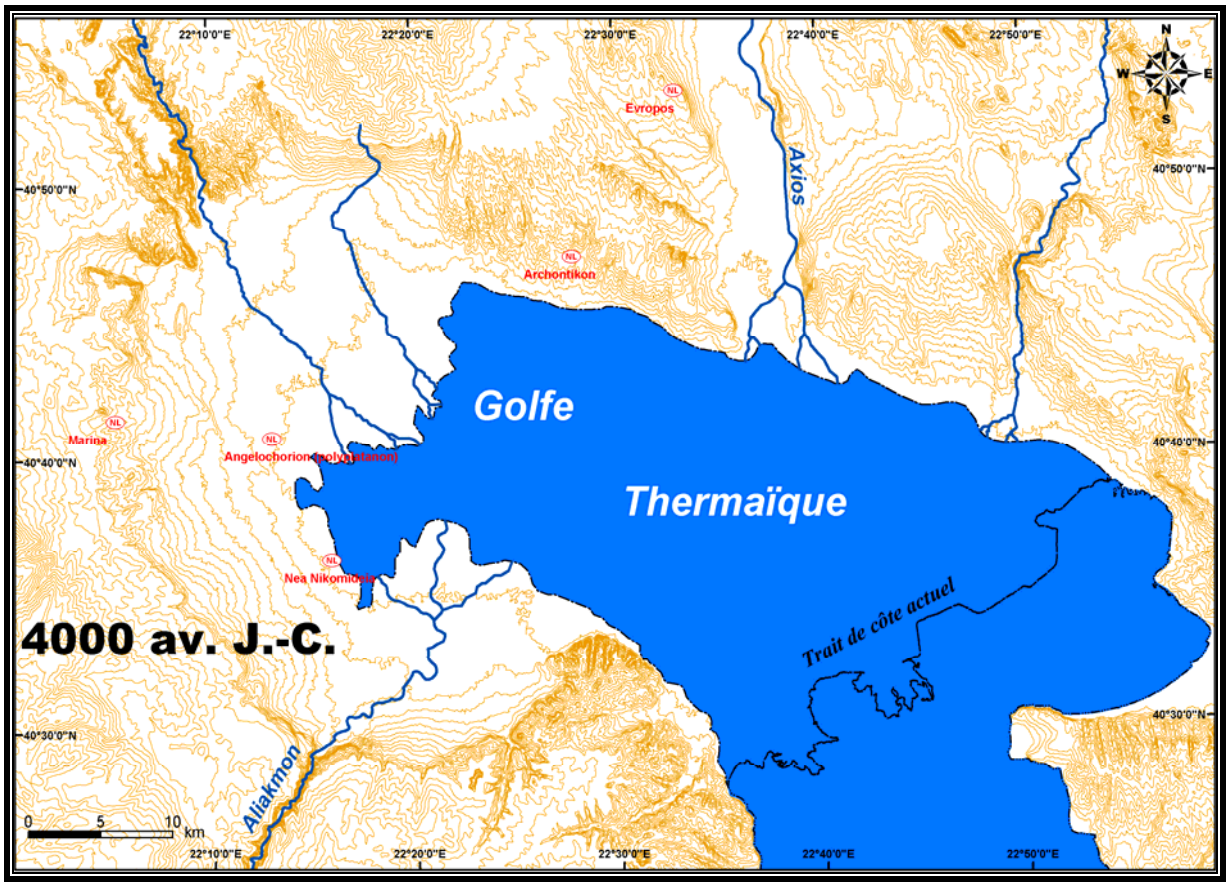


Figure 92 : Configuration des paysages en 4 000 av. J.-C.

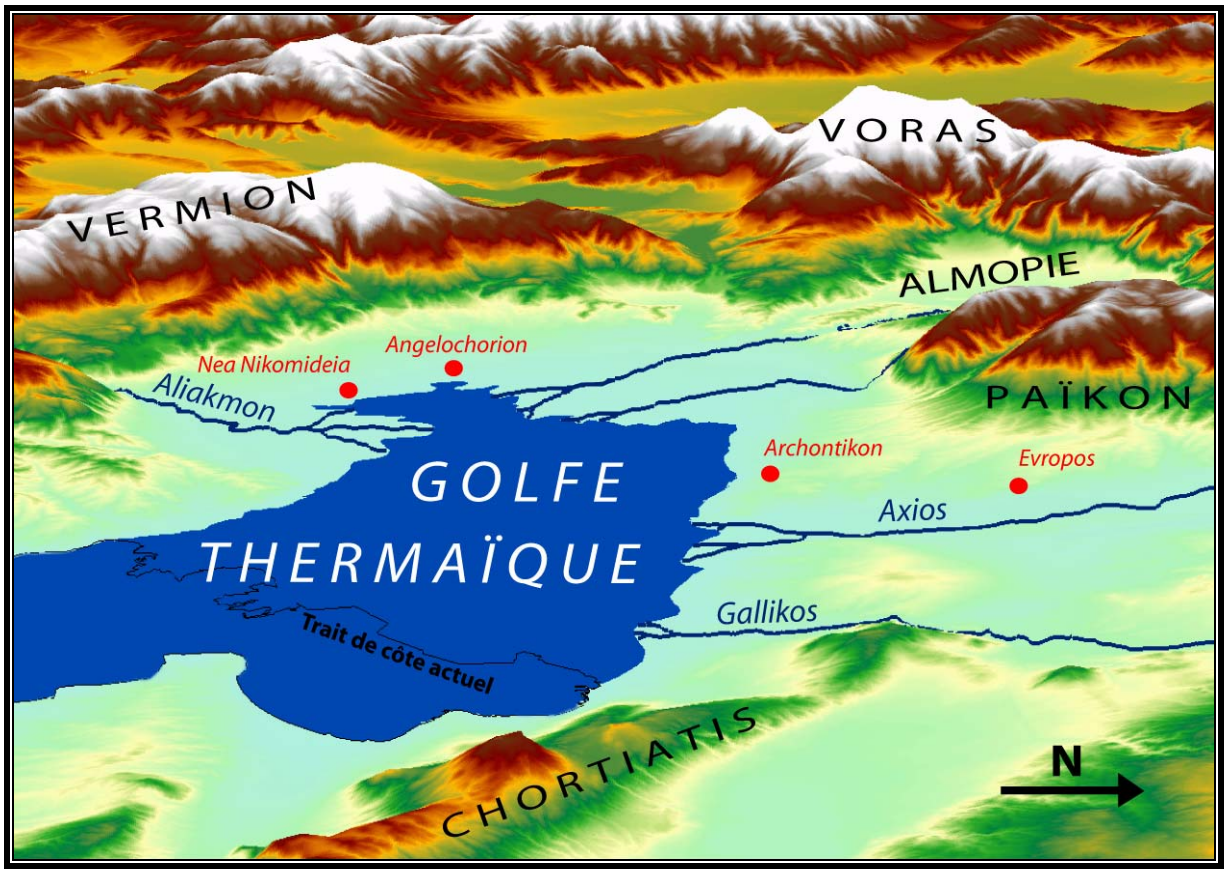


Figure 93 : M.N.T. des paysages en 4 000 av. J.-C.

3.3.1.3. Vers 2 500 av. J.-C. : une lagune s'édifie à l'ouest du golfe marin

Le ralentissement confirmé de la courbe de remontée du niveau marin et l'augmentation des apports alluvionnaires des cours d'eau engendrent la poursuite de progradation du delta de l'Aliakmon du sud vers le nord. L'édification d'une levée alluviale de plusieurs kilomètres de long parallèlement au trait de côte conduit progressivement à la formation d'un cordon littoral agissant comme une barrière naturelle (figures 94 et 95), ce qui limite ainsi considérablement les apports d'eau et de sédiments marins. Une lagune se met alors en place à l'ouest en arrière d'un cordon littoral constitué par les alluvions de l'Aliakmon : les sites néolithiques de Nea Nikomideia et d'Angelochorion ne se trouvent plus en contact direct avec la mer mais sur les marges d'une vaste étendue d'eau saumâtre. Le comblement de la partie occidentale du golfe Thermaïque amorcé vers 3 000 – 2 500 av. J.-C se poursuit vers l'est.

Outre le retrait progressif de la mer de l'ouest vers l'est, un mouvement de recul du trait de côte s'observe du nord vers le sud. Le site néolithique d'Archontikon localisé dans les collines du Païkon oriental et situé à quelques kilomètres de la mer, subit également une modification du milieu. La lagune observée à proximité de Nea Nikomideia semble s'étendre jusqu'au pied du massif occidental du Païkon.

D'après les résultats chronostratigraphiques des séquences sédimentaires, il est possible d'estimer l'existence d'un golfe marin peu profond puis d'une lagune au pied du Païkon entre 4 000 et 2 500 av. J.-C. Aux environs de Pella, la mer *stricto sensu* n'est donc déjà probablement plus présente vers 3 000 – 2 800 av. J.-C. En effet, le type de mollusques marins identifiés indique la prédominance d'un milieu saumâtre peu profond et fortement soumis à des variations rapides de salinité. Ceci permet de confirmer la constitution d'une lagune et le retrait notable du trait de côte vers le sud.

Les études sédimentologiques révèlent pour leur part des apports importants du fleuve Axios, au pied du site d'Archontikon, apports contribuant à appauvrir fortement le milieu en mollusques marins (baisse très sensible de la salinité). D'autre part la texture indique clairement une forte énergie de transport ; des dépôts constitués de sables moyens à grossiers alternent avec des lentilles limoneuses.

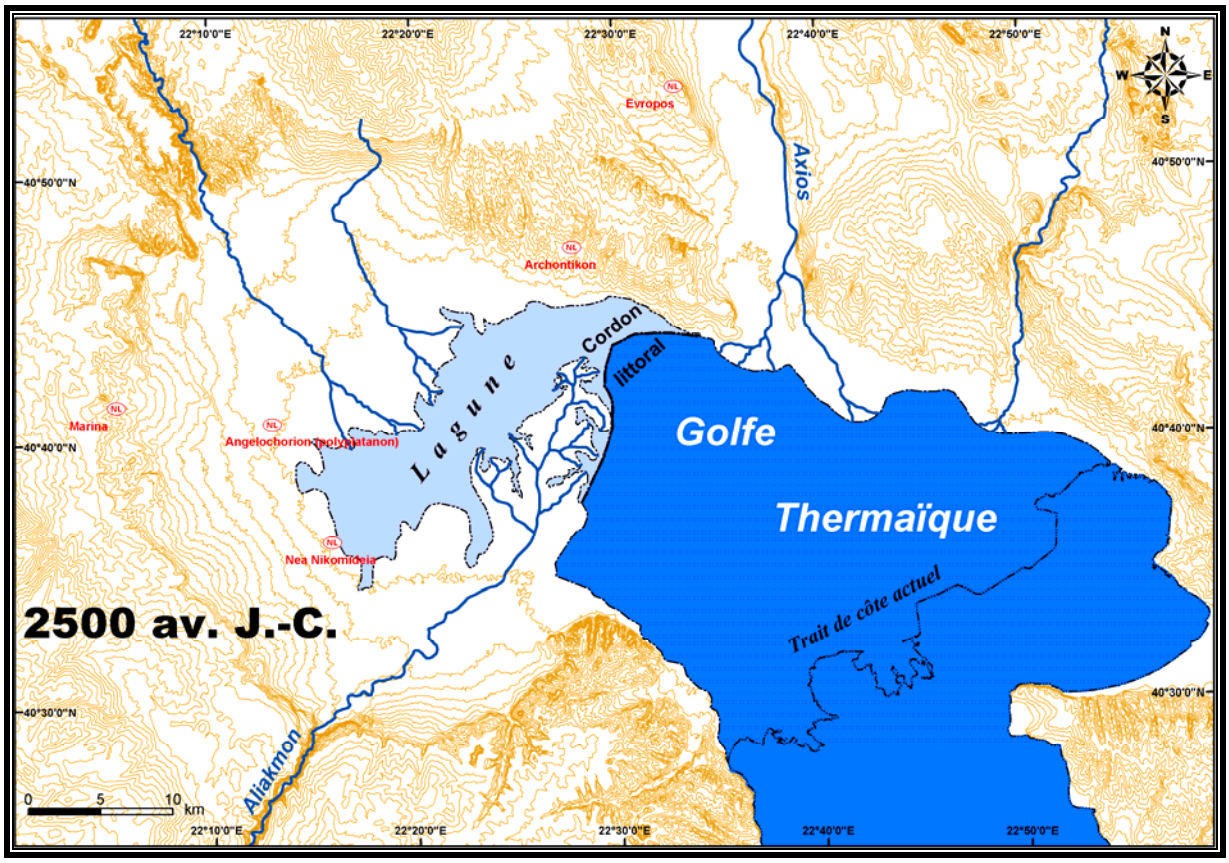


Figure 94 : Configuration des paysages en 2 500 av. J.-C.

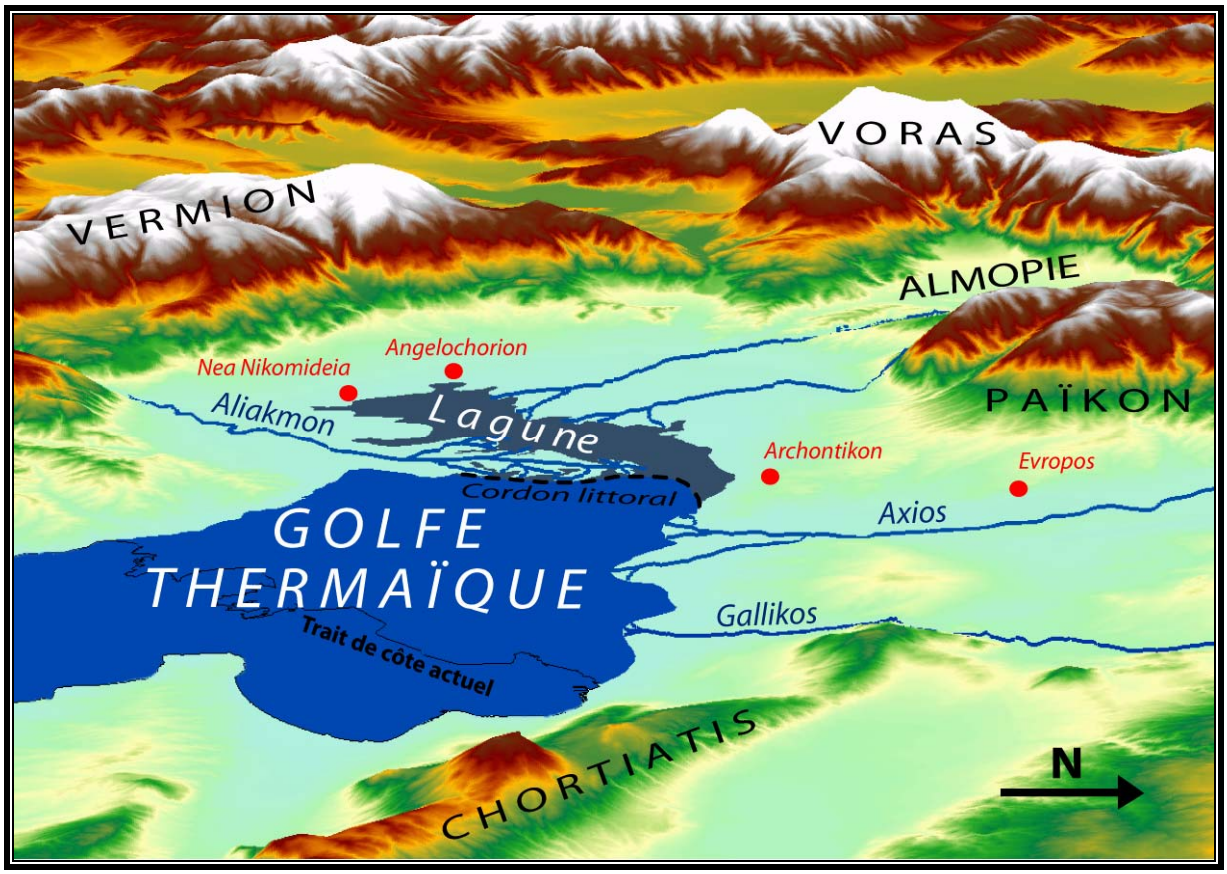


Figure 95 : M.N.T. des paysages en 2 500 av. J.-C.

3.3.1.4. 1600 av. J.-C. : comblement rapide du golfe et apparition d'un secteur lacustre à l'ouest

Alors que la remontée du niveau marin se poursuit à un rythme de plus en plus lent (-4 m environ par rapport à l'actuel), le tracé de l'Aliakmon, grâce à des apports conséquents d'alluvions, s'infléchit progressivement vers le sud-est (figures 96 et 97). Sans doute faut-il voir ici des effets induits par la tectonique et la paléodynamique littorale.

La persistance dans le paysage des anciennes levées alluviales créées par les défluviations successives du cours de l'Aliakmon confine définitivement le secteur situé à proximité des sites de Nea Nikomedeia et d'Angelochorion en une zone lacustre. Néanmoins, de fréquentes incursions de la mer contribuent à rendre le milieu saumâtre. Cette présence lacustre coïncide avec l'abandon définitif des deux sites d'occupation néolithique précédemment évoqués. Il est donc possible de relier cet abandon au développement de conditions insalubres, obligeant les populations à quitter la basse plaine en voie d'édification.

Le nouveau tracé suivi par l'Aliakmon provoque la création d'un nouveau système de lagunes à l'est, séparées les unes des autres par des cordons littoraux qui se rompent localement en permettant parfois de nouvelles incursions marines. Un cordon littoral principal ceinture la partie occidentale du golfe et de nombreux paléocordons se transforment en secteurs d'accumulation sableuse d'origine marine. Localement des dunes sableuses (d'origine éolienne) de faible développement s'édifient au centre de la plaine.

Dans le même temps, le delta créé par les sédiments de l'Axios progade en direction du sud-est et se dirige vers l'embouchure du Gallikos. Ce dernier cours d'eau n'a d'ailleurs guère subi de déplacement. Entre les deux parties terminales des cours d'eau se développe un golfe marin limité à l'ouest par une lagune peu profonde en proie à un colmatage rapide en raison de la progradation du delta de l'Axios.

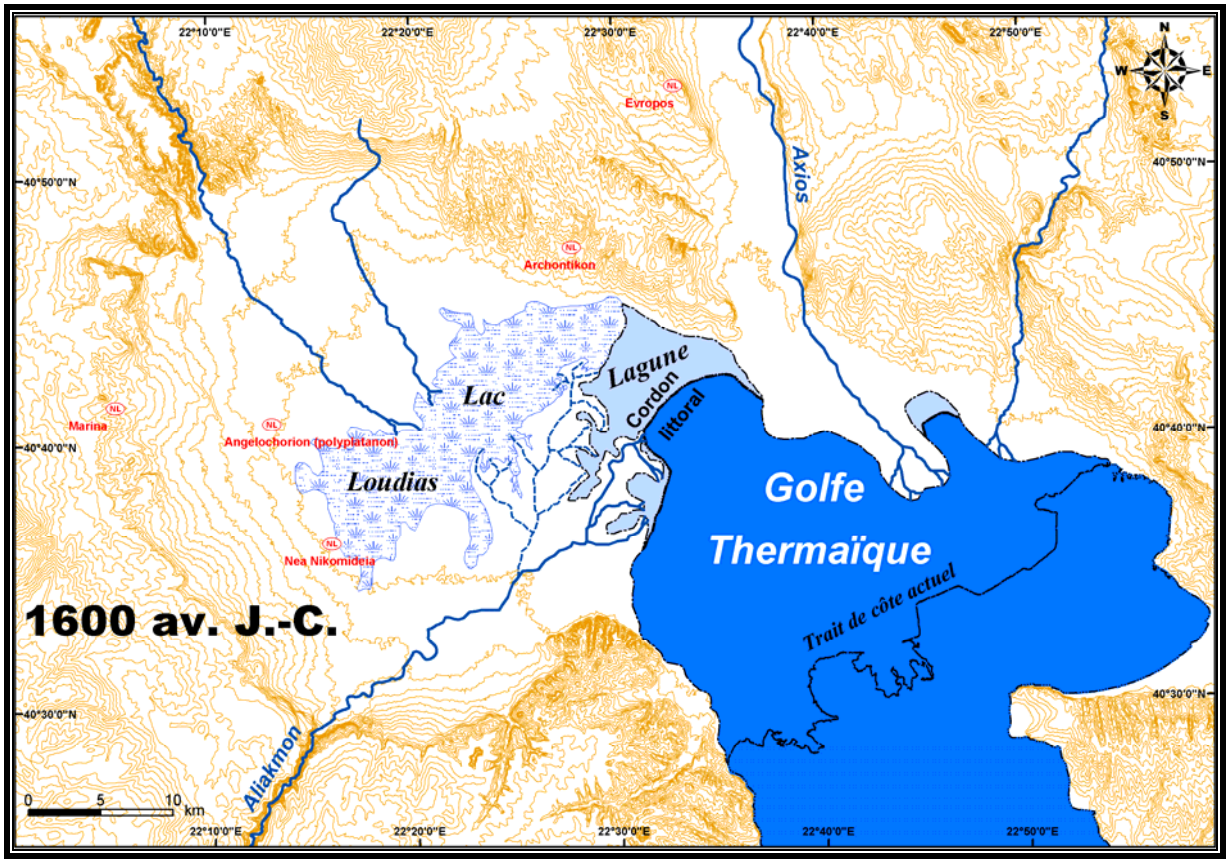


Figure 96 : Configuration des paysages en 1 600 av. J.-C.

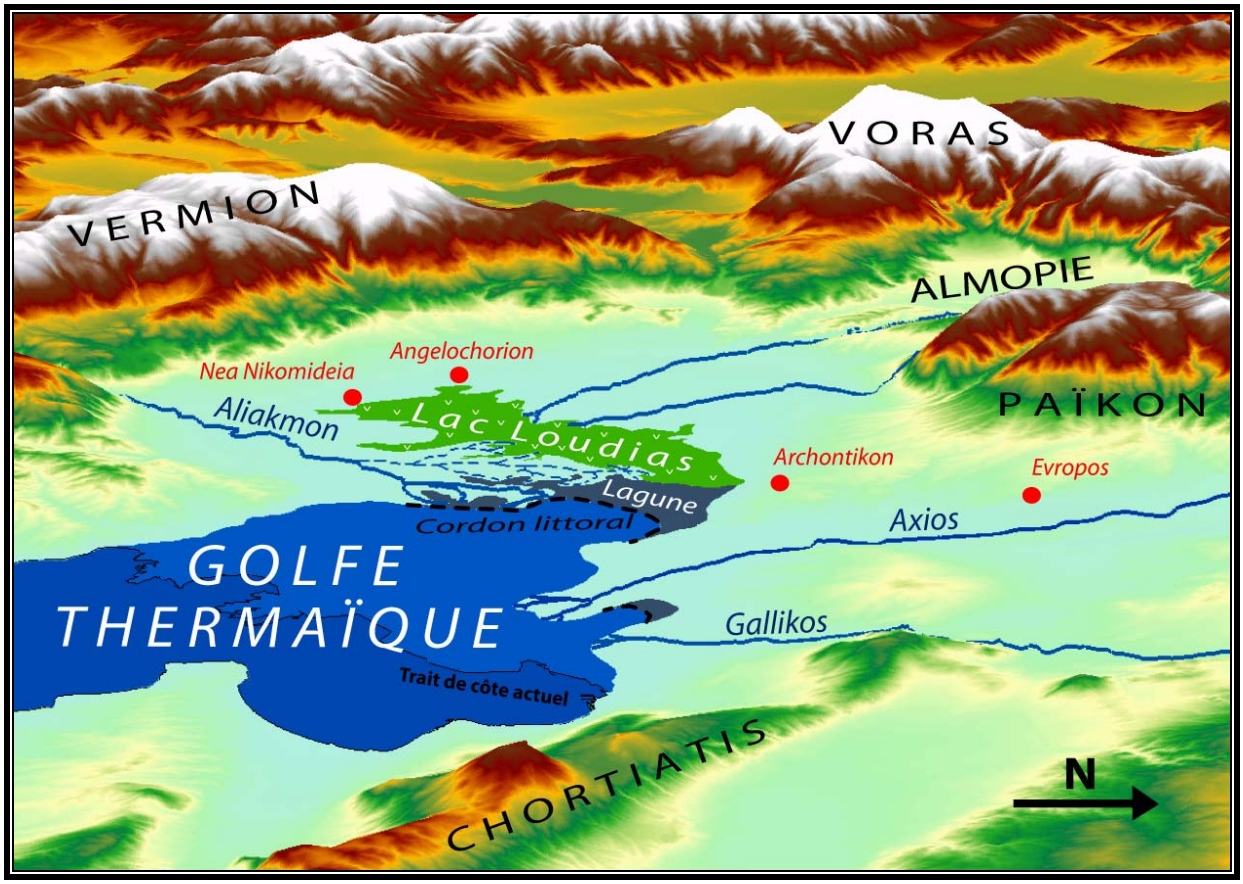


Figure 97 : M.N.T. des paysages en 1 600 av. J.-C.

3.3.1.5. 500-350 av. J.-C. : le lac Loudias occupe l'espace central de la plaine

L'information majeure délivrée par la présente reconstitution paléogéographique est la présence d'une vaste zone lacustre au pied de la ville de Pella entre 500 et 350 av. J.-C (figures 98 et 99). Le déplacement vers l'Est du trait de côte entraîne également une migration de l'étendue lacustre dans la même direction. Pella qui n'était déjà plus véritablement au bord de la mer en 1600 av. J.-C., se retrouve pendant le règne des rois de Macédoine sur la marge septentrionale d'une zone lacustre et palustre.

Cependant, l'accès depuis la mer semble toujours possible grâce à la construction d'aménagements dans les lagunes séparant le lac de la mer. Pella reste donc une ville portuaire malgré des transformations rapides du paysage ; des traités nous renseignent sur le sujet : l'un d'eux mentionne la construction de navires de guerre en 290 av. J.-C., ordonnée par Demetrius (Hammond, 1989). Cette nouvelle information contredit les récits d'Hérodote et de Thucydide qui mentionnaient la présence de Pella sur une étroite bande de terre le long de la mer.

D'un point de vue morphologique, un nouveau changement du cours de l'Aliakmon, s'orientant toujours plus vers le sud-est, entraîne la création de nouvelles levées alluviales et l'abandon des levées antérieures. Ces dernières se comportent alors comme des digues naturelles et favorisent la genèse de plusieurs lagunes successives, séparées les unes des autres par des cordons littoraux composés d'alluvions de l'Aliakmon.

Dans le même temps, le cours de l'Axios se divise en deux branches : la première poursuit son cours vers l'est et rejoint celui du Gallikos[1] (Echeidoros). En arrière de la confluence se développe une zone de marais saumâtres. La seconde branche se dirige vers l'ouest et longe le piémont du massif du Païkon. Les sources littéraires (*cf. supra*) indiquent la présence d'un fleuve séparant la ville de Pella en deux : le site principal de Pella est déconnecté de la forteresse royale par un cours d'eau dont le nom est incertain car il prend successivement le nom de Borboros puis de Loudias. L'origine de changement d'appellation est inconnue et il faut sans doute comprendre dans le deuxième nom un cours d'eau circulant entre les murs de la forteresse et qui se connecte au lac éponyme lui-même relié à la mer. Les résultats sédimentologiques et l'analyse des supports satellitaires ont permis de vérifier l'existence d'un défluent de l'Axios (*Borboros, Intermurali Amni*) au pied de la ville et qui alimentait, conformément à la description de Strabon, le lac Loudias (p. 194).

[1] Hérodote, VII, 123, 124 (cf. *supra*)

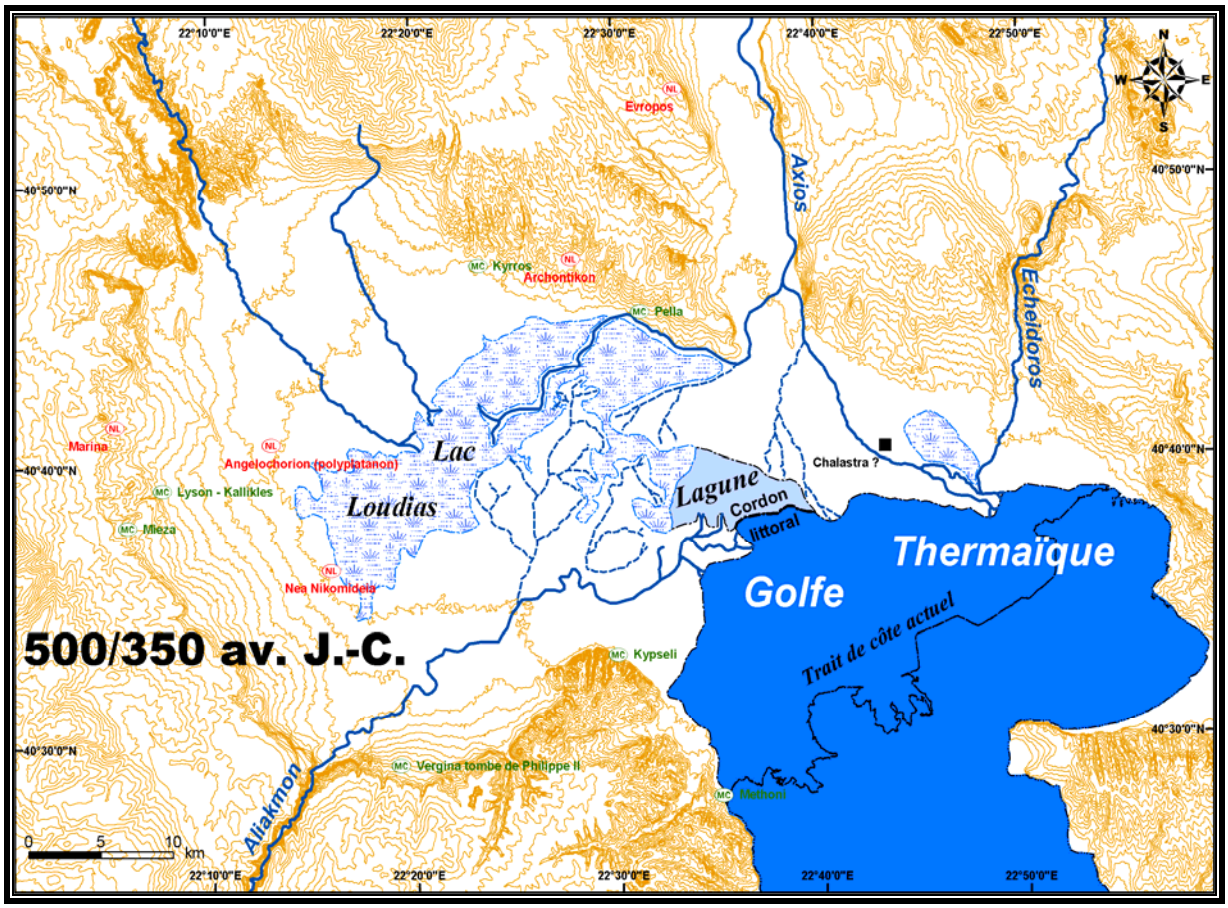


Figure 98 : Configuration des paysages en 500-350 av. J.-C.

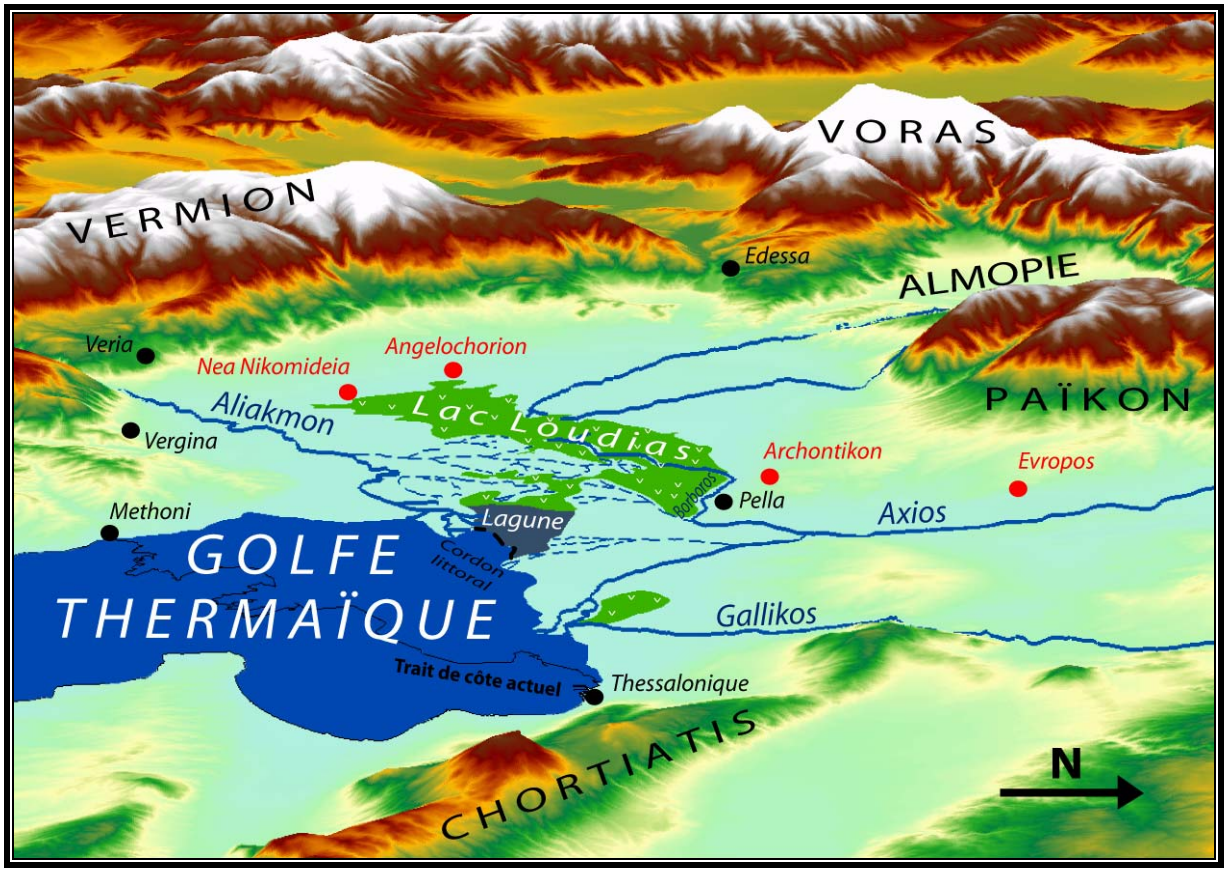


Figure 99 : M.N.T. des paysages en 500-350 av. J.-C.

La branche occidentale de l'Axios avance rapidement dans l'étendue lacustre et constitue un delta intérieur, laissant dans le paysage des levées alluviales qui scindent en deux le lac Loudias et qui se rapproche à courte distance (quelques centaines de mètres à peine) d'une ancienne levée de l'Aliakmon.

3.3.1.6. Ier siècle ap. J.-C. : un retrait important de la mer qui enclave Pella à 22,2 km de la mer

Même si la ville de Pella est toujours accessible par bateau depuis la mer, la distance qui sépare l'ancienne capitale du golfe Thermaïque est évaluée par Strabon à 22,2 km (120 stades). L'extension du lac Loudias est maximale au I^{er} siècle ap. J.-C. (figures 100 et 101). Cependant, une progressive contraction des eaux est observée vers le sud, probablement en raison d'une baisse des apports en eau douce des cours d'eau provenant des massifs du Vermion à l'ouest et du Païkon au nord. Dans le secteur de Pella, les marais occupent encore l'espace au pied des remparts de la forteresse, conformément à la description de Tite-Live.

Le cours de l'Aliakmon continue à dévier son cours vers le sud-est pour s'orienter WSW-ENE. Les nombreux paléochenaux créés par les changements répétés de ce cours d'eau contribuent à fractionner des étendues lacustres et saumâtres de faible superficie entre le lac Loudias et la mer.

L'Axios a abandonné sa branche la plus orientale, qui en 500-350 av. J.-C. confluait avec le Gallikos, pour disposer désormais d'un trajet nord-sud. Les embouchures de l'Axios et de l'Aliakmon tendant à se rapprocher, annoncent la fermeture de la partie occidentale du golfe Thermaïque. La morphologie du trait de côte, en forme d'arc de cercle, ainsi que la présence de nombreux paléochenaux des fleuves Aliakmon et Axios, a favorisé le développement d'un système de lagunes parallèle au trait de côte. Celui-ci ceinture le fond du golfe, peu profond, et est fortement influencé par d'importants apports d'eau douce, ayant pour conséquence de modifier très rapidement la salinité du milieu et de diminuer le nombre de mollusques marins.

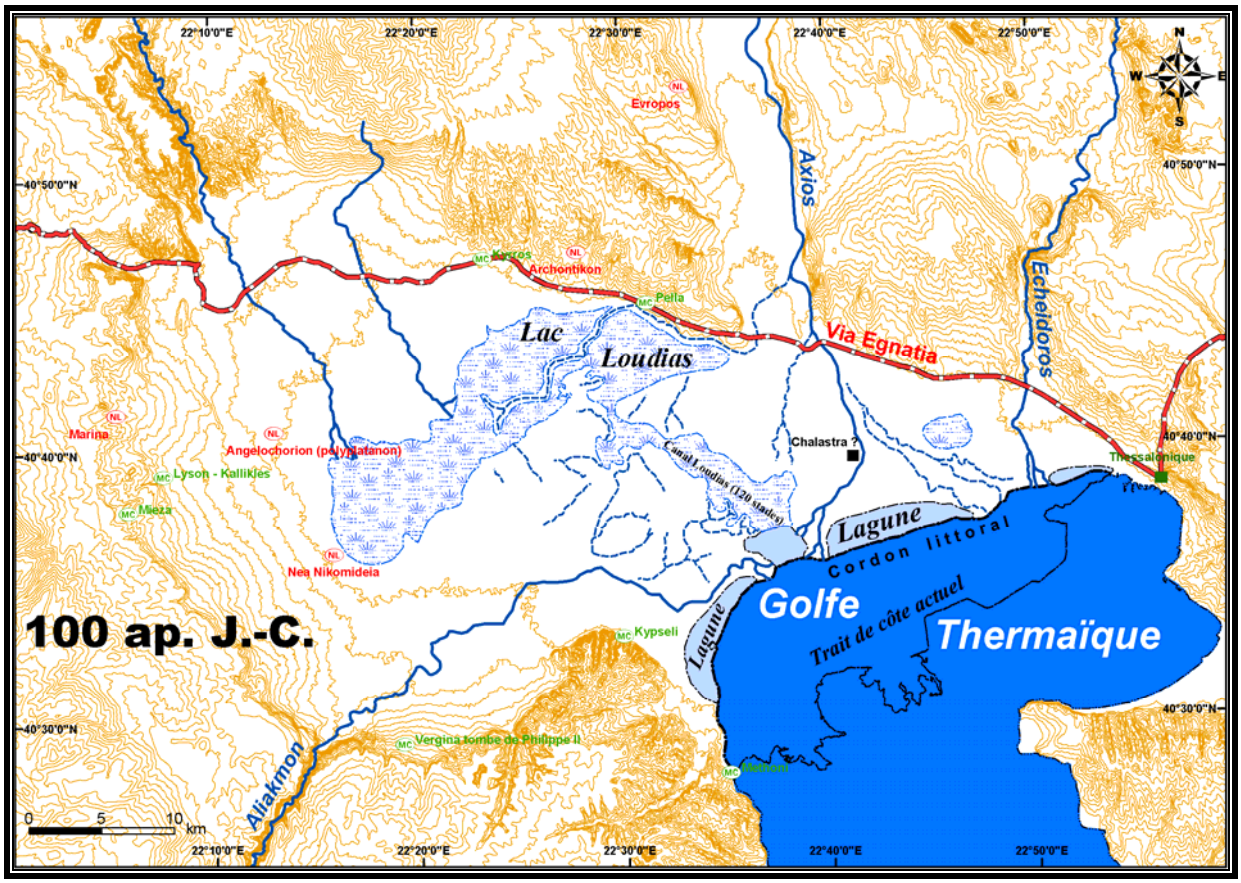


Figure 100 : Configuration des paysages en 100 ap. J.-C.

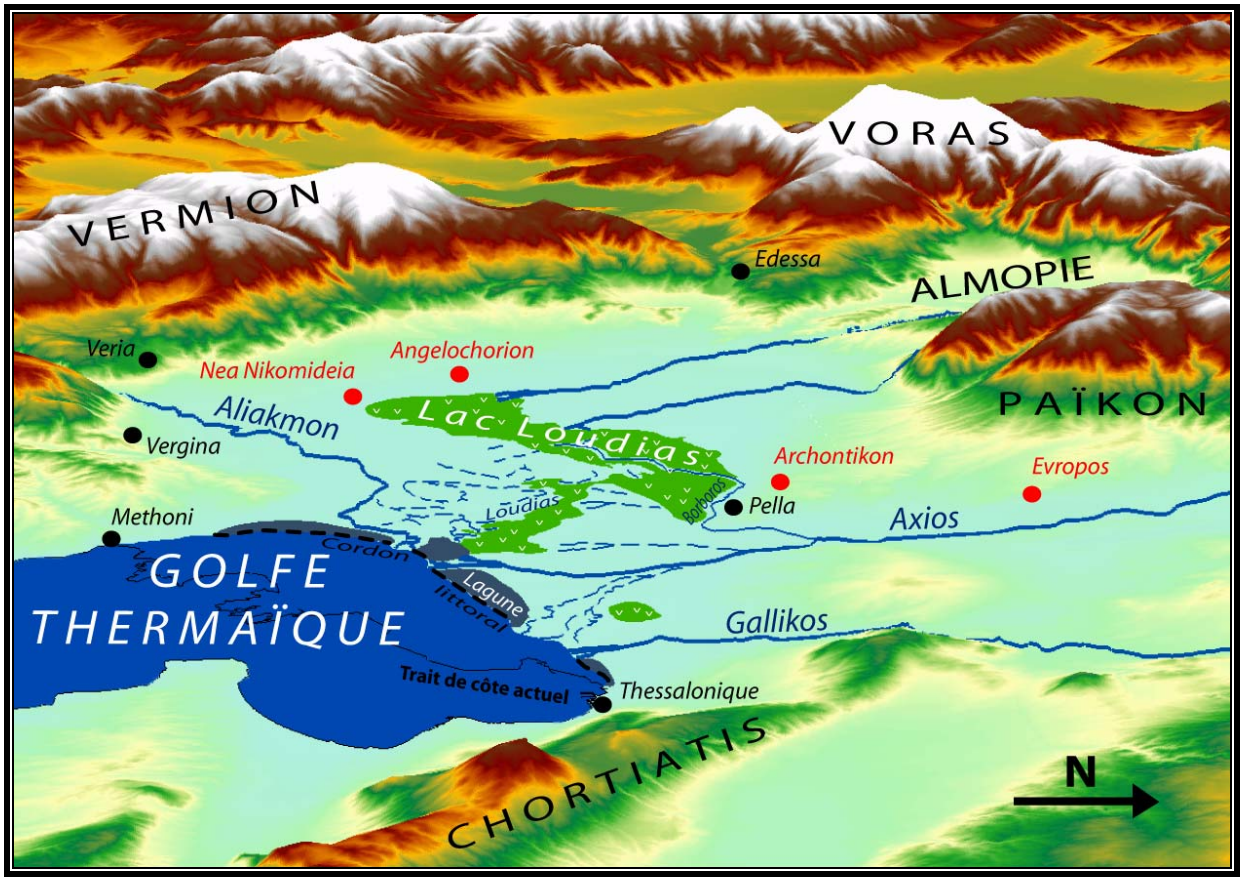


Figure 101 : M.N.T. des paysages en 100 ap. J.-C.

3.3.1.7. 300 ap. J.-C. : fermeture du golfe marin et contraction du lac Loudias

Au début du IV^{e} siècle ap. J.-C., la partie occidentale du golfe Thermaïque est définitivement comblée. Le rapprochement des embouchures deltaïques des fleuves Aliakmon et Axios a très certainement favorisé la fermeture totale du golfe (figures 102 et 103).

L'utilisation des marqueurs archéologiques indique que le pont romain de Klidhi semble marquer le point de fermeture du golfe marin. Même si les conditions de construction restent encore en suspens (sur un ou plusieurs fleuves, sur un cordon littoral ou sur un grau ?), il n'en demeure pas moins que la largeur du pont estimée à environ 200 m laisse entrevoir un passage important d'eaux douces ou saumâtres. Ce pont permet le passage direct depuis la ville de Pydna vers Thessalonique et supporte une voie, connexe à la Via Egnatia, qui longe le littoral. Ce nouvel itinéraire raccourcit donc considérablement le temps de parcours entre ces deux villes et traduit la chute de l'importance politique et du rayonnement culturel de la ville de Pella.

La superficie du lac Loudias pour sa part s'est fortement réduite et Pella est désormais enclavée à l'intérieur des terres. En déclin depuis la conquête du Royaume par Rome et l'avènement de Thessalonique comme capitale régionale, Pella perd son statut de centre névralgique administratif ; son contact avec la mer (canal) n'a donc pas perduré et les infrastructures portuaires (?) progressivement abandonnées.

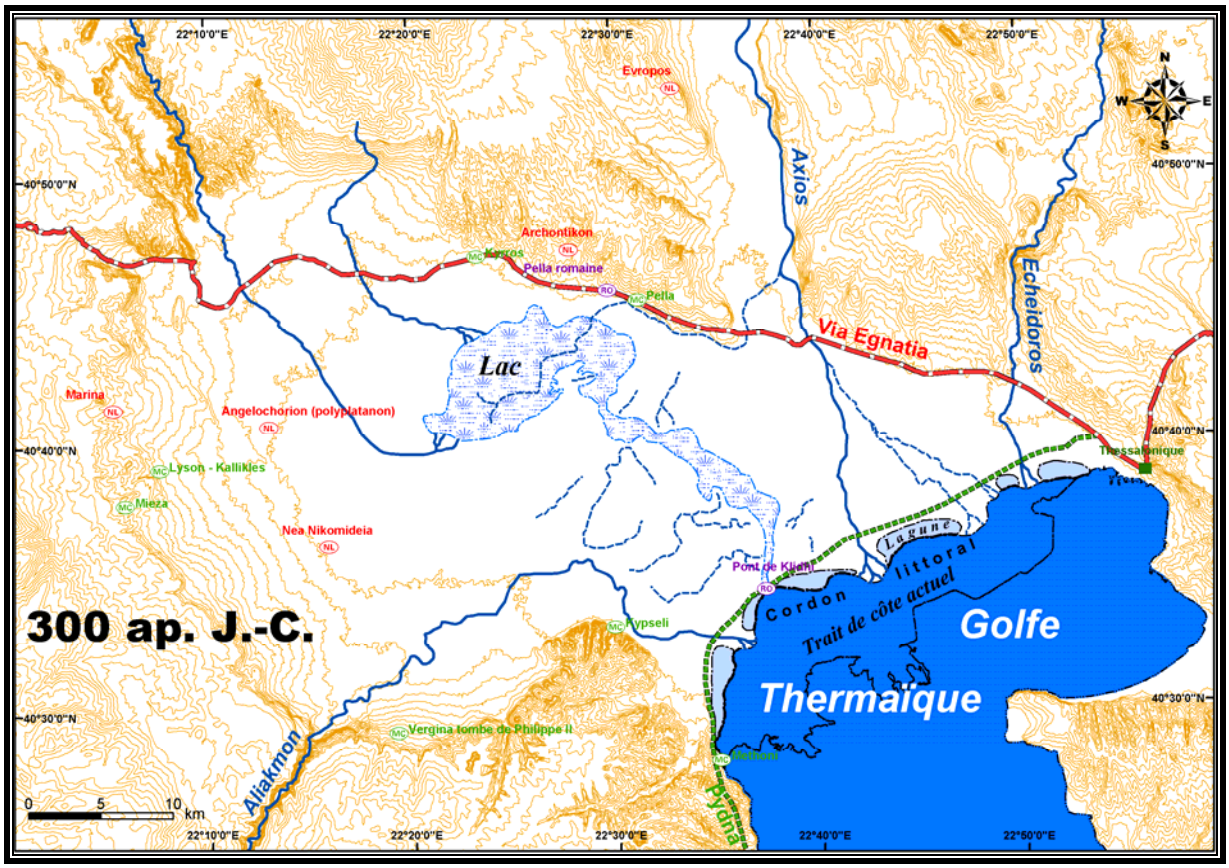


Figure 102 : Configuration des paysages en 300 ap. J.-C.

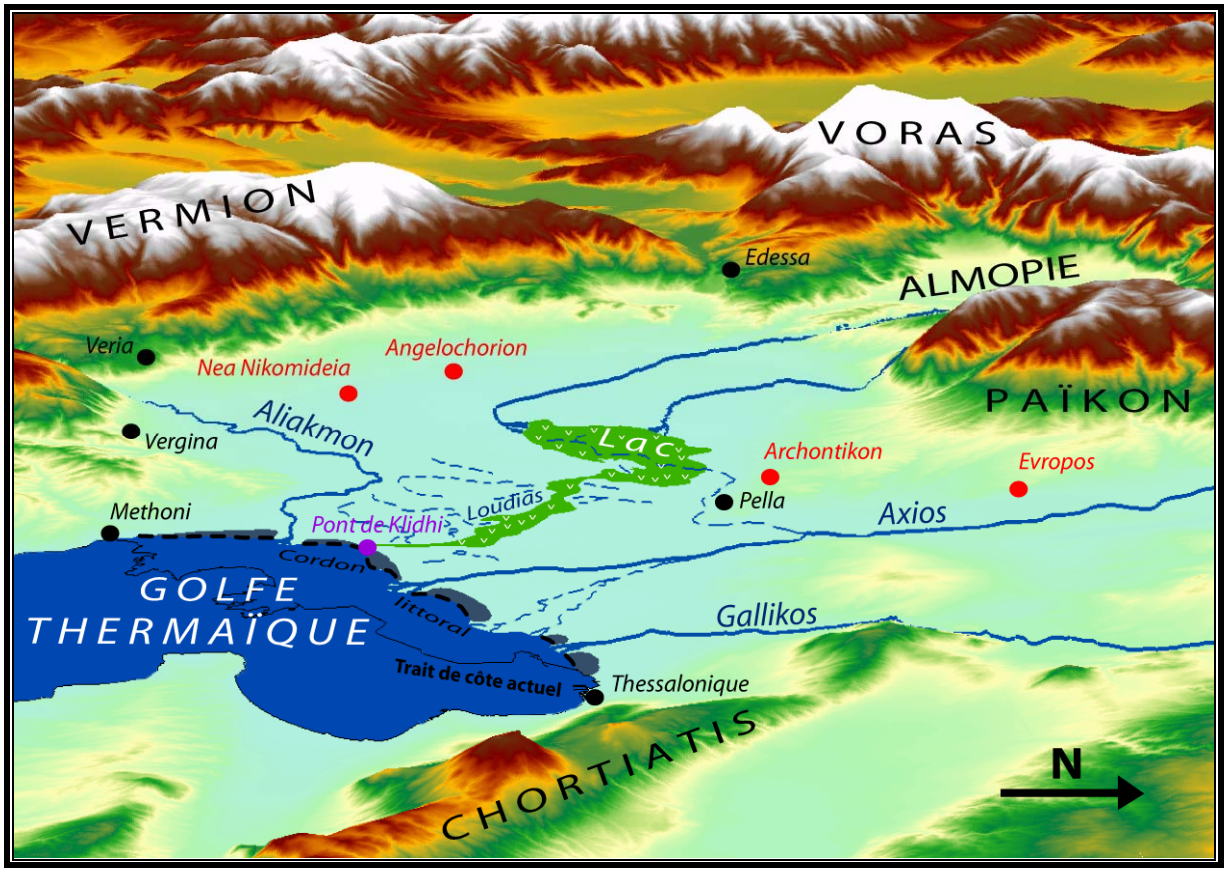


Figure 103 : M.N.T. des paysages en 300 ap. J.-C.

3.3.1.8. XIX^e siècle : une faible avancée du trait de côte depuis la fin de l'Antiquité et la présence du lac de Giannitsa au centre de la plaine

Le fait morphologique majeur observé entre la fin de l'Antiquité et le XIX^e siècle est la faible avancée du trait de côte. Le pont romain de Klidhi n'est situé qu'à 3-4 km à peine d'une lagune qui longe la côte (figures 104 et 105). Alors que d'autres secteurs deltaïques méditerranéens observent une progradation marquée du trait de côte (Fouache, 1999) à la même époque, il semble que la plaine de Thessalonique n'ait pas été assujettie à un alluvionnement notable pendant les périodes byzantine et ottomane. Une lagune ceinture complètement le golfe à l'ouest et assure la transition entre la mer et la plaine fluvio-deltaïque. A l'est, à quelques kilomètres seulement de la ville de Thessalonique le Gallikos se jette dans de vastes marais littoraux que les Turcs ont appelé *Batac* (Cousinéry, 1831)

Au XIX^e siècle, un stade lacustre-palustre marque les paysages au centre et à l'ouest de la plaine. E.M. Cousinéry (1831) soulignait au début du XIX^e siècle une période d'inondation exceptionnelle dans l'ouest de la plaine au cours de laquelle les terres furent submergées sur une superficie de 16 km² pendant environ une décennie. L'Aliakmon fut rendu responsable de cette catastrophe. Il est certain que les apports substantiels en eau douce des cours d'eau issus des massifs à l'ouest et au nord de la plaine sont la conséquence d'un radoucissement des températures, de l'augmentation de la pluviométrie (fin du Petit âge de glace dans les Balkans, Hughues *et al.*, 2006) et du débit des cours d'eau dans la seconde moitié du XVIII^e siècle.

D'un point de vue hydrographique, l'information principale réside dans le fait que l'Axios et le Loudias forment un cours commun à quelques kilomètres de leur embouchure dans le golfe Thermaïque. La ville de Chalastra, située à quelques centaines de mètres du cours de l'Axios, est localisée sur le pourtour occidental d'un golfe de petite dimension développé entre le cours actuel et un paléo-delta à l'est.

Le cours de l'Aliakmon présente des méandres de très grande ampleur notamment en rive gauche, comme l'indiquent les cartes du début du XX^e siècle (Goltz, 1894 ; Neumann, 1894 ; Strück, 1908 ; Ancel, 1930). Ces méandres ont cessé de faire partie de la bande active lors de la régularisation du tracé dans le cadre des aménagements agricoles des années 1930 destinés à canaliser le cours de l'Aliakmon pour éviter de nouvelles crues.

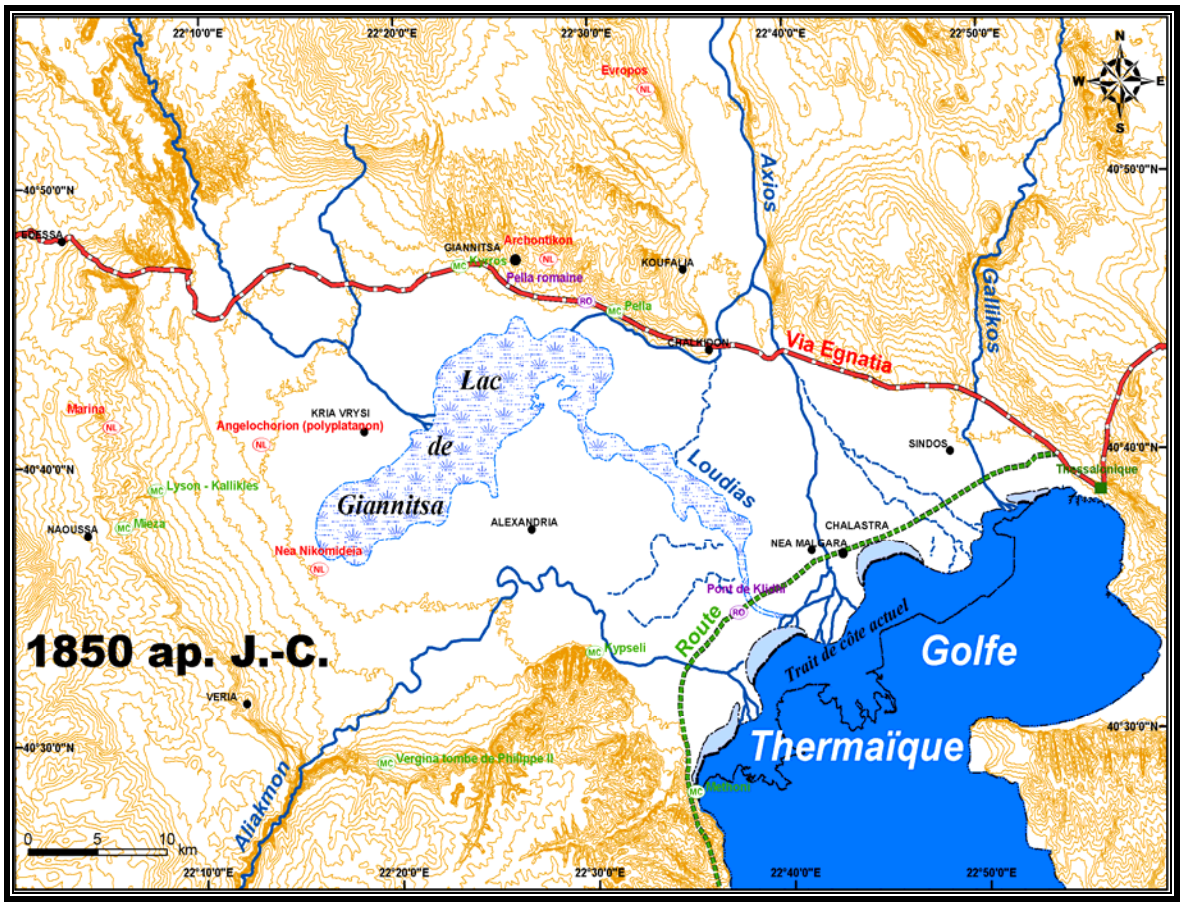


Figure 104 : Configuration des paysages au XIX^{e} siècle

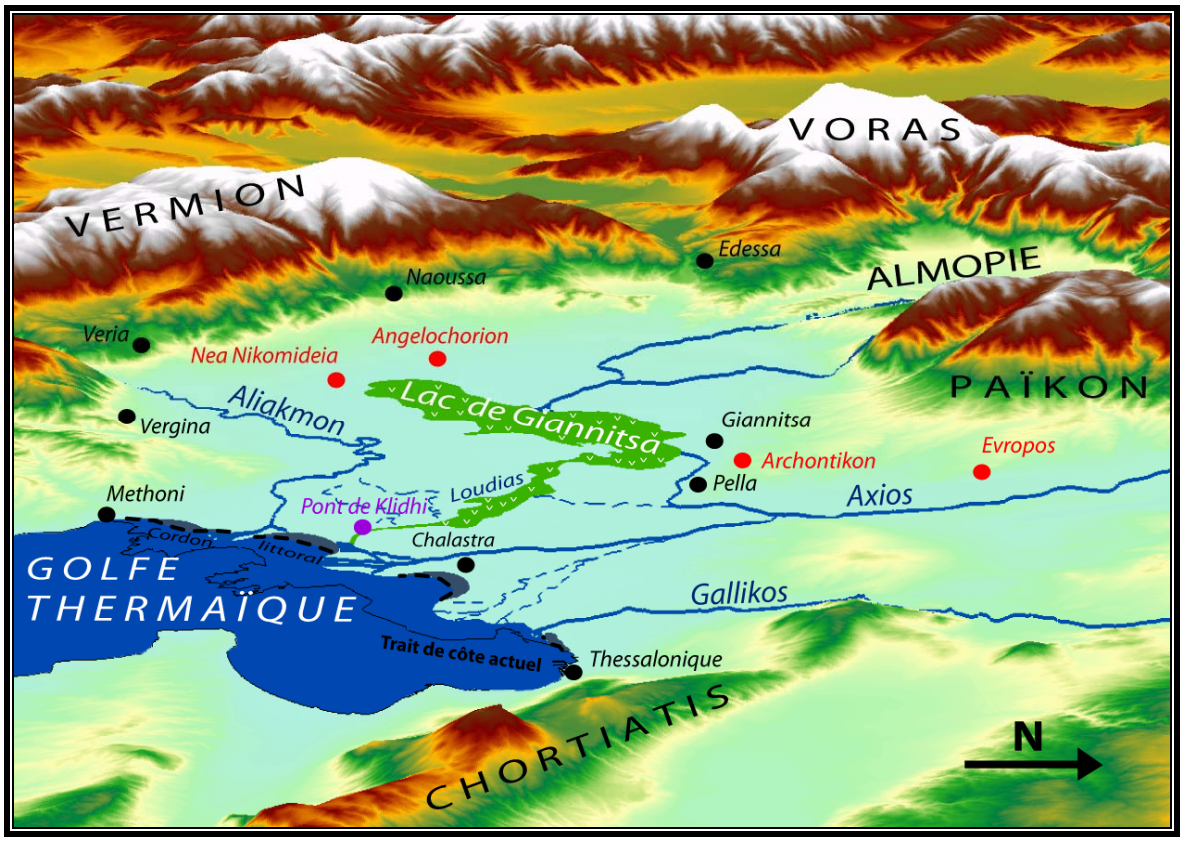


Figure 105 : M.N.T. des paysages au XIX^{e} siècle

3.3.1.9. XXI^{e} siècle : une plaine de 2 200 km² toujours progradante à l'ouest

Les aménagements agricoles et hydrauliques des années 1930 et 1950 ont considérablement modifié les paysages de la plaine. Les cours d'eau ont vu leurs tracés déviés et canalisés, le trait de côte a été régularisé puis endigué entre l'embouchure des fleuves Gallikos et Axios, des barrages ont été construits sur ce dernier fleuve et sur l'Aliakmon réduisant ainsi considérablement les apports liquides et solides. Il reste cependant de nombreux héritages morphologiques qui témoignent des changements successifs du tracé des cours d'eau. A l'est tout d'abord, deux paléochenaux de l'Axios de longueur équivalente (15 km environ) sont toujours présents entre les villes de Chalastra et de Sindos (figures 106 et 107) ; ensuite au nord du pont de Klidi et à proximité de la ville de Trikala, deux anciens tracés de l'Aliakmon subsistent et les levées alluviales créées dominent de 2 à 3 mètres le paysage dans le secteur.

Désormais les tracés de l'Aliakmon, dont le cours n'a cessé de se déplacer toujours plus vers l'est, et l'Axios, ont des embouchures très proches et ne menacent plus de colmater le port de la ville de Thessalonique, comme certains auteurs le prévoyaient aux XIXe siècle (Holland, 1815 ; Boué, 1840).

Cependant, même si certains auteurs notent depuis plusieurs décennies un retrait du trait de côte à l'est de la plaine (Stiros, 2001 ; Kapsimalis, 2005), la progradation des fleuves Axios et Aliakmon est toujours attestée dans la partie occidentale. En effet, la forme digitée des embouchures deltaïques et le panache de turbidité de l'Axios observé sur les supports satellitaires en sont les témoignages les plus convaincants. De récentes études menées dans le secteur de Methoni-Nea Agathoupolis (Ghilardi, 2004, 2006) attestent d'un colmatage rapide de la baie grâce à un transfert sédimentaire important et confirment l'idée d'une progradation active à l'est. Le port actuel de Nea Agathoupolis est actuellement en proie à un colmatage progressif.

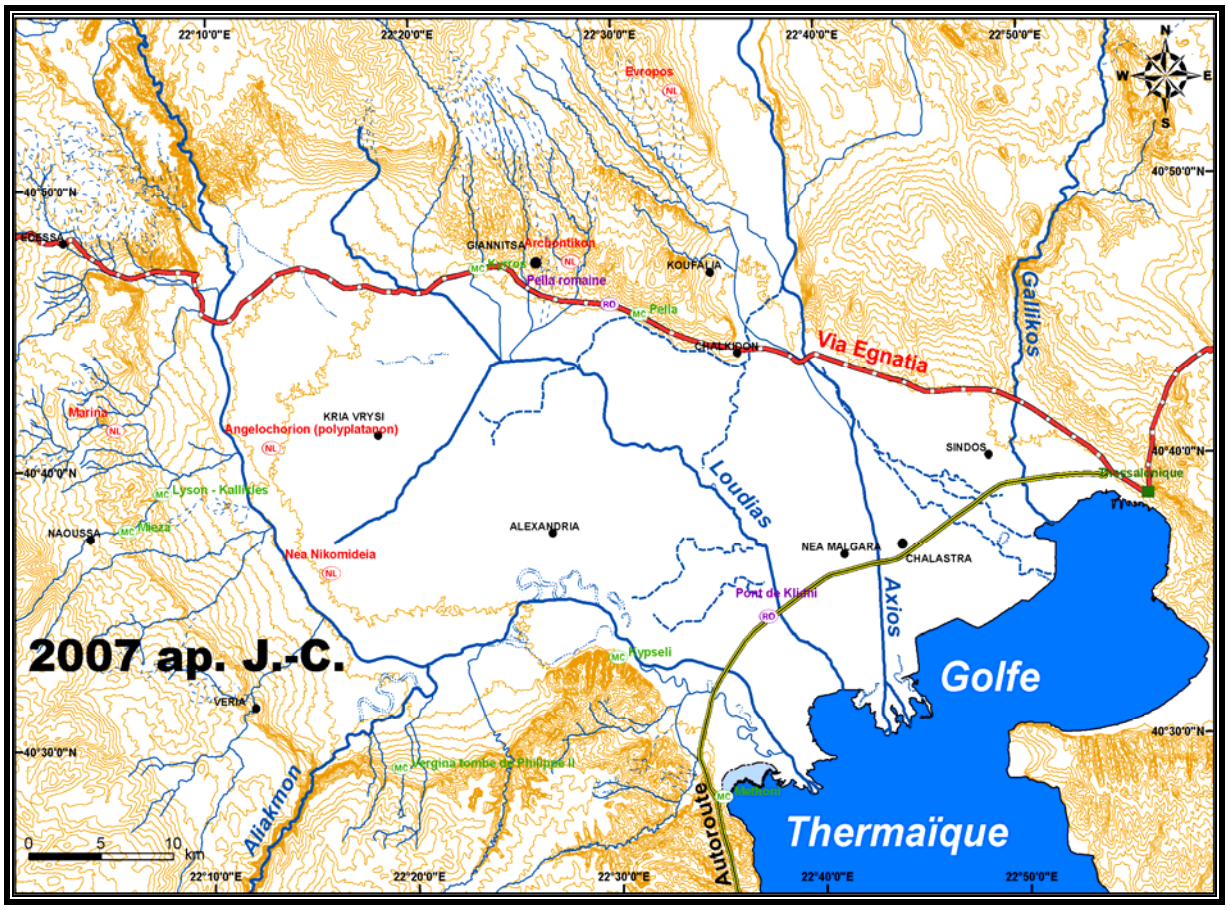


Figure 106 : Configuration des paysages en 2 007

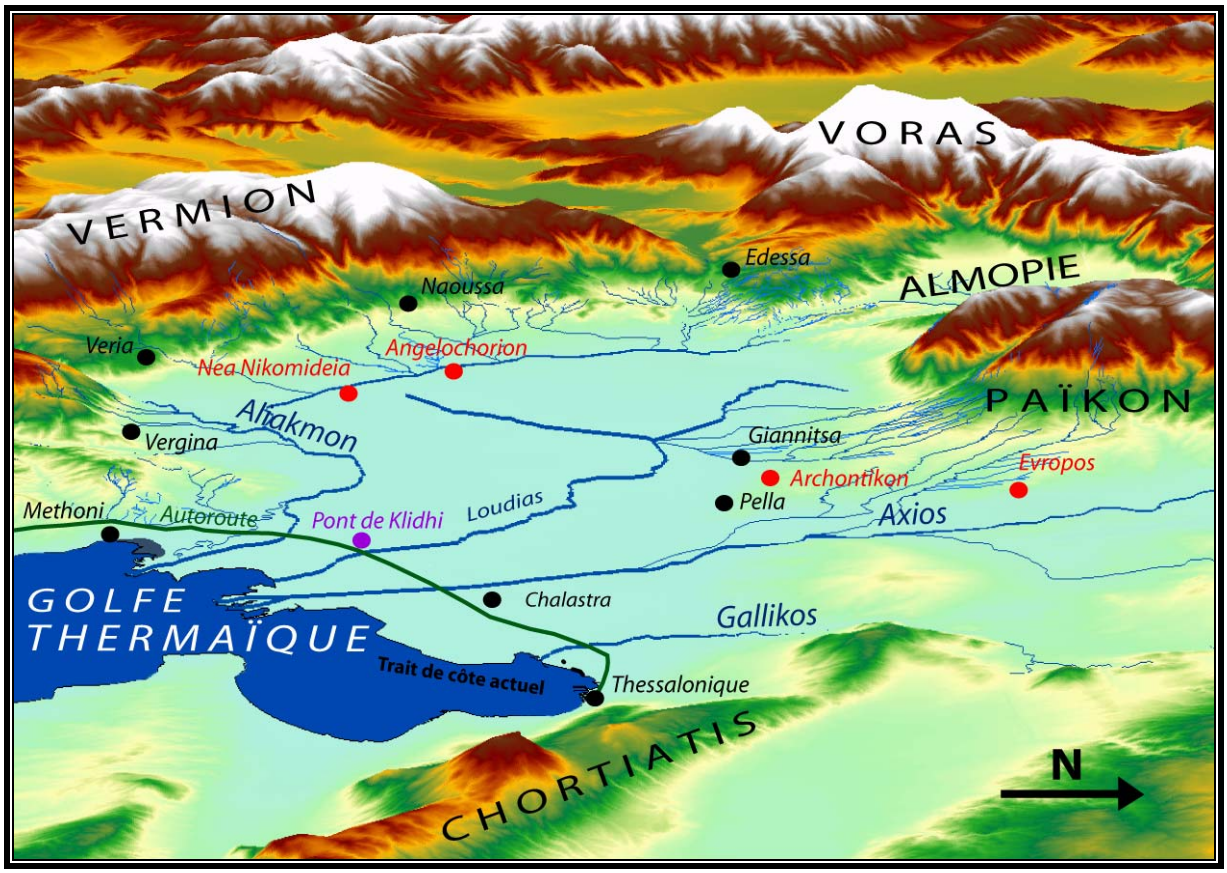


Figure 107 : M.N.T. des paysages en 2 007

3.3.2. Discussion autour des sources littéraires antiques évoquant l'évolution des paysages

Le nouveau scénario paléogéographique proposé dans la présente thèse se fonde sur une approche paléoenvironnementale où sont associés divers supports numériques. Au cours de la deuxième partie, un minutieux travail d'exégèse des sources documentaires s'échelonnant depuis l'Antiquité jusqu'au XIX^{e} siècle a mis en évidence une mobilité évidente du littoral et du tracé des cours d'eau. Il convient désormais de confronter les récits avec la reconstitution nouvellement établie afin de les replacer dans un contexte d'évolution rapide des paysages. La perception et l'acception des unités géographiques telles que nous les connaissons aujourd'hui, notamment celles de la mer, d'un lac ou d'un fleuve, n'ont pas toujours été perçues de façon identique dans les sources littéraires anciennes ou plus récentes. Un certain recul est nécessaire pour replacer ces descriptions dans leur contexte géographique.

3.3.2.1. La mobilité du trait de côte pendant l'Antiquité : les perceptions d'Hérodote et de Thucydide

Hérodote et Thucydide au V^{e} siècle av. J.-C. mentionnent que la partie occidentale du golfe Thermaïque est occupée par un golfe marin au fond duquel est localisée la ville de Pella. Cependant le scénario établi permet de constater que la capitale macédonienne est située sur la marge septentrionale d'une vaste étendue lacustre dont il était bien difficile d'apercevoir les rives sud-ouest. La superficie probablement inhabituelle de ce lac et la communication évidente entre Pella et la mer laissent suggèrer donc une continuité spatiale du golfe Thermaïque.

Le port *stricto sensu* de Pella soulève également des interrogations. Si F. de Beaujour (1829) pense avoir identifié le bassin d'amarrage des bateaux avec ses anneaux en fer et ses pontons de débarquement des marchandises, il semble être épris d'un romantisme géographique. En effet, aucun géographe voyageur avant et après lui n'attestera de l'existence d'un port à Pella, certains (Desdevises-Du-Dézert, 1862) émettront l'hypothèse que le lac Loudias devait constituer une zone d'échouage des navires (de faible tirant d'eau ?).

Au V^{e} siècle av. J.-C., la partie centrale de la plaine actuelle de Macédoine centrale était occupée par un lac qui s'étendait depuis Nea Nikomideia au sud jusqu'à l'extrémité orientale du massif du Païkon, sur 30 km environ, pour environ 20 km dans sa plus grande

largeur. La superficie d'environ 300 à 400 km² de l'ancien lac Loudias devait laisser penser à un prolongement vers l'ouest de la mer.

3.3.2.2. La mobilité du réseau hydrographique confirmée par l'étude paléoenvironnementale

a) L'Aliakmon

Les sources littéraires anciennes décrivent le déplacement progressif de l'embouchure de l'Aliakmon de l'ouest vers l'est et l'étude paléoenvironnementale associée à l'analyse des données numériques a permis de confirmer les textes.

b) L'Amphaxitide : une localisation bien complexe en raison de la mobilité du cours de l'Axios

Ce territoire, contrairement aux autres territoires de la Macédoine, n'est pas d'origine historique mais possède une dénomination d'origine géographique.

W.M. Leake (1835) et A. Delacoulonche (1859) posaient le problème de la localisation de ce territoire et l'étymologie du nom suggérait un territoire inclus dans le Royaume de Macédoine se localisant entre deux bras de l'Axios ou de part et d'autre de ce fleuve (Kiepert). Se basant sur la configuration des paysages au XIX^{e} siècle, l'archéologue français proposa une origine souterraine à la branche la plus occidentale de l'Axios, les eaux jaillissant près de Pella après avoir traversé en souterrain le massif du Païkon. Cette théorie ne manqua d'ailleurs pas d'adeptes puisque T.A Desdevises-Du-Dézert (1862) partagea l'idée d'A. Delacoulonche.

F. Papazoglou (1988) délimita le territoire de l'Amphaxitide de manière conventionnelle. S'appuyant sur les sources historiques mentionnant ce territoire (Strabon et Ptolémée) à partir de l'époque du roi macédonien Philippe V, l'historienne proposa d'y inclure les territoires du bas Axios.

Le présent travail révèle une mobilité très rapide du tracé des cours d'eau, de l'Axios et de l'Aliakmon en particulier.

La division en deux branches de l'Axios assurée vers le V^{e} siècle av. J.C. peut expliquer géographiquement la création de ce territoire (figure 108). Pour rappel, le défluent

oriental de ce fleuve mélange ses eaux à celles du Gallikos alors que le défluent occidental passe au pied de Pella et se jette dans le lac Loudias (figure 108).

Le territoire ainsi créé est localisé entre les deux bras de l'Axios, compris entre les territoires de la Bottiée à l'ouest et de la Mygdonie à l'est, confortant ainsi la description de Strabon (VII, 23) et de Ptolémée (III, 12, 11). L'origine géographique et morphologique de ce territoire est également confortée : lors de la création du Royaume de Macédoine et de la division administrative du territoire, l'Axios ne devait comporter qu'un tracé unique, alors que quelques siècles plus tard il en comportait deux (figure 108).

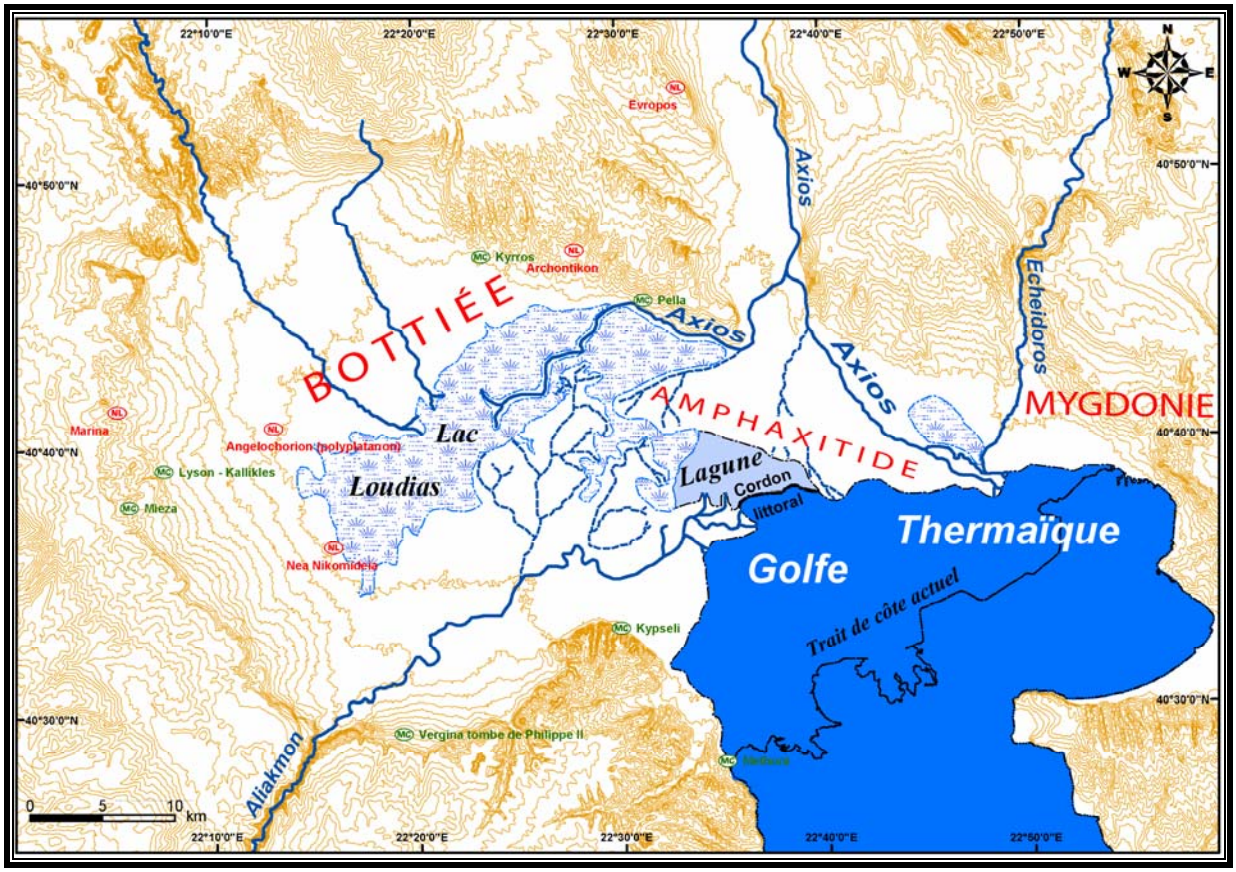


Figure 108 : Essai de localisation de l'Amphaxitide (300 av. J.-C.)

3.3.2.3. Evolution paléogéographique autour de la ville de Pella

a) Une localisation en marge d'un lac

L'information majeure révélée par notre travail est la présence au pied de la ville de Pella d'un lac et non d'un prolongement vers le nord du golfe Thermaïque, comme le suggéraient les descriptions d'Hérodote et surtout de Thucydide. La perception des espaces

géographiques, différente de celle que nous pouvons désormais avoir, est probablement à l'origine de cette interprétation de la part des auteurs grecs.

Tite-Live et Strabon mentionnent explicitement que l'ancienne capitale macédonienne est située sur la bordure septentrionale du lac Loudias. L'analyse paléoenvironnementale a confirmé les descriptions.

b) L'île Phacos : mythe ou réalité ?

Les vestiges archéologiques de l'ancienne forteresse royale située sur l'île Phacos n'ont jamais été mis au jour et aucune évidence morphologique sur place ne permet de situer précisément l'emplacement de ce promontoire qui avait tant fasciné le consul Paul-Emile lors de la conquête de la Macédoine par les armées romaines.

Les pillages successifs et le démantèlement des blocs nécessaires à la construction de la forteresse avaient probablement servi à bâtir de nouvelles villes aux alentours (Delacoulonche, 1859) et les fondations de ce bâtiment qui renfermait le trésor royal (Tite-Live) avaient dû être recouvertes par des alluvions modernes.

La configuration de la ville de Pella et les indices morphologiques révélés par les textes anciens livrent néanmoins de précieux renseignements. La corrélation avec les résultats acquis en laboratoire permet de spéculer sur l'emplacement de ce monticule en marge de la ville.

Les mentions faites par Eschine, Plutarque et Tite-Live d'un cours d'eau, appelé *Loudias* puis *Borboros*, et enfin *Intermurali Amni* séparant la ville en deux, ont souvent été réinterprétées par les auteurs contemporains (Stück, 1908 ; Hammond, 1972, Bintliff, 1976) et les tentatives d'interprétation divergeaient sensiblement.

L'approche paléoenvironnementale et l'utilisation des supports numériques ont prouvé l'existence d'un cours d'eau qui longeait le piémont oriental du Païkon et passait au pied de Pella avant de se jeter dans le lac Loudias. Les anciens bourrelets de rive sont toujours identifiables sur l'image satellite LANDSAT TM (*cf. supra*) ainsi que le chenal d'écoulement des eaux dans sa partie inférieure. Les analyses sédimentologiques ont prouvé l'existence d'apports d'origine fluviatile émanant de l'Axios et ayant progressivement contribué à colmater le secteur de Pella.

L'origine du cours d'eau est certainement liée à une diffluence du cours de l'Axios lors de son entrée dans la plaine de Macédoine centrale : une branche se dirigeant vers

l'embouchure du Gallikos (Echeidoros) à l'Est et une autre passant au pied de la ville de Pella avant de se jeter dans le lac Loudias pour former un delta intérieur.

3.3.3. Questions paléoenvironnementales en suspens

Le présent travail a souhaité livrer des éléments pour la compréhension globale de l'évolution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale. En raison de la richesse archéologique du territoire et de la superficie du secteur d'études, certains aspects ont été seulement abordés. Parmi les nombreuses réflexions possibles, il convient de citer le cas de l'évolution paléoenvironnementale du site néolithique de Nea Nikomideia et du pont romain de Klidi pour lesquels de nouvelles études doivent être particulièrement envisagées.

3.3.3.1. Le site néolithique de Nea Nikomideia

Le présent travail ne traite que très partiellement de l'évolution paléoenvironnementale du site néolithique de Nea Nikomideia. En effet, un seul sondage (S1) a été effectué à quelques kilomètres à l'est du site fouillé dans les années 1960 par une équipe dirigée par R.J. Rodden (Rodden & Wardle, 1964, 1996) ; une nouvelle étude (Shackleton, 1970) des mollusques marins en particulier a permis d'apporter plus d'incertitudes quant à l'évolution exacte du site d'occupation. La malacofaune identifiée avait permis de conclure que le plus ancien village de fermiers de la péninsule balkanique (Andreou *et al.*, 1996) était localisé à proximité de la mer. Néanmoins aucune donnée paléoenvironnementale sérieuse n'avait été avancée pour justifier cette hypothèse.

D'après notre étude, il ressort qu'une phase d'occupation lacustre a dû exister localement, comme le prouve la datation par le radiocarbone effectuée sur un dépôt de matière organique dans le sondage S1 qui renseigne sur un âge de 7 570 – 7 353 cal. BC.

Une question majeure se pose dès lors : avant que la mer n'atteigne son extension maximale en 4000 av. J.-C. et parvienne à proximité du site de Nea Nikomideia, existait-il un lac ? Si oui quelles en étaient les limites exactes ? Quand s'est-il constitué ? Quel usage en faisaient les premières populations ?

3.3.3.2. Localisation des marais mentionnés par Hérodote aux environs des cours Axios et Gallikos

La mention faite par Hérodote de la confluence de l'Axios et du Gallikos (Echeidoros) à l'Est de la plaine n'a pu être confirmée de manière certaine par le présent travail. L'utilisation des supports numériques a démontré l'existence d'un secteur topographiquement déprimé où se localisent deux paléochenaux de l'Axios. Cependant, il a été impossible d'identifier de manière formelle une ancienne confluence avec le cours du Gallikos. La présence de marais est suggérée par le traitement de l'imagerie satellitaire LANDSAT TM. Seule une analyse paléoenvironnementale fondée sur des études chronostratigraphiques permettrait de prouver l'existence de cette zone palustre.

3.3.3.3. Les circonstances paléogéographiques de la construction du pont romain de Klidi

Au cours de la première partie de ce travail de thèse, il a été possible de constater que l'arche du pont romain de Klidi toujours présente au milieu de la plaine, à peu de distance du cours actuel du Loudias, demeurait énigmatique.

Au plan archéologique, cette construction est encore assez peu étudiée et le seul travail de référence consultable est la description d'A. Delacoulonche (1859) qui conclut à un édifice caractéristique de l'époque impériale (*cf. supra*). Depuis, aucun travail n'a été officiellement publié.

Dès les années 1970, Hammond (1972) et Bintliff (1976) émettent des hypothèses quant aux circonstances de la construction de ce pont. Plusieurs théories peuvent être avancées : la première consiste à penser que cet édifice a été bâti à l'endroit même de la confluence d'un ancien tracé du Loudias et de l'Aliakmon. La deuxième est d'imaginer que ce pont a été construit sur un cordon littoral et enjambait un grau (communication entre une lagune et la mer). Enfin, la troisième est de concevoir la construction de cet édifice dans un secteur de marais régulièrement inondé par des apports continentaux récurrents.

La localisation des sondages réalisés et les données induites par le présent travail permettent d'apporter des éléments de réponse et de réflexion.

Cependant une analyse utilisant des méthodes géophysiques, associées à des données chronostratigraphiques, pourrait permettre de choisir entre ces hypothèses.

CONCLUSION

L'évolution paléogéographique de l'actuelle plaine de Thessalonique s'est amorcée il y a environ six mille ans à la faveur d'un ralentissement de la remontée du niveau marin en Mer Egée et d'un alluvionnement conséquent de deux des plus grands fleuves de la péninsule balkanique : l'Aliakmon et l'Axios.

L'édification de la plaine a été favorisée par un alluvionnement important des fleuves Aliakmon et Axios et de fréquentes défluviations qui ont contribué à faire prograder un vaste complexe deltaïque vers le sud-est à partir de 2 500 av. J.-C.

L'abandon progressif d'anciens tracés à la faveur de la formation de nouveaux chenaux orientés vers l'est a favorisé le développement de cordons littoraux isolant des lagunes parallèlement au trait de côte. Progressivement, ces dernières se sont transformées en lac. C'est ainsi que dès le milieu du II^{e} millénaire, une vaste zone lacustre s'installe, elle prendra d'ailleurs le nom de lac Loudias selon la description de Strabon. Pella, l'ancienne capitale macédonienne a de fait toujours été en contact avec des eaux saumâtres ou lacustres, mais en aucun cas en contact direct avec la mer.

La progradation de la plaine s'accélère entre la seconde moitié du II^{e} millénaire et 300 ap. J.-C. environ.

Depuis cette époque, aucune avancée significative du trait de côte n'a été enregistrée.

La confrontation du scénario proposé dans le présent travail contraste avec les travaux proposés au cours du XX^{e} siècle. Les précédentes tentatives de reconstitution paléogéographique utilisaient essentiellement les sources littéraires anciennes. Or, il semble que la perception des espaces géographiques telle que nous pouvons la concevoir aujourd'hui n'est pas la même que celle des auteurs antiques. A ce titre, Pella localisée au bord de la mer au V^{e} siècle, en accord avec les textes de Thucydide, doit être imaginée comme une ville localisée au bord d'une vaste étendue d'eau dont il n'était sans doute pas possible d'en fixer les limites. De plus, l'accès par bateaux depuis la Mer Egée (Hérodote) suggère une présence continue de la mer jusqu'au pied de l'ancienne capitale.

Le scénario proposé est une synthèse globale sur l'évolution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale en lien avec l'archéologie. Des questions restent encore sans réponse, en particulier autour de certains sites majeurs pour lesquels une étude complémentaire doit être envisagée.

Conclusion de la troisième partie

L'évolution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale a révélé au cours des 6000 dernières années un colmatage d'un ancien golfe marin simultanément de l'Ouest vers l'est et du nord vers le sud.

L'étude des huit sondages a révélé différents milieux de vie, caractérisés par une malacofaune s'adaptant aux fréquents changements de salinité des eaux. La définition de plusieurs unités sédimentaires fondée sur l'étude de huit sondages a été complétée par une caractérisation texturale de chaque milieu de vie grâce à des analyses sédimentologiques (granulométrie). Les mesures faites en susceptibilité magnétique ont mis en évidence les apports sédimentaires de deux bassins-versants aux signatures magnétiques très distinctes : ceux de l'Aliakmon dans la partie inférieure et ceux de l'Axios dans la partie supérieure.

L'interprétation spatiale des données de laboratoire a été rendue possible grâce à l'utilisation complémentaire des supports numériques.

L'apport de la télédétection a notamment contribué à identifier des formes fluviales et littorales héritées. Les différences de texture granulométrique existant entre levées alluviales et zones lacustres / palustres ont permis de confirmer de fréquents changements du tracé des cours de l'Aliakmon et de l'Axios ainsi que l'existence d'une vase zone lacustre à l'ouest de la plaine.

La mise en relation avec les données sédimentologiques a favorisé une modélisation des apports sédimentaires des deux principaux bassins versants responsables de l'édification du plus vaste complexe deltaïque de Grèce.

L'évolution holocène de cette dernière est marquée par une occupation marine vers 4 000 av. J.-C., de sorte que les sites néolithiques de Nea Nikomideia et d'Angelochorion se trouvaient alors en bordure d'un golfe marin, 35 km à l'intérieur des terres par rapport à aujourd'hui. Progressivement les apports sédimentaires de l'Aliakmon et de l'Axios ont fortement contribué à colmater ce golfe peu profond ; la mobilité du réseau hydrographique a édifié de nombreux paléochenaux agissant comme des cordons littoraux. Ces derniers ont séparé des lagunes puis des lacs plus ou moins vastes au fur et à mesure que la plaine s'édifiait vers le sud-est.

La confrontation des sources littéraires anciennes détaillées en première partie du présent travail a permis de constater que Pella était au V^{e} siècle av. J.-C. sur la rive septentrionale d'un lac, contrairement aux descriptions d'Hérodote et de Thucydide.

La perception des espaces géographiques a évolué depuis l'Antiquité. Ce n'est qu'a *posteriori* que cette remarque peut être formulée.

Si les traits généraux de l'évolution de la plaine de Macédoine centrale au cours de l'Holocène récent ont été détaillés ici, il reste de nombreuses questions à approfondir, relative à l'évolution paléoenvironnementale de certains sites archéologiques majeurs. Les conditions d'installation des populations sur le site de Nea nikomideia et d'édification du pont romain de Klidi sont autant de sujets d'étude qui permettraient d'affiner le modèle proposé.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au cours des dernières décennies, les études portant sur l'évolution paléogéographique de la plaine de Thessalonique se sont multipliées sans toutefois cerner avec précision la mobilité du trait de côte et la contribution respective de chaque bassin-versant dans le processus d'édification du plus vaste complexe deltaïque de Grèce.

Afin de progresser vers une meilleure compréhension des déplacements successifs de la ligne de rivage et des dynamiques responsables de l'édification du complexe deltaïque formé par les fleuves Aliakmon et Axios, le présent travail a été initié en intégrant les influences respectives de la tectonique, de la remontée globale du niveau marin (en relation avec les variations climatiques observées depuis le Tardiglaciaire) et des conditions pluvio-hydrologiques.

La réflexion s'est amorcée à partir des précédentes reconstitutions paléogéographiques qui, fondées sur l'interprétation des sources documentaires et de certains travaux paléoenvironnementaux, ont mis en évidence un phénomène de progradation deltaïque. Cependant, les étapes d'édification de la plaine au cours des 6 000 dernières années n'ont été que trop approximativement détaillées, ne reposant que sur des interprétations divergentes de textes et de cartes anciennes ainsi que sur des séquences chronostratigraphiques trop peu nombreuses pour permettre une interprétation régionale des processus.

C'est pour pallier à ce manque de connaissances relatives à l'évolution morphologique du plus grand complexe deltaïque de Grèce, que notre travail s'est fondé sur une approche combinant une étude de géographie historique et de recherche paléoenvironnementale. Cette dernière a inclus certaines analyses de laboratoire pour lesquelles des études malacologiques et sédimentologiques ont été effectuées sur les archives sédimentaires de huit carottages, répartis de manière homogène entre la ville de Pella au nord et le trait de côte actuel au sud. En complément de ces techniques, l'utilisation des données numériques intégrant les supports satellitaires et des données topographiques de grande précision, a permis une interprétation spatiale des séquences chronostratigraphiques.

L'interprétation des paléodynamiques indique le passage progressif, en 6 000 ans environ, d'un golfe marin peu profond à une plaine fluvio-deltaïque d'une superficie de 2 200 km^2.

Les sources documentaires témoignent dès l'Antiquité d'une mobilité importante des paysages

Entre le VIII[e] siècle av. J.-C. et le V[e] siècle ap. J.-C., de nombreuses sources documentaires (textes essentiellement) permettent de constater une mobilité évidente de la ligne de rivage et du tracé des cours d'eau. Cependant, l'interprétation implique une analyse critique et incite à la plus grande prudence lors des tentatives de reconstitution des paysages. En effet, il semble que certains auteurs antiques se soient directement inspirés de descriptions d'autres auteurs ayant ou non parcouru la Macédoine centrale, pour livrer à leur tour une vision de notre terrain d'études.

Une perception des espaces géographiques différente de celle que les géographes modernes possède implique une reconsidération de certains textes antiques notamment ; les définitions actuelles des fleuves, des lacs et des mers ne sont certainement pas les mêmes que celles employées dans l'Antiquité.

Les vestiges archéologiques et de précédentes études archéologiques et historiques autour de sites majeurs laissent également supposer un déplacement de la ligne de rivage et du tracé des cours d'eau.

Les récits de voyage du XIX[e] siècle indiquent une faible évolution des paysages depuis l'Antiquité

Les récits de voyage élaborés aux XVIII[e] et XIX[e] siècles révèlent une faible avancée du trait de côte depuis la description faite par Strabon et une organisation du réseau hydrographique proche de celle attestée pendant la période antique (présence d'un lac au pied de Pella). Ces sources impliquent aussi une lecture critique. **Certains voyageurs ont effectivement parcouru de manière scrupuleuse la région, on pense à E.M. Cousinéry, à A. Delacoulonche et à L. Heuzey, d'autres se sont probablement moins attardés en Macédoine centrale (W.M. Leake), voire peut-être n'y ont jamais mis les pieds (T.A. Desdevises-du-Dézert).** Si l'on évoque les nombreuses cartes élaborées sur la même période, il faut convenir que peu de cartographes ont pris le soin de se déplacer sur le terrain pour vérifier la disposition des cours d'eau ou du trait de côte que les sources antiques leur délivraient !

Une avancée rapide du trait de côte à l'Holocène étayée par l'interprétation de nouvelles données paléoenvironnementales et de séquences chronostratigraphiques

La progradation deltaïque des deltas de l'Aliakmon et de l'Axios s'est amorcée, à l'instar d'autres aires deltaïques méditerranéennes il y a environ 6 000 ans, ce travail présente pour la première fois les étapes de l'avancée du trait de côte de la plaine de Thessalonique et peuvent être brièvement rappelées :

à partir de 4 000 avant J.-C., le déplacement de la ligne de rivage s'effectue de l'ouest vers l'est à un rythme de 10 m par an et la progradation deltaïque de l'Aliakmon s'affirme tandis que celle de l'Axios apparaît plus limitée.

Ce n'est véritablement qu'**à partir de 2 500 av. J.-C.** que l'Axios édifie un delta dans la partie septentrionale de la plaine, alors que le cours de l'Aliakmon continue à se déplacer vers le sud-est.

Au V^{e} siècle avant J.-C., les lobes deltaïques rapprochent leurs embouchures respectives à la faveur d'une mobilité importante du tracé des cours et d'un alluvionnement important ; l**a ville de Pella est située sur la marge d'un lac**.

Au IIIe siècle ap. J.-C., la progradation deltaïque se ralentit considérablement et depuis cette époque, on note un rythme moyen d'avancée d'environ 3 m par an.

Alors que de nombreux deltas méditerranéens observent une extension aux époques byzantine et ottomane, la plaine de Thessalonique ne connaît pas d'avancée significative. L**es grandes étapes de l'avancée du littoral ont pu être définies. Désormais, il reste à délimiter les unités morphologiques majeures que nos carottages n'ont pu que partiellement révéler.**

Un nombre additionnel de données (séquences sédimentaires issues de carottages et transects) obtenues dans l'ancien lac Loudias et dans la partie située à l'est de l'Axios permettraient d'affiner le scénario proposé et une visualisation complète des structures sédimentaires déjà identifiées.

La caractérisation sédimentaire des apports de bassins-versants

Les analyses sédimentologiques réalisées sur l'ensemble des sondages ont permis de définir la granulométrie des sédiments et leur teneur en particules ferromagnétiques. **La susceptibilité magnétique a caractérisé les apports respectifs des bassins-versants de l'Aliakmon (valeurs du signal relativement faibles) et l'Axios (valeurs relativement**

fortes) et peut être considérée comme une technique indicatrice des transferts sédimentaires. La composition lithologique des bassins-versants explique en partie ces différences (haute teneur en roches acides pour l'Axios et importance des roches carbonatées pour l'Aliakmon).

Les résultats ont démontré que, dans le secteur de Pella, des paléochenaux de l'Axios ont pu être déterminés d'un point de vue sédimentologique grâce à la variation du signal de susceptibilité magnétique en fonction de la taille des particules. **Un défluent de l'Axios a pu être identifié comme le cours probable du *Borboros* (*Loudias, Intermurali Amni*) passant au pied de la forteresse de Pella et mentionné par les auteurs antiques.**

L'apport de la télédétection et du traitement des données topographiques S.R.T.M. a permis de confirmer la présence d'anciens défluents de l'Axios à courte distance (3 km vers le Sud) de l'ancienne capitale macédonienne. Le rôle joué par les apports sédimentaires de l'Axios est incontestable dans la partie septentrionale de la plaine, à proximité de Pella. L'isolement de cette dernière au milieu des terres a été provoqué par un alluvionnement intense de l'Axios dans ce secteur.

L'analyse morphoscopique des minéraux non magnétiques de la fraction sableuse n'a pas été privilégiée dans le temps imparti de l'élaboration de la présente thèse, mais à terme elle favoriserait une meilleure compréhension des processus de transport des particules au sein des bassins-versants.

Une forte subsidence observée à l'échelle de la plaine qui limite une reconstitution précise des variations eustatiques dans le golfe Thermaïque

De précédents travaux avaient mis en valeur le phénomène de subsidence qui affecte la plaine de Thessalonique mais n'avaient pu le quantifier de manière précise à l'échelle du secteur d'études.

Fondée sur une réévaluation altimétrique de **47 bornes géodésiques** couvrant une superficie de 2 500 km² environ, un taux moyen de **0.8 ± 0.35 m** sur les cinquante dernières années a pu être interprété à partir des résultats G.P.S. Une typologie des secteurs subsidents a également été dressée à l'échelle des cinquante dernières années, mettant en valeur une subsidence importante (**3 à 4 m**) dans la partie orientale de la plaine (dépression du Vardar) et des valeurs proches de **1 à 1.50 m** dans la partie centrale où ont été réalisés les sondages. Les causes de cette subsidence sont d'origine naturelle et anthropique. Les effets conjugués de l'hydrocompaction des niveaux riches en matière organique, de la granulométrie de certaines

strates mais aussi des activités d'extraction d'eau des aquifères expliquent ces valeurs inégales.

Vouloir reconstituer la remontée du niveau marin à partir des données chronostratigraphiques sans prendre en compte le phénomène de subsidence à l'échelle de l'Holocène récent serait difficilement envisageable. **Comment apprécier et préciser un tel phénomène sur 6 000 ans lorsqu'on sait qu'en 50 ans cette subsidence a varié selon les lieux entre 1.00 et 4.00 m ?**

Notre travail peut présenter certaines lacunes et il convient d'en rendre compte. En raison du temps limité imparti à la recherche dans le cadre de la présente thèse, certains aspects de l'étude paléoenvironnementale ont pu seulement être abordés et d'autres mis de côté, dans l'attente d'un approfondissement.

Le nombre de sondages réalisé peut sembler limité pour pouvoir cerner précisément l'extension de chaque unité sédimentaire identifiée. De plus, certaines techniques paléoenvironnementales auraient pu être appliquées pour préciser les phases de transition du milieu marin à milieu continental. L'étude des foraminifères et des ostracodes aurait pu être développée mais elle requiert une formation complète et nécessite plusieurs années de pratique ; en trois ans, il était difficile de développer ces techniques en complément de celles déjà utilisées dans la présente thèse. Des analyses palynologiques réalisées sur les sédiments lacustres et palustres du sondage S1 sont actuellement en cours à Bergen (Bjerknes Centre for Climate Research, travail de thèse de Mike Styllas) et pourraient rapidement renseigner sur les variations de végétation au cours des derniers millénaires à la périphérie du site néolithique de Nea Nikomideia.

Les pistes de recherche sont nombreuses sur notre terrain d'études et des travaux seraient à envisager afin de préciser l'évolution paléoenvironnementale de la plaine à une échelle spatio-temporelle plus large.

Cela inclut en particulier la réalisation de carottages plus profonds, d'une profondeur d'environ 60 m, et plus nombreux que ceux réalisés dans le cadre de cette étude, permettant ainsi d'étudier l'évolution morphologique depuis le Pléistocène supérieur. Les étapes de la remontée du niveau marin dans le golfe Thermaïque au cours de l'Holocène seraient ainsi détaillées et mises en relation avec les différents modèles présentant les variations eustatiques pour l'ensemble du bassin méditerranéen.

L'extension exacte de l'incursion marine au maximum de la transgression flandrienne dans le golfe Thermaïque reste encore à préciser. La limite entre les cônes de déjection bordant la plaine actuelle (dont la stratification et la datation n'ont pu être révélées de manière absolue dans ce travail et qui pourrait faire l'objet de nouvelles recherches) et les dépôts de la dernière transgression marine reste à définir. En plus de carottages additionnels, des études géophysiques (G.P.R. notamment) permettraient de caractériser différentes unités sédimentaires en s'appuyant sur de nouvelles études malacologiques et sédimentologiques.

L'utilisation de paramètres magnétiques additionnels (S.I.R.M. et A.R.M. en particulier) favoriserait une identification précise des cortèges minéralogiques des sédiments ferromagnétiques analysés. La comparaison des différentes archives sédimentaires provenant des huit sondages permettrait ainsi d'établir avec certitude les apports de l'Aliakmon et de l'Axios. La compréhension des transferts sédimentaires, particulièrement complexe au sein d'un bassin-versant pourrait ainsi être facilitée par l'opportunité de comparer les résultats sédimentologiques de séquences prélevées dans la partie amont des bassin-versants (Axios en particulier). Cela faciliterait notamment l'identification des principales sources sédimentaires responsables de la progradation des deltas étudiés dans le présent travail.

Les thèmes géoarchéologiques à développer sont nombreux et concernent prioritairement les sites majeurs installés dans la plaine ou à sa périphérie : ceux de Nea Nikomideia, de Pella, de Methoni, de Klidi (arche de pont romain) retiennent à ce propos notre attention. De nouvelles études paléoenvironnementales associées à des études géophysiques complémentaires contribueraient à affiner le scénario de reconstitution paléogéographique de la plaine de Macédoine centrale. L'établissement de diagrammes polliniques effectué à partir de séquences sédimentaires prélevées par carottage favoriserait une meilleure compréhension des changements de végétation en lien avec les changements climatiques et l'anthropisation des versants. Ces recherches seraient ainsi profitables aux géomorphologues et aux archéologues dans leur quête de compréhension des relations entre sociétés et milieu en Macédoine centrale et plus largement à l'échelle de la Méditerranée.

De plus, le travail réalisé dans le cadre de ces recherches permettra aux aménageurs d'appréhender le phénomène de progradation deltaïque et d'inclure les phénomènes de subsidence affectant le sol de la plaine de Macédoine centrale, et ce à des fins d'aménagements futurs. La densité de population, parmi les plus importantes de Grèce, implique une bonne connaissance des processus morphologiques pour aboutir à une gestion efficace de l'espace.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADMIRALTY WAR STAFF INTELLIGENCE DIVISION, 1916. *Handbook of Macedonia & surrounding territories*. July, 1916. Prepared on behalf of the Admiralty and the War office.

AKAMITIS, I., LILIMPAKI-AKAMITIS, M., E., PAPAEFTHYMIOU-PAPANTHIMOU, A., PETKOS, A.S., 2004. *Pella and its environs*. Ministry of culture, 17th Ephorate of Prehistoric and classical Antiquities – 11th Ephorate of Byzantine Antiquities, Aristotle University of Thessaloniki. Archaeological receipts fund, Athens, p.154

ALBANAKIS K.S., VAVLIAKIS E., PSILOVIKOS A., SOTIRIADIS L., 1993. *Mécanismes et évolution du delta de l'Axios au XXe siècle (en grec)*. Actes de colloque, 3e conférence nationale de géographie, 311-325.

ALLEN T., 1992. *Particle size measurements*. Chapman & Hall, 4th Edition.

ALVISI, F. & VIGLIOTTI, L., 1996. Magnetic signature of marine and lacustrine sediments from central Italy (PALICLAS Project) In GUILIZONI P. & OLDFIELD F. (Eds.), *Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic Sediments.* Mem. Ist. ital. Idrobiol., 5, 285-302.

AMOROSI, A., CENTINEA, M.C., COLALONGO, M.L., FIORINI, F., 2005. Millenial-scale depositional cycles from the Holocene of the Po Plain, Italy. *Marine Geology*, 7-18.

ANCEL, J., 1930. *La Macédoine, étude de la colonisation contemporaine*. Delagrave, Paris, p.352

ANDERSON, N.J. & RIPPEY, B., 1988. Diagenesis of magnetic minerals in the recent sediments of a eutrophic lake. *Limnology and Oceanography*, 33, 1476 – 1492.

ANDREOU, S., FOTIADIS, M., KOTSAKIS, K., 1996. Review of Aegean Prehistory V : the Neolithic and Bronze Age of Northern Greece. *American Journal of Archaeology*, 100, 537-597.

ANDRITSANOS, V., FOTIOU, A., PIKRIDAS, C., ROSSIKOPOULOS, D., TZIAVOS, I., FOTOPOULOS, G., 2004. New Local Geoid Model for Northern Greece. *Proc. 3rd Int. Conference on Engineering Surveying and FIG Regional Conference for Central and Eastern Europe*, Bratislava, Slovakia, November 11-13.

ANDRONIKOS, M., 1984. *Vergina. The Royal Tombs and the Ancient City*.

ANDRONIKOS, M., 1993. Les tombes macédoniennes, In R. Ginouvès (ed.), *La Macédoine. de Philippe II à la conquête* romaine, 145-190.

ANDRONOPOULOS, V., ROZOS, D., HADZINAKOS, I., 1991. Subsidence phenomena in the industrial area of Thessaloniki, Greece. In JOHNSON, A. (ed.) *Land Subsidence. International Association of Hydrological Sciences Publication*, 100, 59–69.

D'**A**NGELO, G., GARGIULLO, S., 1978. *Guida dalle conchiglie Mediterranee*. Fabbri Editori, Milano.

ANGOURIDAKIS, V., BALAFOUTIS, C., MAHERAS, P., 1981. Les vents de nord-ouest et « Vardaris », à Thessalonique ; essai statistique. In *Eaux et Climats ; mélanges géographiques offerts en hommage à Charles-Pierre PEGUY*, Institut de Météorologie et de Climatologie de l'Université de Thessalonique, Grenoble.

ARNAUD-FASSETTA G., 2000. *Quatre mille ans d'histoire hydrologique dans le delta du Rhône.* P.R.O.D.I.G., Paris, Grafigéo, 11, p.229

ARNAUD-FASSETTA, G., CARRE, M.B., MAROCCO, R., MASELLI SCOTTI, F., PUGLIESE, N., ZACCARIA, C., BANDELLI, A., BRESSON, V., MANZONI, G., MONTENEGRO, M.E., MORHANGE, C., PIPAN, M., PRIZZON, A., SICHE, I., 2003. The site of Aquileia (northeastern Italy): example of fluvial geoarchaeology in a Mediterranean deltaic plain. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 4, 227-246.

ASTARAS, T.A. & SOTIRIADIS, L., 1988. The evolution of the Thessaloniki – Giannitsa plain in northern Greece during the last 2500 years – From the Alexander the Great era until today. Lake, Mire and River Environments during the last 15 000 years. *Balkema*, Rotterdam, 105-114.

ASTARAS, T.A. & SOULAKELLIS, N., 1990. LANDSAT-TM data processing techniques for mapping geological and geomorphological features in the Central Macedonia area, N. Greece. In SAVASCIN, M.Y., ERONAT, A.H. (Eds.), *Proceedings of the International Earth Sciences Congress on Aegean Regions*, Vol. 2, 76–91.

ATHANASIADIS, N., TONKOV, S., ATANASSOVA, J., BOZILOVA, E., 2000. Palynological study of Holocene sediments from Lake Doirani in Northern Greece. *Journal of Paleolimnology*, 24, 331-342.

ATHANASIADIS, N., GERASIMIDIS, A., PANAJIOTIDIS, S., 2003. A palynological study in the Beles Mountains, Northern Greece. In TONKOV, S., (ed.), *Aspects of Palynology and Palaeoecology*, 185-197.

AUBOUIN, J., BRUNN, J.H., CELET, P., DERCOURT, J., GODFRIAUX, I., MERCIER, J., LYS, M., MARIE, P., NEUMANN, M., SIGAL, J., SORNAY, J., 1960. Le Crétacé supérieur en Grèce. Bulletin de la Société géologique de France, 7^{e} série, II, 452-469.

AUBOUIN, J., BRUNN, J.H., CELET, P., DERCOURT, J., GODFRIAUX, I., MERCIER, J., 1960-1963. Esquisse de la géologie de la Grèce. In *L'évolution paléogéographique et structurale des domaines méditerranéens et alpins d'Europe*. Livre à la mémoire du Professeur Paul Fallot, Tome II, 583-610.

BATES, W.N., 1912. Archaeological News. *American Journal of Archaeology*, vol.16, 1 (janvier-mars 1912), 111-161.

DE **B**EAUJOUR, F., 1829. *Voyage militaire dans l'Empire Othoman, ou description de ses frontières et de ses principales défenses, soit naturelles soit artificielles*. Firmin didot Frères, tome premier, p.539

BENNET, K.D. & TZEDAKIS, P.C., WILLIS, K.J., 1991. Quaternary refugia of north European trees. *Journal of Biogeography*, 18, 103-115.

BINTLIFF, J., 1976. The Plain of Western Macedonia and the Neolithic Site of Nea Nikomedeia, *Proceedings of The Prehistoric Society*, 42, 241-262.

BINTLIFF, J., 1982. Palaeoclimatic modelling of environmental changes in the East Mediterranean region since the last glaciation. In : J.L. BINTLIFF, W. VAN ZEIST (Eds.), *Palaeoclimates, Palaeoenvironments and Human Communities in the Eastern Meditterranean region in Later Prehistory*, British Archaeological Reports, International Series, 133, 485-530.

BINTLIFF, J., 2002. Time, process and catastrophism in the study of Mediterranean alluvial history : a review. *World Archaeology*, 33, 3, 417-435.

BIJON, J., 1982. *Géologie et géochimie des formations volcano-sédimentaires d'âge Jurassique supérieur et Crétacé de la région d'Edessa (Grèce, Province de Pella)*. Thèse de doctorat, p.190

BLOEMENDAL, J., 1982. *The quantification of rates of total sediment influx to Llyn Goddionduon, Gwynedd*. PhD Thesis, Liverpool.

BLOEMENDAL, J., KING, J.W., HALL, F.R., DOH, S.J., 1992. Rock magnetism of Late Neogene and Pleistocene deep sea sediments: relationship to sediment source, diagenetic processes and sediment lithology. *Journal of Geophysical Research*, 97, 4361-4375.

BOAR, R.R. & HARPER, D.M., 2002. Magnetic susceptibilities of lake sediment and soils on the shoreline of Lake Naivasha, Kenya. *Hydrobiologia*, 488, 81-88.

BORDON, A., PEYRON, O., LEZINE, A.M., BREWER, S., FOUACHE, E. Late-Glacial and Holocene climate in southern Balkans (Lake Maliq) from pollen data. *Quaternary International (sous presse).*

BOTTEMA, S., 1974. *Late Quaternary Vegetation History of Northwestern Greece,* Thèse de doctorat, Groningen, p.180

BOTTEMA, S., 1984. Pollen stratigraphical investigations in the Mediterranean area (with special emphasis on the problems of sampling and interpretation of the results). *Webbia*, 38, 465-472

BOUÉ, A., 1840. *La Turquie d'Europe, ou observations sur la géographie, la géologie, l'histoire naturelle, la statistique, les mœurs, les coutumes, l'archéologie, l'agriculture, l'industrie, le commerce, les gouvernements divers, le clergé, l'histoire et l'état politique de cet empire.* Arthus Bertrand, tome premier, p.534

BRAVARD, J.P., 1983. Les sédiments fins des plaines d'inondation dans la vallée du Haut-Rhône (approche qualitative et spatiale). *Revue de Géographie Alpine*, 71, 4, 363-379.

BREWSTER, H., 1997. The River Gods of Greece, Myths and Mountains Waters in the Hellenic world. I.B. Tauris Publishers, Londres-NewYork, p.116

BROWN, A.G. & ELLIS, C., 1995. People, climate and alluviation : theory, research design and new sedimentological and stratigraphic data from Etruria. *Papers of the British School at Rome*, 63, 45-73.

BRÜCKNER, H., 1986. Man's impact on the evolution of the physical environment in the Mediterranean region in historical time. *GeoJournal*, 131, 7-17.

BRÜCKNER, H., 2003. Delta Evolution and Culture – Aspects of Geoarchaeological Research in Miletos and Priene, in Troia and the Troad, Scientific approaches. *Natural Science in Archaeology*, 121-143.

BRÜCKNER, H., 2005. Holocene shoreline displacements and their consequences for human societies: the example of Ephessus in western Turkey. *Zeitschrift fur Geomorphologie,* 137 (Suppl.), 11-22.

BRÜCKNER, H., KAYAN, I., KRAFT, J. C., 2001. The geological and Paleogeographical Environs of the Artemision in Der Kosmos der Artemis von Ephesos. Österreichisches Archäologisches Institut, *Sonderschriften Band* 37, 123-133.

BRÜCKNER, H., HANDL, M., VÖTT A., 2002. Rekonstruktion holozäner Umweltbedingungen in Akarnanien (Nordwestgriechenland) mittels Diskriminanzanalyse von geochemischen Daten. *Geologica et Palaeontologica*, 36, 123-147.

BRÜCKNER, H., HANDL, M., MÜLLENHOFF, M., VAN DER BORG K., 2002. *Holocene landscape evolution of the Büyük Menderes alluvial plain in the environs of Myous and Priene (Western Anatolia, Turkey). Zeitschrift fur Geomorphologie*, 127 (Suppl.), 47-65.

BRÜCKNER, H., HANDL, M., VÖTT A., 2003. Holocene environmental changes in coastal Akarnania (northwestern Greece). Berichte Forschungs – und Technologiezentr. *Westküste der Univ. Kiel*, 28, 117-132.

BRÜCKNER, H., MÜLLENHOFF, M., GEHRELS, R., HERDA, A., KNIPPING, M., VÖTT, A., 2006. From archipelago to floodplain – geographical and ecological changes in Miletus and its environs during the pas six millennia (Western Anatolia, Turkey). *Zeitschrift fur Geomorphologie,* 142 (suppl.), 63-83.

BRUNN, J.H., FAUGERES, L., ROBERT, P., 1972. Une nouvelle série du Jurassique moyen – Crétacé inférieur surmontant les ophiolites dans le détroit de Kozani (Macédoine, Grèce). C. R. som. S. G. Fr., 27-29.

BRUSE, C.-D., KEARNEY, M.-S., LEATHERMAN, S.-P., 2001. *Sea-level rise*. Academic Press, San Diego, p.232

BUURMAN, P., PAPE, T., MUGGLER, C., 1996. Laser grain-size determination in soil genetic studies: Practical problems. *Soil Science*, 162, 211-218.

CAMPBELL, J.B., 1987. *Introduction to Remote Sensing*. The Guilford Press, New York.

CARMONA, P., 1999. Progradacion fluvial y cambios en la linea de costa en epoca historica en el Golfo de Valencia (España). In : P. LEVEAU, F. TREMENT, K. WALSH, G. BARKER (Eds.), *Environmental Reconstruction in Mediterranean Landscape Archaeology*.

CASSON, S., 1916. Note on the ancient sites in the area occupied by the British Salonika Force during the campaign 1916-1918. *Bulletin de Correspondance Hellénique*, 40, 293-297.

CASSON, S., 1968. *Macedonia, Thrace and Illyria, their relations to Greece from the earliest times down to the time of Philip son of Amyntas*. Bouma's Boekhuis N.V. Publishers, Groningen, p.357

CERRI, F.S.M.B.C.C., 1998. Landsat TM image texture and moisture variations of the soil surface under the rainforest of the Rondonia state, Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 7, 1299-1317.

CHAMLEY, H., 1987. *Sédimentologie*. Paris, Dunod, p.175

CHRONIS, G., 1986. *Modern dynamics and recente Holocene sedimentation in the inner plateau of Thermaikos Gulf*. Thèse, Univ. Athènes, p.228.

CHRONIS, G., LYKOUSIS, V., BALOPOULOS, E., PAPAGEORGIOU, E., 1991. Conditions hydrosédimentaires en Méditerranée nord-orientale. Application aux plateformes deltaïques N.O. Mer Egée (plateau de Thermaïkos-bassin des Sporades) : Project EURECO-MARGE, *Rapp. Comm. Int. Mer. Medit.*, 31, 2, 296.

CLEVIS, Q., DE BOER, P., WACHTER, M., 2003. Numerical modelling of drainage basin evolution and three-dimensional alluvial fan stratigraphy. *Sedimentary Geology*, 163, 85–110.

CLOCHÉ, P., 1960. Histoire *de la Macédoine, jusqu'à l'avènement d'Alexandre Le Grand (336 avant J.-C.)*. Payot, Paris.

C.N.R.S., 1997. *Photo interprétation, images aériennes et spatiales.* Editions ESKA, 1-2, 35, Paris, p.144

COCARD, M., KAHLE, H.G., PETER, Y., VEIS, G., FELEKIS, S., PARADISSIS, D., BILLIRIS, H., 1999. New constraints on the rapid crustal motion of the Aegean region: recent results inferred from GPS measurements (1993-1998) across the Hellenic Arc, Greece. *Earth planet Sci. Lett.*, 172, 39-47.

COQUE, B., 1988. *Sédimentologie et géomorphologie. Initiation à la recherche en géomorphologie*, Université de Paris 1, p.186

COUNILLON, P., 2004. *Pseudo-Skylax : le périple du Pont-Euxin, texte, traduction, commentaire philologique et historique*. De Boccard, Paris, p.166

COUREL, M.F., 1985. *Etude de l'évolution récente des milieux sahéliens à partir des mesures fournies par les satellites*. Thèse pour le doctorat d'Etat. p.407 + Annexes.

COUSINÉRY, E.M., 1831. *Voyage dans la Macédoine*. 2 Vol., Imprimerie Royale, Paris.

CROCKFORD, R.H. & WILETT, I.R., 1997. The magnetic properties of a stratographic section of a sedimentary soil in New South Wales, Australia. Technical report 22/97, CSIRO: Land and water.

CVIJIC, J., 1908. *Grundlinien der Geographie und Geologie von Mazedonien und Altserbien.* Pett. Mitteilungen, Gotha, 162, p.392

D.E.H. (Public Power Corporation, Δ.Ε.Η.), 1972. Assomata H.E. project, engineering report, Vol.1, main report, December 1972.

D.E.H. (Public Power Corporation, Δ.Ε.Η.), 1972a. Sfikia H.E. project, engineering report, Vol.1, main report, December 1972.

DAVID, C., DEARING, J.A., ROBERTS, N., 1998. Land use history and sediment flux in a lowland catchement, Groby Pool, Leicestershire, U.K. *The Holocene*, 8, 383-394.

DAVIES, R., ENGLAND, P., PARSONS, B., BILLIRIS, H., PARASISSIS, D., VEIS, G., 1997. Geodetic strain in Greece in the intervals 1892–1992. *Journal of Geophysical Research*, 102 (B11).

DEARING, J., 1999. *Operation manual, Bartington Instruments Ltd. Environmental magnetic susceptibility – Using the Bartington MS2 system*. Chi Publishing, p. 54

DELACOULONCHE, A., 1859. *Mémoire sur le berceau de la puissance macédonienne des bords de l'Haliacmon à ceux de l'Axius*, Archives des missions scientifiques et littéraires (rapport de 1858), 1e série, tome 8, p. 252.

DENEFLE, M., LEZINE, A.M., FOUACHE, E., DUFAURE, J.-J., 2000. A 12,000-Year Pollen Record from Lake Maliq, Albania. *Quaternary Research,* 54, 423 - 432.

DESDEVISES-DU-DÉZERT, T.A., 1862. *Géographie ancienne de la Macédoine*. Thèse présentée à la Faculté des Lettres de Paris. Ed. Auguste Durand, p. 454

DINTER, K.R. & ROYDEN, L., 1993. Late Cenozoic extension in northeastern Greece: Strymon valley detachment system and Rodope metamorphic core complex. *Geology*, 21, 45-48.

DONEDDU, M. & **T**RAINITO, E., 2005. *Conchiglie del Mediterraneo*. Il Castello, Trezzano sul Naviglio.

ELLIOTT, T. 1986. Deltas. In H. G. Reading (Ed.), *Sedimentary Environments and Facies*. Second Edition, Blackwell Scientific Publications, Oxford, 95-154.

ETOME Co., 1974. *Preliminary study for development of the area of installation of the International fair of Thessaloniki*. Rapport, Ministry of Public Works / Hydraulic Works Service, p.96 + Annexes.

FAKLARIS, P.B., 1994. Aegae : determining the Site of the First capital of the Macedonians. *American Journal of Archaeology*, 98, 4, 609-616.

FARR, T.G., KOBRICK, M., 2000. Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Ann. Geophys.*, Union Eos 81, 583-585.

FAUGÈRES, L., 1969. Problems created by the geomorphology of Olympus, Greece: Relief, formation, and traces of Quaternary cold periods (with discussion). *Association Française pour l'Étude du Quaternaire*, 6, 105–127.

FAUGÈRES, L., 1978. *Recherches géomorphologiques en Grèce septentrionale: Macédoine centrale et occidentale.* Service de reproduction des thèses de l'Université de Lille, 2 vol., p. 849

FEISS, C., BONTE P., ANDRIEU A., LEFEVRE, I., 2004. Transfert de matières des bassins versants côtiers au milieu marin : identification, caractérisation et vitesse. L'exemple de la baie du Marin (Martinique). *Géomorphologie : relief et processus et environnement*, 1, 81-90.

FOLK, R.L. & WARD, W.C., 1957. Brazos river bar, a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 29, 3-27.

FOUACHE, E., 1999. *L'Alluvionnement historique en Grèce occidentale et au Péloponnèse: géomorphologie, archéologie et histoire*. Supplément BCH, 35, Ed. De Boccard, p. 235

FOUACHE E., 2003. *The Mediteranean World : Environment and Histor*, Actes du Colloque « Environmental Dynamics and History in Mediterraneans Areas », Working Group on Geoarchaeology (IAG), Université de Paris IV, UMR 8505, EFA, EFR, Casa de Velasquez, ENS LSH/Lyon, Université de Paris IV, 24-25-26 avril 2002, Elsevier Paris, p. 485

FOUACHE E., 2005. Rythmes d'érosion et d'alluvionnement à l'Holocène au sud de la péninsule balkanique (Albanie, Grèce). In ALLÉE, P. & LESPEZ, L. (eds.), *L'érosion entre société, climat et paléoenvironnment*, Presses Universitaires Blaise Pascal, 365-372.

FOUACHE E., 2006. 10 000 ans d'évolution des paysages en Adriatique et en Méditerranée orientale, Géomorphologie, Paléoenvironnments, Histoire. Travaux de la Maison de l'Oreint et de la Méditerranée, 45, p.223

FOUACHE, E. & PAVLOPOULOS, K., 2005 (Eds.). Sea Level Changes in Eastern Mediterranean during Holocene : indicators and Human impacts. *Zeitschrift für Geomorphologie*, suppl., 137.

FOUACHE, E., SIBELLA, P., DALONGEVILLE, R., 2005. Harbours and Holocene variations of the shoreline between Andriake and Alanya (Turkey). *Méditerranée*, 1-2, 87-94.

FOUACHE, E., DALONGEVILLE, R., KUNESCH, S., SUC, J.P., SUBALLY, D., PRIEUR, A., LOZOUET, P., 2005a. The environmental Setting of the Harbour of the Classical Site of Oeniades (Archanania, Acheloos Delta, Greece). *Geoarchaeology*, 20, 3, 285-302.

FOUACHE, E., FAIVRE, S., GLUŠČEVIĆ, S., KOVAČIĆ, V., TASSAUX, F., DUFAURE, J.J., 2005b. Evolution of the croatian shoreline between Poreč and Split over the past 2000 years. *Archaeologia Maritima Mediterranea*, 2, 115-134.

FOUACHE, E., GHILARDI, M., VOUVALIDIS, K., SYRIDES, G., KUNESCH, S., STYLLAS, M., STIROS, S., 2007. Contribution on the Holocene reconstruction of Thessaloniki Plain, North Central Greece. *Journal of Coastal* Research *(sous presse).*

FRENCH, D.H., 1967. *Index of prehistoric sites in Central Macedonia and catalogue of sherd material in the University of Thessaloniki.* Université de Thesalonique, p.68

FÜLDNER, E., 1967. *Agrageographische Untersuchungen in der Ebene von Thessaloniki.* Frankfurter Geographische Hefte, 44. Verlag Waldermar Kramer, Frankfurt Am Main, p.146

GALE, S. J. & HOARE, P.G., 1991. *Quaternary sediments*. Belhaven Press, London, p.323

GERASIMIDIS, A. & ATHANASIADIS, N., 1995. Woodland history of northern Greece from the mid Holocene to recent time based on evidence from peat pollen profiles. *Vegetation History and Archaeobotany*, 4, 109-116.

GHILARDI, M., 2003. C*ontribution à l'étude géomorphologique de la plaine de Thessalonique : le bassin versant inférieur de l'Aliakmon*. Mémoire de maîtrise, Université de Paris X Nanterre, p.278

GHILARDI, M., 2004. *La plaine de Thessalonique (Grèce) : dynamiques géomorphologiques et évolution Holocène.* Mémoire de D.E.A., Université de Paris XII Val de Marne, p.121

GHILARDI, M., 2006. *Apport et intérêt de la modélisation numérique de terrain en géomorphologie: étude du site antique de Méthoni (Piérie-Grèce)*. Mémoire du Laboratoire de Géomorphologie et environnement littoral, n° 45, Dinard (France). p.114

GHILARDI, M., FOUACHE, E., QUEYREL, F., SYRIDES, G., VOUVALIDIS, K., KUNESCH, S., STYLLAS, M., STIROS, S., 2007a. Human occupation and geomorphological evolution of the Thessaloniki Plain (Greece) since Mid Holocene. *Journal of Archaeological Science (sous presse).*

GHILARDI, M., KUNESCH, S., STYLLAS, M., FOUACHE, E., 2007b. Reconstruction of Mid-Holocene sedimentary environments in the central part of the Thessaloniki Plain (Greece), based on microfaunal identification, magnetic susceptibility and grain-size analyses. *Geomorphology* (*sous presse*).

GOIRAN, J.-P., 2001. *Recherches géomorphologiques dans la région littorale d'Alexandrie, Egypte*. Thèse de Doctorat, Université de Provence, Aix-en-Provence.

GOLTZ, COLMAR VON DER F., 1894. *Ein Ausflug nach Macedonien, Besuch der deutschen Eisenbahn von Salonik nach Monastir.*G. Schenk, Berlin, p.154

GRAMMENOS, D.V., 1997. *Neolithiki Makedonia,* Ministry of Culture, Archaeological Receipts Fund, Athènes.

GRAMMENOS, D.V., 2003. *Recent research in the prehistory of the Balkans*. Archaeological Institute of Northern Greece, Athènes, Archaeological Receipts Fund, p. 537.

GROVE A.T., 2001. *The Little Ice Age and its geomorphological consequences in Mediterranean Europe. Climate Change*, 48, 121-136.

GROVE A.T. & RACKHAM O., 2001. *The Nature of Mediterranean Europe.* Yale University Press, p.384

HADZINAKOS, I., ROZOS, D., APOSTOLIDIS, E., 1990. Engineering geological mapping and related geotechnical problems in the wider industrial area of Thessaloniki, Greece. In : Price, D. (Ed.), *Proceedings of Sixth International IAEG Congress*, Balkema, Amsterdam, 127-134.

HAMMOND, N. G. L., 1972. *A history of Macedonia, Vol I : Historical geography and prehistory.* Clarendon Press, Oxford.

HAMMOND, N. G. L., 1974. The Western Part of the Via Egnatia. *Journal of Roman Studies*, 64, 185-194.

HAMMOND N. G. L., 1989. *The Macedonian State, the Origins, Institutions and History*. Clarendon Paperbacks, Oxford, p.413

HAMMOND N. G. L., 1991. *The miracle that was Macedonia*. Sidgwick and Jackson, London, p.229

HANTLEY, B., & PRENTICE, I.C., 1988. July temperatures in Europe from pollen data, 6 000 years before present. *Science*, 241, 687-690.

HATZOPOULOS, M.B., 2006. *La Macédoine : géographie historique, langue, cultes et croyances, institutions*. Travaux de la Maison René-Ginouvès, de Boccard, Paris, p.114

HATZOPOULOS, M.B. & LOUKOPOULOU, L.D., 1987. Two studies in ancient Macedonian topography. *Melethmata*, Athènes, De Boccard, p.110

HATZOPOULOS, M.B., KNOEPFLER, D., MARIGO-PAPADOPOULOS, V., 1990. Deux sites pour Méthone de Macédoine. *Bulletin de Correspondance Hellénique*, 1990, 2, 639-668.

HELLENIC NAVY HYDROGRAPHIC SERVICE, 1974. Carte nautique (édition révisée de 1959), 1 : 50 000e, Kolpos Thessalonikis.

HELLENIC NAVY HYDROGRAPHIC SERVICE, 2003. Carte nautique (édition révisée de 1969), 1 : 50 000e, Thermaic Gulf.

HEUZEY, L., 1860. *Le mont Olympe et l'Acarnanie : exploration des ces deux régions, avec l'étude de leurs antiquités, de leurs populations anciennes et modernes, de leur géographie et de leur histoire.* Firmin Didot, Paris, p. 494

HEUZEY, L., 1862. *Rapport à l'Empereur par M. Léon Heuzey, chargé, avec le concours de M. Daumet, d'une mission archéologique en Macédoine*. 497-511.

HEUZEY, L., 1872. Un palais grec en Macédoine. Etude sur l'architecture antique. *Extrait des comptes-rendus de l'Académie des inscriptions et Belles-Lettes, janvier-février 1871*. Paris. p.47

HEUZEY, L., 1876. *Mission archéologique de Macédoine*. Librairie Firmin - Didot et Cie. Paris. p.470 + 34 planches et 8 cartes et plans.

HILTON, J. & LISHMAN, J.P., 1985. The effect of redox changes on the magnetic susceptibility of sediments from a seasonally anoxic lake. *Limnol. Oceanogr.*, 30, 907-909.

HOLLAND, H., 1815. *Travels in the Ionian Isles, Albania, Thessaly, Macedonia &c. during the years 1812 and 1813*. London, p.551

HUANG, J., VANICEK, P., PAGIATAKIS, J., BRINK, W., 2001. Effect of topographical density on geoid in the Canadian Rocky Mountain. *Journal of Geodesy*, 74, 805-815.

HUGHEN, K.A., BAILLIE, M.G.L., BARD, E., BAYLISS, A., BECK, J.W., BERTRAND, C., BLACKWELL, P.G., BUCK, C.E., BURR, G., CUTLER, B., DAMON, P.E., EDWARDS, R.L., FAIRBANKS, R.G., FRIEDRICH, M., GUILDERSON, T.P., HUGHEN, K.A., KROMER, B., MCCORMAC, F.G., MANNING, S., BRONK RAMSEY, C., REIMER, R.W., REMMELE, S., SOUTHON, J.R., STUIVER, M., TALAMO, S., TAYLOR, F.W., VAN DER PLICHT, J., WEYHENMEYER, C.E., 2004. *Radiocarbon* 46, 1059-1086.

HUGHES, P.D. & WOODWARD, J.C., 2006. The last glaciers of Greece. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, 50, 1, 37-61.

HUGHES, R. O., SMITH, G.W., NANCE, R.N., GENES, A.N., 1993, Cirque development and glaciation of Mount Olympus, Greece. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 25, 3, p. 27.

HUGHES, P.D., GIBBARD, P.L., WOODWARD, J.C., 2003. Relict rock glaciers as indicators of Mediterranean palaeoclimate during the Last Glacial Maximum (Late Würmian) in northwest Greece. *Journal of quaternary Science*, 18, 5, 431-440.

HUGHES, P.D., GIBBARD, P.L., WOODWARD, J.C., 2006a. Late Pleistocene glaciers and climate in the Mediterranean. *Global and Planetary Change*, 50, 83-98.

HUGHES, P.D., WOODWARD, J.C., GIBBARD, P.L., 2006b. Quaternary glacial history of the Mediterranean mountains. *Progress in Physical Geography*, 30, 3, 334-364.

HUGHES, P.D., GIBBARD, P.L., WOODWARD, J.C., 2007. Geological controls on Pleistocene Glaciation and cirque form in Greece. *Geomorphology*, 88, 242-253.

INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, 1966. *Bassins de Salonique et de Thrace, Synthèse pétrole.*

INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, 1967a. *Bassin tertiaire de Salonique.*

INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE, 1967b. *Rapport final. Campagne de forages du Bassin de Salonique.*

INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, I.G.M.E., 1978. Carte géologique, 1 : 50 000^{e}, Thessalonique.

INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, I.G.M.E., 1979. Carte géologique, 1 : 50 000^{e}, Kilkis.

INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, I.G.M.E., 1982. Carte géologique, 1 : 50 000^{e}, Veria.

INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, I.G.M.E., 1984. Carte géologique, 1 : 50 000^{e}, Edessa.

INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, I.G.M.E., 1985. Carte géologique, 1 : 50 000^{e}, Alexandria.

INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, I.G.M.E., 1986. Carte géologique, 1 : 50 000^{e}, Katerini.

INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, I.G.M.E., 1986. Carte géologique, 1 : 50 000^{e}, Plati.

INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, I.G.M.E., 1993. Carte géologique, 1 : 50 000^{e}, Koufalia.

INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, I.G.M.E., 1993. Engineering Geological map, 1 : 500 000^{e}, Greece.

INSTITUTE OF GEOLOGY AND MINERAL EXPLORATION, I.G.M.E., 2002. Carte géologique, 1 : 50 000^{e}, Kolindros.

JEFTIC, L., MILLIMAN, J.D., SESTINI, G., 1992. *Climatic change and the Mediterranean*. UNEP (United Nations Environment Program), London, p.673

KAPSIMALIS V., KARAGEORGIS A., POULOS S., 2002. Determination of long-term morphological changes in human affected coastal system using G.I.S., inner Thermaïkos gulf. In proceedings *6th Panhellenic Geographical conference, Thessaloniki,* 3-6 October, Greece. 115-122.

KAPSIMALIS, V., POULOS, S., KARAGEORGIS, A., PAVLAKIS, P., COLLINS, M., 2005. Recent evolution of a Mediterranean deltaic coastal zone: human impacts on the Inner Thermaikos Gulf, NW Aegean Sea. *Journal of the Geological Society*, London, 162, 897-908.

KARAGEORGIS, A. & ANAGNOSTOU C., 2001. Particulate matter spatial–temporal distribution and associated surface sediment properties: Thermaikos Gulf and Sporades Basin, NW Aegean Sea. *Continental Shelf Research*, 21, 2141-2153.

KARAGEORGIS, A., ALBUISSON M., ANAGNOSTOU C., GEORGOPOULOS D., 2000. Distribution of suspended particulate matter determined by in-situ observations and satellite images in the NW Aegean Sea (Greece). *Geo-Marine Letters*, 20, 93-100.

KIEPERT, H., 1901-1902. *Formae Orbis Antiqui*, XVI : *Graecia cum Macedonie el Epiro* (texte), XVII : *Illyricum et Tharcia* (carte et texte). 2 vol., 7 planches de f. couleurs, 32 p. de texte sur 2 colonnes.

KRAFT, J.-C., ASCHENBRENNER, S.-E., RAPP, G., 1977. Palaeogeographic reconstructions of coastal Aegean archaeological sites. *Science* 195, 941-947.

LAMBECK, K., 1995. Late Pleistocene and Holocene sea-level change in Greece and south-western Turkey: a separation of eustatic, isostatic and tectonic contributions. *Geophys. J. Int*., 122, 1022-1044.

LAMBECK, K., 1996. Sea-level change and shoreline evolution in Aegean Greece since the Upper Paleolithic. *Antiquity*, 70, 588-611.

LAMBECK, K., CHAPELL, J., 2001. Sea level change through the last glacial cycle. *Science*, 292, 679-686.

LAMBECK, K. & PURCELL, A., 2005. Sea-level change in the Mediterranean Sea since the LGM: model predictions for tectonically stable areas. *Quaternary Science Reviews*, 24, 1969-1988.

LANE, S.N., 1998. The use of terrain modeling in the understanding of dynamic river channel systems. In LANE, S.N., RICHARDS, K., CHANDLER, J. (Eds.), *Landforms Monitoring, Modeling, and Analysis*. John Wiley & Sons, New York, 311–342.

LEAKE, W.M., 1835. *Travels in northern Greece*. London, Blackwell.

LE BAS, P., 1870. *Voyage archéologique en Grèce et en Asie mineure: fait par ordre du gouvernement français pendant les années 1843 et 1844, publié sous les auspices du Ministère de l'Instruction Publique*. p.544

LECOANET, H., LÉVÊQUE, F., SEGURA, S., 1999. Magnetic susceptibility in environmental applications : comparison of field probes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 115, 191-204.

LEFORT, J., 1986. *Paysages de Macédoine.* Travaux et mémoires du Centre de Recherche d'histoire et Civilisation de Byzance, Collège de France. Ed. De Boccard. p.311

LE ROY LADURIE, E., 1983. *Histoire du climat depuis l'an mil*. 2 vol., Champs – Flammarion, Paris.

LESPEZ, L., 1999. *L'évolution des modelés et des paysages de la plaine de Drama et de ses bordures au cours de l'Holocène (Macédoine orientale, Grèce)*. Thèse de doctorat, Lille thèses, p.539

LESPEZ, L., DALONGEVILLE, R., PASTRE, J.-F., DARMON, F., MATHIEU, R., POURSOULIS, G., 2003. Late-Middle-Holocene palaeo-environmental evolution and coastline changes of Malia (Crète). In Fouache, E. (Ed.), *The Mediterranean World Environment and History.* Elsevier, 439–452.

LIVADAS, G.C. & SAHSAMANOGLOU, C.S., 1973. *Wind in Thessaloniki – GREECE –*. Publications of the meteorological institute of the University of Thessaloniki, Thessaloniki, 1973.

LUCAS, P., 1712. *Voyage du sieur Paul Lucas fait par ordre du roy dans la Grèce, l'Asie mineure, la Macédoine et l'Afrique.*

LYKOUSIS, V., 1991. Sea-level changes and sedimentary evolution during the Quaternary in the northwest Aegean continental margin, Greece. *Spec. Publ. Int. Assoc. Sedimentology*, 12, 123-131.

LYKOUSIS, V., KARAGEORGIS, A.P., CHRONIS, G.T., 2005. Delta progradation and sediment fluxes since the last glacial in the Thermaikos Gulf and the Sporades Basin, NW Aegean Sea, Greece. *Marine Geology*, 222-223, 381-397.

MAHER, B.A., 1986. Characterisation of soils by mineral magnetic measurements. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 42, 76-92.

MAHER, B.A., 1988. Magnetic properties of some synthetic submicron magnetites. *Geophy. J. Royal Astron. Soc.*, 94, 83-96.

MARINOS, G., 1964. *Beitrage zur Kenntnis der verbreitung des Pleistozäns in Mazedonien*. Publ. Univ. Thessalonique, p.95

MARINOS, G., SAKELLARIOU-MANE, E., SOTIRIADIS, L., SAPOUNDJIS, H., 1970. Sur la paléogéographie de l'Egéide du Nord dans la région de Cassandra (Chalcidique, Macédoine, Grèce). *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 22, 1-27.

MARRINER, N., MORHANGE, C., BOUDAGHER-FADEL, M., BOURCIER, M., CARBONEL, P., 2005. Geoarchaeology of Tyre's ancient northern harbour, Phoenicia. *Journal of Archaeological Science*, 32, 1302-1327.

MARRINER, N. & MORHANGE, C., 2007. Geoscience of Mediterranean harbours. *Earth-Science Reviews*, 80 (3-4), 137-194.

MAUNE, D.F., MAITRA, J.B., MCKAY, E.J., 2001. Accuracy Standards, Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Bethesda, Maryland, 61–82.

McINTOSH, G., 2000. *The Piri Reis Map of 1513*. The University of Georgia Press, Athens & London, p.230

MELADIOTIS, J., 1984. *Etude géologique de la partie orientale de la plaine de Salonique entre les rivières Axios et Gallikos où se développent des aquifères exploitables.* Thèse, Univ. Aristote de Thessalonique.

MELADIOTIS, J., 1993a. La subsidence du fossé d'effondrement de Salonique-Giannitsa (Grèce) pendant l'Holocène. *Quaternaire*, 4, 39- 44.

MELADIOTIS, J., 1993b. Le renouvellement des nappes captives du fossé d'effondrement de l'Axios, dans la plaine de Salonique (Grèce). *Quaternaire*, 4, 137-144.

MERCIER, J.L., 1960. Zone Pélagonienne et zone du Vardar en Macédoine grecque. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7, 435-449.

MERCIER, J.L., 1963. Sur la géologie de la Macédoine centrale : le Massif du Païkon (I- Etude stratigraphique sur la feuille au 1 : 50 000^{e} de Giannitsa). *Geological and Geophysical Research*.

MERCIER, J.L., 1977. Principal results of a neotectonic study of the Aegean arc and localisation within Eastern Mediterranean. *Col. Geol. Aeg. Reg.,* III, 1281-1291.

MERCIER, J.L. & SAUVAGE, S., 1963. Remarques sur la géologie de la Macédoine Centrale. Les calcaires à pollens et spores de la basse vallée de l'Axios. *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 33, 330-337.

MERCIER, J.L. & SAUVAGE, S., 1966. Sur la Géologie de la Macédoine Centrale : Les tufs volcaniques et les formations volcano-détritiques Pliocène à pollen et spores d'Almopias (Grèce). *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 188-200.

MERCIER, J.L. & VERGÉLY, P., 1972. Les mélanges ophiolitiques de Macédoine (Grèce) : décrochements d'âge anté-Crétacé supérieur. *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, 123, 469-489.

MILIARESIS, G.C. & PARASCHOU, C.V.E., 2004. Vertical accuracy of the SRTM DTED level 1 of Crete. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 7, 49-59.

MIMIKOU, M.A., KANELLOPOULOU, S.P., BALTAS, E.A., 1999. Human implication of changes in the hydrological regime due to climate change in northern Greece. *Global Environmental Change*, 9, 139-156.

MISKOVSKI, J.C., 1988. *Les sédiments : témoins du passé*. Collection Science et découvertes, Editions du Rocher, Paris, p.122

MORHANGE, C., 1994. *La mobilité des littoraux provençaux: Eléments d'analyse géomorphologique*, Thèse de doctorat. Université de Provence, Aix-en-Provence.

MORHANGE, C. (Ed.), 2000. Ports antiques et paléoenvironnements littoraux. *Méditerranée*, 94, 1–112.

MORHANGE, C. 2001. *Mobilité littorale de quelques sites portuaires antiques de Méditerranée : Marseille, Pouzzoles, Cumes, Kition et Sidon.* Habilitation à Diriger les Recherches, Université de Provence, Aix-en-Provence.

MORHANGE, C., GOIRAN, J.-P., BOURCIER, M., CARBONEL, P., LE CAMPION, J., ROUCHY, J.-M., YON, M., 2000. Recent Holocene Paleoenvironmental evolution and coastline changes of Kition, Larnaca, Cyprus, Mediterranean Sea. *Marine Geology,* 26, 205–230.

MOUNTRAKIS, D., PAVLIDES, N., ZOUROS, N., ASTARAS, T.A., CHATZIPETROS, A., 1998. Seismic fault geometry and kinematics of the 13 May 1995, Western Macedonia (Greece) Earthquake. *J. Geodynamics*, 26, 2-4, 175-196.

MURRAY, J., 1900. *Murray's Handbook. Handbook for travellers in Greece including the Ionian islands, continental Greece, the Peloponnesus, the islands of the Aegean, Thessaly, Albania and Macedonia*. 7e Edition, Londres.

NAUMANN E., 1894. *Macedonien und seine neue Eisenbahn Salonik-Monastyr.* R. Oldenburg, München, p.58

NEBOIT R., 1991. *L'Homme et l'érosion. L'érosion des sols dans le monde.* Faculté des lettres et sciences humaines de l'Université Blaise-Pascal, 2^{e} édition, nouvelle série, Fascicule 34, p.269

NEDECO Co., Netherlands Engineering Consultants, The Hague, Netherlands, 1970. Regional Development project of the Salonika (Thessaloniki) plain. Land Reclamation Service (YEB) of the Ministry of Agriculture, Athens.

NOVAK, I.D. & SOULAKELLIS, N., 2000. Identifying geomorphic features using LANDSAT T-5/ TM data processing techniques on Lesvos, Greece. *Geomorphology*, 34, 1-2, 101-109.

O'SULLIVAN, F., 1972. *The Egnatian way*. David & Charles, p.264.

OLDFIELD, F. & Robinson, S.G., 1985. Geomagnetism and paleoclimate, In Tooley M.J., Sheil G. (Eds). *The Climatic Scene*. Allen and Unwin, Winchester, 186-205.

OLDFIELD, F., MAHER, B.A., DONOGHUE, J., PIERCE, J., 1985. Particle-size related mineral magnetic source-sediment linkages in the Rhode River catchment: Maryland: USA. *Journal of the Geological Society of London*, 142, 1035-1046.

OLDFIELD, F., MAHER, B.A., APPLEBY, P.G., 1989. Sediment source variations and lead-210 inventories in recent Potomac Estuary sediment cores. *Journal of Quaternary Science*, 4, 189-200.

PALASIS, A., 1972-1973. Über die eustatischen Schwankungen des Mittelmeerspiegels während des Pleistozäns im Raum des Thermaikos Golfes. *Quartär*, 23/24, 123-147.

PAPAZACHOS, C.B. & KIRATZI, A.A., 1996. A detailed study of the active crustal deformation in the Aegean and surrounding area. *Tectonophysics*, 53, 129-153.

PAPAZOGLOU, F., 1988. Les *villes de Macédoine à l'époque romaine*. Ed. De Boccard. B.C.H. 16 (suppl.). p.528

PASSEGA, R., 1957. Texture as characteristics of clastic deposition. American Association Petrol. *Geol. Bull.*, 41, 9, 1952-1964.

PAVLOPOULOS, K., KARKANAS, P., TRIANTAPHYLLOU, M., KARYMBALIS, E., TSOUROU, T., PALYVOS, N., 2006. Palaeoenvironmental Evolution of the Coastal Plain of Marathon, Greece, during the Late Holocene : Depositional Environment, Climate and Sea Level Changes. *Journal of Coastal Research,* 22 (2), 424-438.

PAVLOPOULOS, K., TRIANTAPHYLLOU, M., KARKANAS, P., KOULI, K., SYRIDES, G., VOUVALIDIS, K., PALYVOS, N, TSOUROU T., 2007. Paleoenvironmental evolution and prehistoric Human environment, in the embayment of Palamari (Skyros Island, Greece) during Middle-Late Holocene. 17th INQUA Congress, *Quaternary International*, 167-168 (abstracts book).

PÉDECH, P., 1964. *La demarche historique de Polybe*. Les Belles letters, Paris, p.644

PÉRES, J.-M., 1982. *Major benthic assemblages* In Kinne, O. (Eds.), Marine Ecology, part 1, vol. 5, Wiley, Chichester, 373–522.

PÉRES, J.-M., & PICARD, J., 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. Recherches et Travaux Station Marine Endoume, vol. 31. Marseille.

PERISSORATIS, C., & MITROPOULOS, D., 1989. Late Quaternary evolution of the Northern Aegean shelf. *Quaternary Research*, 32, 36-50

PERISSORATIS, C. & CONISPOLATIS, N., 2003. The imapcts of sea-level changes during latest Pleistocene and Holocene times on the morphology of the Ionian and Aegean seas (SE Alpine Europe). *Marine Geology*, 196, 145-156.

PETSAS, P., 1978. *Pella, Alexander the Great's capital*. Institute for Balkan Studies, Thessaloniki. p.164

PIRAZZOLI, P.A., 1976. *Les variations du niveau marin depuis 2 000 ans.* Mémoire du Laboratoire de Géomorphologie et environnement littoral, Dinard, EPHE, p.421

PIRAZZOLI, P.A., 1986. The early Byzantine tectonic paroxysm. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, 62 (Suppl.), 31-49.

PIRAZZOLI, P.A., 1988. Sea-level changes and crustal movements in the Hellenic Arc (Greece). The contribution of archaeological and historical data. In: Rabner, A. (Ed.), *Archaeology of coastal changes*. *British Archaeology Reports International Series*, 404, 157-184.

PIRAZZOLI, P.A., 1991. *World atlas of Holocene sea-level changes*. Elsevier Ocenogr. Ser., 58, 1-300.

PIRAZZOLI, P.A., 1996. *Sea-level changes: the last 20'000 years*. Wiley, New York, p.211

PIRAZZOLI, P.A., STIROS, S.C., LABOREL, J., LABOREL-DEGUEN, F., ARNOLD, M., PAPAGEORGIOU, S., MORHANGE, C., 1994. Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, Greece. *The Holocene*, 4/4, 397-405.

PIRAZZOLI, P.A., LABOREL, J., STIROS, S.C., 1996. Coastal indicators of rapid uplift and subsidence: examples from Crete and other eastern Mediterranean sites. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.,* 102, 21-35.

POULOS, S.E., CHRONIS, G.T., COLLINS, M.B., LYKOUSIS, V., 2000. Thermaikos gulf system, NW Aegean Sea: an overview of water/ sediment fluxes in relation to air-land-ocean interactions and human activities. *Journal of Marine Systems*, 25, 47-76.

POULOS, S.E., KAPSIMALIS, V., TZIAVOS, C., PAVLAKIS, P., LEIVADITIS, G., COLLINS, M., 2005. Sea-level stands and Holocene geomorphological evolution of the northern deltaic margin of Amvrakikos Gulf (western Greece). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.,* 137 (Suppl.), 125-145.

POUQUEVILLE, M., 1835. *Grèce, l'univers*. Firmin Didot, p.447

PSIMOULIS P., GHILARDI M., FOUACHE E., STIROS S., 2006. Subsidence and evolution of the Thessaloniki Plain, Greece, based on historical leveling and GPS data. *Engineering Geology,* 90 (1-2), 55-70.

RABUS, B., EINEDER, M., ROTH, A., BAMLER, R., 2003. The shuttle radar topography mission- a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *Photogramm. Rem. Sens.*, 57, 241-262.

RAWLE, A. *Basic principles of particle size analysis*. Technical paper, Malvern instruments limited, Worcestershire (Angleterre), p.8, www.malvern.co.uk

REIMER, P.J., MCCORMAC, F.G., 2002. Marine radiocarbon reservoir corrections for the Mediterranean and Aegean Seas. *Radiocarbon* 44, 159–166.

REIMER, P.J., BAILLIE, M.G.L., BARD, E., BAYLISS, A., BECK, J.W., BERTRAND, C., BLACKWELL, P.G., BUCK, C.E., BURR, G., CUTLER, B., DAMON, P.E., EDWARDS, R.L., FAIRBANKS, R.G., FRIEDRICH, M., GUILDERSON, T.P., HUGHEN, K.A., KROMER, B., MCCORMAC, F.G., MANNING, S., BRONK RAMSEY, C., REIMER, R.W., REMMELE, S., SOUTHON, J.R., STUIVER, M., TALAMO, S., TAYLOR, F.W., VAN DER PLICHT, J., WEYHENMEYER, C.E., 2004, *Radiocarbon* 46, 1029-1058.

REINECK, H.E., & SINGH, I.B., 1980. *Depositional sedimentary environments*. Springer-Verlag, Berlin, p.551.

REVUE GÉOGRAPHIQUE DES PYRÉNÉES ET DU SUD-OUEST, 1985. *La mobilité des paysages méditerranéens, hommage à Pierre Birot*. Travaux II, Toulouse, p.387.

REY, L., 1917. Observations sur les premiers habitats de la Macédoine recueillies par le Service Archéologique de l'Armée d'Orient, 1916-1919 (région de Salonique). *Bulletin de Correspondance Hellénique,* 40, 257-292.

ROBERTS, N., 1998. *The Holocene*. Blackwell Publishers, Oxford, seconde édition, p.316

RODDEN R. J., 1962. Excavations at the Early Neolithic Site at Nea Nikomedeia, Greek Macedonia (1961 season). *Proceedings of the Prehistoric Society*, 28, 267-288.

RODDEN R. J., 1964. Recent discoveries from Prehistoric Macedonia (an interim report). *Balkan Studies*, 5, 110-124.

RODDEN R. J. & WARDLE K.A., 1996. *Nea Nikomdeia I : the excavation of an early Neolithic village in Northern Greece 1961 – 1964.* 25 (suppl.), The British School at Athens, p.212

ROUSSEL, D., 2003. *Polybe, Histoire*. Quarto Gallimard, p.1504

SAKELLARIOU, M.B., 1988. *Greek lands in history: Macedonia, 4 000 years of greek history and civilization*. Edotike Athenon, Athènes. p.572

SANDSTRÖM, G., 1963, The *History of tunneling: underground working through the ages*. Barrie and Rockliff, London, 429.

SAUVAGE, S., & MERCIER, J.L., 1967. Etude palynologique des formations d'âge pontien de la basse vallée de l'Axios (Macédoine, Grèce). *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 343-357.

SCHWARZ, K. SIDERIS, M., FORSBERG, R., 1987. Orthometric heights without levelling, *Journal of Surveying Engineering*, ASCE, 113, 28-40.

SHACKLETON N., 1970. Stable Isotope Study of the Palaeoenvironment of the Neolithic site of Nea Nikomedeia, Greece. *Nature*, 227, London, 943-944.

SIANI, G., PATERNE, M., ARNOLD, M., BARD, E., MÉTIVIER, B., TISNERAT, N., BASSINOT, F., 2000. Radiocarbon reservoir ages in the Mediterranean Sea and Black Sea. *Radiocarbon* 42, 271–280.

SIDERIS, M. & SHE, B.B., 1995. A new high resolution geoid for Canada and part of U.S. by the 1D-FFT method. *Journal of Geodesy*, 69, 92-108.

SIVIGNON, M., 1987. La mise en valeur du delta de l'Axios. In Bethemont J., Villain-Gandossi C. (Eds), *Les Deltas méditerranéens*, Centre européen de coordination de recherche et de documentation en Sciences sociales, Vienne, 279-296.

SMITH, J.P., 1985. *Mineral magnetic studies on two Shropshire-Cheshire meres*. Thèse de Doctorat, University of Liverpool, p.214

SMITH, G.W. & NANCE, R.D., 1997. Quaternary glacial history of Mount Olympus, Greece. *GSA Bulletin*, 109, 7, 809-824.

SRTM DTED, 2004. US Geological Survey, http://edc.usgs.gov/products/elevation/srtmdted.html.

STEFANIUK, L. & MORHANGE, C., 2005. Evolution des paysages littoraux dans la dépression sud-ouest de Cumes depuis 4000 ans. *Méditerranée*, 104, 49–59.

STIROS, S., 1998. Historical Seismicity, Palaeoseismicity and Seismic Risk in Western Macedonia, Northern Greece. J. Geodynamics, 26 (2-4), 281-287.

STIROS, S., 2001. Rapid subsidence of the Thessaloniki (Northern Greece) coastal plain, 1960-1999, *Engineering Geology*, 61, 243-256.

STIROS, S., 2006. Unexpected Shock Rocks an "Aseismic" Area. *Earth in Space,* vol. 8, 7, March 1996, p.7

STIROS, S. & RONDOGIANNI, T., 1985. Recent vertical movements across the Atalandi fault-zone (Central Greece). *Pure and Applied Geophysics*, 123, 837-848.

STIROS, S. & PAPAGEORGIOU, S., 1990. Post Mesolithic evolution of the thessalian landscape. Actes du colloque international: *La Thessalie, quinze années de recherches archéologiques, 1975-2000, bilans et perspectives*, 29-36.

STIROS, S. & PIRAZZOLI, P., 1995. Palaeoseismic studies in Greece : a review. *Quaternary International*, 25, 57-63.

STUIVER, M., REIMER, P.J., REIMER, R., 2006. CALIB Radiocarbon Calibration. http://calib.qub.ac.uk/calib

STRÜCK, A., 1908. Die makedonischen Niederlande. In *Zur Kunde der Balkanhalbinsel. Reisen und Beobachtungen*, Heft 7, Wien and Leipzig, p.99

SYRIDES, G., 1990. *Etudes Lithostratigraphique, Biostratigraphique et Palaeogeographique des dépôts sédimentaires Néogène – Quaternaire de la péninsule de Chalcidique, Macédoine, Grèce*. Thèse de doctorat. Annales scientifiques du département de Géologie (en grec), Thessalonique. Vol. 1, 11, p.243.

TAFEL, F., 1841. *Via militaris romanorum Egnatia qua Illyricum, Macedonia et Thracia iungebantur. Pars occidentalis*. Tubingae : Typis Hopferi de l'Orme, p.59

TALBERT, 2000. *Barrington: Atlas of the Greek and Roman World*. Princeton University Press, Princeton and Oxford.

THOMPSON, R. & MORTON, D.J., 1979. Magnetic susceptibility and particle-size distributions in recent sediments of the Loch Lomond drainage basin, Scotland. *Journal Sed. Petrol.*, 49, 801-811.

THOMPSON, R. & OLDFIELD, F., 1986. *Environmental Magnetism*. George Allen & Uniwin, London, p.442

TOURATSOGLOU, I., 1998. *La Macédoine, histoire, Monuments, Musées*. Ekdotike Athenon S.A., Athènes (Grèce), p.459

TRANOS, M.D., PAPADIMITRIOU, E.E., KILIAS, A.A., 2003. Thessaloniki– Gerakarou Fault Zone (TGFZ): the western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment. *Journal of Structural Geology*, 25, 2109–2123.

TRIANTAPHYLLOU, S., 2001. A bioarchaeological approach to prehistoric cemetery populations from central and western Greek Macedonia. *B.A.R. International Series*, 976, p.172

TR8350.2, 1997. *Department of Defense World Geodetic System 1984, Its Definition and Relationship with Local Geodetic Systems*, third ed. NGA Technical Report TR8350.2, 4 July 1997, http://164.214.2.59/GandG/tr8350_2.html.

VALAMOTI, S.M., 2004. *Plants and people in late Neolithic and early Bronze Age, Northern Greece : an archaeobotanical investigation*. Archaeopress, Oxford, p.186.

VAN ANDEL, T.H., 1989. Late Quaternary sea-level and archaeology. *Antiquity*, 63, 733–745.

VAN ANDEL, T.H. & SHACKLETON, J.C., 1982. Late Paleolithic and Mesolithic Coastlines of Greece and the Aegean. *Journal of Field Archaeology*, 9, 445–454.

VAN ANDEL, T.H. & LIANOS, N., 1984. High-resolution seismic reflection profiles for the reconstruction of postglacial transgressive shorelines – an example from Greece. *Quaternary Research*, 22, 31-45.

VAN ANDEL, T.H. & PERISSORATIS, C., 2006. Late Quaternary depositional history of the North Evvoikos Gulf, Aegean Sea, Greece. *Marine Geology*, 232, 3-4, 157-172.

VAN ANDEL, T.H., RUNNELS, C.N., POPE, K.O., 1986. Five thousand years of land use and abuse in the Southern Argolid, Greece. *Hesperia*, 55, 103-128.

VAN ANDEL, T.H., ZANGGER, E., DEMITRACK, A., 1990. Land use and soil erosion in Prehistoric and historical Greece. *Journal of Field Archaeology*, 17, 379-396.

VAN STRATEN, L.M.J.U., 1964. *Deltaic and shallow marine deposits, developments in sedimentology*. Proceedings of the sixth international sedimentological congress, the Netherlands and Belgium – 1963, Elsevier, p.464

DE **V**AUMAS, E., 1967. Phénomènes karstiques en Méditerranée orientale. *Mem. Et Doc., C.N.R.S.*, 4, 195-281.

VERGÉLY, P., 1975. Origine « vardarienne », chevauchement vers l'Ouest et rétrocharriage vers l'Est des Ophiolites de Macédoine (Grèce) au cours du Jurassique supérieur-Eocrétacé. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 280, 1063-1066.

VERGÉLY, P. & MERCIER, J.L., 2000. Données nouvelles sur les chevauchements d'âge post-Crétacé supérieur dans le massif du Païkon (zone de l'Axios-Vardar, Macédoine, Grèce) : un nouveau modèle structural. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary Sciences,* 330, 555–561.

VIQUESNEL, A., 1861. *Voyage dans la Turquie d'Europe: descriptions physique et géologique de la Thrace*. Gide, Paris, 2 vol., p.384

VITA-FINZI, C., 1969. *The Mediterranean Valleys. Geological Changes in Historical Times.* Cambridge, p.169

VOLKER, H.X., WASKLEWICZ, T.A., ELLIS, M.A., 2007. A topographic fingerprint to distinguish alluvial fan formative processes. *Geomorphology*, 88, 34-45.

VÖTT, A., 2007. Relative sea level changes and regional tectonic evolution of seven coastal areas in NW Greece since the mid-Holocene. *Quaternary Science Reviews,* 26 (7-8), 894-919.

VÖTT, A., BRÜCKNER, H., SCHRIEVER, A., BESONEN, M., VAN DER BORG, K., HANDL, M., 2003. Holocene coastal changes in the Acheloos alluvial plain (northwestern Greece) and their effects on the ancient site of Oiniadai. CIESM workshop Monographs n°24, Santorini, 22-25 October 2003, 33-42.

VÖTT, A., BRÜCKNER, H., SCHRIEVER, A., HANDL, M., BESONEN, M., VAN DER BORG, K., 2004. Holocene coastal evolution around the ancient seapot of Oiniadai, Acheloos alluvial plain, NW Greece. *Coastline Reports*, 1, 45-53.

VÖTT, A., BRÜCKNER, H., SCHRIEVER, A., LUTHER, J., HANDL, M., VAN DER BORG, K., 2006a. Holocene Paleogeographies of the Palairos Coastal Plain (Akarnania Northwest Greece) and their geoarchaeological implications. *Geoarchaeology*, 21, 649–664.

VÖTT, A., BRÜCKNER, H., HANDL, M., SCHRIEVER, A., 2006b. Holocene palaeogeographies of the Astakos coastal plain (Akarnania, NW Greece). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* 239, 126–146.

VOUVALIDIS, K.G., SYRIDES, G.E., ALBANAKIS, K.S. 2005. Holocene morphology of the Thessaloniki Bay: impact of sea level rise. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 137 (Suppl.), 147-158.

WALDEN, J. & SLATTERY, M., 1993. Verification of a simple gravity technique for separation of particle size fractions suitable for mineral magnetic analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18, 829-833.

WENINGER, B., ALRAM-STERN, E., BAUER, CLARE, L., DANZEGLOCKE, U., JÖRIS, O., KOBATZKI, C., ROLLEFSON G., TODOROVA, H., VAN ANDEL, T., 2006. Climate forcing due to the 8200 cal yr BP event observed at Early Neolithic sites in the eastern Mediterranean. *Quaternary research*, 66, 401-420.

WEYDERT, P., 1976. *Manuel de sédimentologie et d'arénologie*. Laboratoire de Géologie Marine de Marseille-Luminy, p.61

WILLIS, K.J., 1994. The vegetation history of the Balkans. *Quaternary Science Reviews*, 13, 769-788.

WIJMSTRA, T.A., 1969. Palynology of the first 30 meters of a 120 meters deep section in Northern Greece. *Acta Botanica*, 18, 4, 511-527.

WOODWARD, J.C., 1995. Patterns of erosion and suspended sediment yield in Mediterranean river basins. In : I.D.L. FOSTER, A.M. GURNELL, B.W. WEBB (Eds.), *Sediment and Water Quality in River Catchments*. London, Wiley, 365-389.

YIM W.W.-S., HUANG G., CHAN L.S., 2004. Magnetic susceptibility study of Late Quaternary inner continental shelf sediments in the Hong Kong SAR, China. *Quaternary International*, 117, 41-54.

ZÉRAI, K., 2006. *Les environnements holocènes et actuels dans le bassin versant de l'oued Sbeïtla (Tunisie centrale)*. Thèse de Doctorat, Université Paris VII, p.333

ZOHARY, D. & HOPF, M., 2000. *Domestication of plants in the Old World*. Oxford University Press, 3rd edition, Oxford, p.316

TABLE DES ENCADRÉS

Encadré 1 : Description générale de la plaine de Macédoine centrale au XIX^{e} siècle 231
Encadré 2 : Différents types de comportements magnétiques 296

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de localisation de la Macédoine centrale 22
Figure 2 : Cadre physique de la Macédoine centrale 22
Figure 3 : Démarche de thèse 35
Figure 4 : Vision tridimensionnelle de la Macédoine centrale 44
Figure 5 : Localisation des profils topographiques 49
Figure 6 : Profils topographiques établis dans la plaine de Macédoine et sur ses marges (données S.R.T.M.), longueur et hauteur exprimées en mètres 49
Figure 7 : Bassins-versants des cours d'eau drainant la plaine de Macédoine centrale 54
Figure 8 : (a) Variations mensuelles de débits pour l'Aliakmon et l'Axios ; (b) Débit liquide et volume de matière en suspension pour l'Aliakmon (station d'Ilariona) pour la période 1962-1982 57
Figure 9 : Taux de personnes impaludées, par localité, en 1917, dans la plaine de Thessalonique 61
Figure 10 : Configuration du trait de côte dans le golfe Thermaïque en 1940 67
Figure 11 : Esquisse des zones structurales de la Grèce (Aubouin *et al.*, 1960) 76
Figure 12 : Carte structurale de la Macédoine centrale (NEDECO, 1970) 77
Figure 13 : Profils sismiques de la plaine de Macédoine centrale (d'après Faugères, 1978) ... 78
Figure 14 : Carte géologique simplifiée de la Macédoine centrale (d'après Astaras & Sotiriadis, 1988) 83
Figure 15 : Bordure méridionale du massif du Païkon (LANDSAT TM, composition colorée, bandes spectrales 2, 3, 5) 88
Figure 16 : Bordure septentrionale du massif de Piérie (LANDSAT TM, composition colorée, bandes spectrales 2, 3, 5) 90
Figure 17 : Transect 1 (sondages E544, E547, E542, E531, E644) 93
Figure 18 : Transect 2 (sondages E749, E549, E565, E571, E744) 95
Figure 19 : Transect 3 (sondages E545, E569, E674, E630, E676) 97
Figure 20 : Transect 4 (sondages E623, E625, E761, E686) 99

Figure 21 : Transect 5 (sondages E625, E619, E622, E683) 101
Figure 22 : Localisation des sondages effectués par la NEDECO et des transects établis 102
Figure 23 : Eléments pour comprendre l'histoire sédimentaire de la plaine de Macédoine centrale 104
Figure 24 : Localisation des forages d'exploration pétrolière (Méladiotis, 1993a) 107
Figure 25 : Coupes lithologiques et stratigraphiques de forages effectués dans la partie orientale de la plaine Thessalonique entre l'Axios et le Gallikos (Méladiotis, 1993a)..... 108
Figure 26 : Coupes de résistivité sur 9 sondages électriques et corrélation avec les forages G1 et G2 (Méladiotis, 1993a)..... 109
Figure 27 : Essai de synthèse du prisme sédimentaire du delta de l'Axios. I : plaine deltaïque, II : front deltaïque, III : pro-delta (Méladiotis, 1993a)..... 110
Figure 28 : Localisation des carottages réalisés par l'I.G.M.E. et variation des niveaux supérieurs des surfaces piézométriques..... 114
Figure 29 : Localisation des bornes géodésiques installées dans la plaine de Thessalonique..... 116
Figure 30 : Carte simplifiée de la localisation des bornes géodésiques réparties dans la plaine de Thessalonique 116
Figure 31 : Bornes géodésiques (triangles rouges) remesurées en 2005 avec indication du changement d'altitude. 121
Figure 32 : Corrélation entre subsidence et contexte géologique 122
Figure 33 : Carte des précipitations de la Grèce (d'après Fouache, 1999) 131
Figure 34 : Variation interannuelle des précipitations pour la station de Thessalonique entre 1970 et 2000 (Ghilardi, 2003)..... 133
Figure 35 : Diagramme ombrothermique pour la station de Thessalonique entre 1970 et 2000..... 134
Figure 36 : Rose des vents annuels pour la station de Thessalonique pour la période 1931-1971 (Angouridakis *et al.*, 1981) 135
Figure 37 : Diffusion de l'engrain (Triticum monococcum) au Néolithique..... 139
Figure 38 : Courbes de remontée du niveau marin pour quelques littoraux (Vouvalidis *et al.*, 2005) 140
Figure 39 : Position du trait de côte il y a 20 000 ans (en rouge) et d'un ancien cours commun de l'Aliakmon, de l'Axios et du Pinios (en tirets bleus) 141
Figure 40 : Epaisseur des sédiments pour les unités A, B et C (Lykousis *et al.*, 2005)..... 142
Figure 41 : Reconstitution paléogéographique élaborée par A. Strück (1908)..... 151

Figure 42 : Localisation du Borboros d'après A. Strück (1908) 155
Figure 43 : Plaine de Macédoine centrale en 600 - 450 avant J.C. (Hammond, 1972) 158
Figure 44 : Plaine de Macédoine centrale en 356 avant J.C. (Hammond, 1972) 158
Figure 45 : Séquence chronostratigraphique du sondage de Giannitsa (Bottema, 1974, d'après Bintliff, 1976) 162
Figure 46 : Reconstitution paléogéographique selon S. Bottema (1974) 162
Figure 47 : Reconstitution de la plaine de Macédoine Centrale (Bintliff, 1976) 164
Figure 48 : Reconstitution paléogéographique établie par T.A. Astaras (1988) et L. Sotiriadis 165
Figure 49 : Configuration générale de la Macédoine à l'époque romaine (Papazoglou, 1988) 183
Figure 50 : Localisation de la Bottiée et des villes citées par les sources antiques (Papazoglou, 1988) 185
Figure 51 : Interprétation cartographique d'après les textes d'Hérodote 192
Figure 52 : Itinéraire des armées de Sitalcès depuis la Haute vers la Basse Macédoine 192
Figure 53 : Itinéraire du périple du Pseudo-Skylax (première moitié du IV^{e} siècle av. J.-C.) 195
Figure 54 : Vision des paysages de Macédoine d'après Strabon (I^{er} siècle ap. J.-C.) 195
Figure 55 : Localisation des sites archéologiques majeurs dans la plaine de Macédoine centrale 206
Figure 56 : Vue aérienne du site de Nea Nikomideia et description de l'habitat (Rodden & Wardle, 1996) 208
Figure 57 : Interprétation cartographique du récit de Plutarque, mentionnant le Borboros 212
Figure 58 : Vision de l'île Phacos lors de l'arrivée de Paul-Emile à Pella 215
Figure 59 : Fragment de la table de Peutinger entre Dion (Dium) et Thessalonique (Tessalonice) 217
Figure 60 : La route romaine Via Egnatia entre Dyrrachium et Byzance 219
Figure 61 : Arche du pont romain de Klidi 222
Figure 62 : Macédoine centrale au début du XVIII^{e} siècle (Guillaume de Lisle, 1708) 229
Figure 63 : Macédoine centrale au milieu du XIX^{e} siècle (Arrowsmith, 1844) 229
Figure 64 : Réseau hydrographique de la plaine de Macédoine centrale (Strück, 1908) 236
Figure 65 : Cascades d'Edessa (Cousinéry, 1831) 247
Figure 66 : Cours d'eau provenant du massif de Piérie (Heuzey, 1860) 250
Figure 67 : Présence du lac de Giannitsa au centre de la plaine (Leake, 1835) 252

Figure 68 : Contours du lac de Giannitsa (Ancel 1930, d'après les cartes de l'Etat-major hellénique au 1 : 100.000, tirage de 1928) 252
Figure 69 : Reconstitution paysagère de la plaine de Macédoine centrale au XIXe siècle d'après les récits de voyageurs 257
Figure 70 : Localisation des sondages effectués en mai 2005 273
Figure 71 : Logs stratigraphiques (avec malacofaune) des sondages S1 à S4 282
Figure 72 : Logs stratigraphiques (avec malacofaune) des sondages S5 à S8 283
Figure 73 : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S6 291
Figure 74 : Analyses stratigraphiques des sondages S1, S2, S3, S4 293
Figure 75 : Analyses stratigraphiques des sondages S5, S6, S7, S8 294
Figure 76 : Résultats obtenus en fonction de la susceptibilité magnétique et du mode granulomtrique, en milieu de sédimentation marine 300
Figure 77 : Résultats obtenus en fonction de la susceptibilité magnétique et du mode granulométrique, en milieu de sédimentation lacustre 301
Figure 78 : Résultats obtenus en fonction de la susceptibilité magnétique et du mode granulométrique, en milieu de sédimentation fluviatile 302
Figure 79 : Résultats obtenus en fonction de la susceptibilité magnétique et du mode granulométrique, en milieu de sédimentation fluviatile pour les sondages S4 et S8 304
Figure 80 : Concentrations de particules (%) exprimées en fonction de la susceptibilité magnétique et de différentes fractions granulométriques (4, 20.7, 63.4, 200 μm) 306
Figure 81 : Chronostratigraphie des faciès sédimentaires des sondages S1, S2, S3, S4 311
Figure 82 : Chronostratigraphie des faciès sédimentaires des sondages S5, S6, S7 312
Figure 83 : Transect 1 (Sondages S2, S3, S4 et S6) 323
Figure 84 : Transect 2 (Sondages S3, S5, S6 et S7) 327
Figure 85 : Image satellite LANDSAT TM (composition colorée, canaux 2, 3, 5) 330
Figure 86 : Interprétation des données satellitaires de l'image LANDSAT TM 5 (11/05/1997) 333
Figure 87 : Différence altimétrique exprimée en m, entre les données S.R.T.M. et les altitudes GPS mesurées en 2005 337
Figure 88 : Profils topographiques de la partie centrale de la plaine 339
Figure 89 : Interprétation spatiale des formes héritées observées sur l'image LANDSAT TM et reportées sur le fond topographique élaboré à partir de données S.R.T.M. 341
Figure 90 : Spatialisation des apports sédimentaires des différents bassins-versants 343

Figure 91 : Modélisation des apports sédimentaires des différents bassins-versants (M.N.T.) 344
Figure 92 : Configuration des paysages en 4 000 av. J.-C. 353
Figure 93 : M.N.T. des paysages en 4 000 av. J.-C. 353
Figure 94 : Configuration des paysages en 2 500 av. J.-C. 355
Figure 95 : M.N.T. des paysages en 2 500 av. J.-C. 355
Figure 96 : Configuration des paysages en 1 600 av. J.-C. 357
Figure 97 : M.N.T. des paysages en 1 600 av. J.-C. 357
Figure 98 : Configuration des paysages en 500-350 av. J.-C. 359
Figure 99 : M.N.T. des paysages en 500-350 av. J.-C. 359
Figure 100 : Configuration des paysages en 100 ap. J.-C. 361
Figure 101 : M.N.T. des paysages en 100 ap. J.-C. 361
Figure 102 : Configuration des paysages en 300 ap. J.-C. 363
Figure 103 : M.N.T. des paysages en 300 ap. J.-C. 363
Figure 104 : Configuration des paysages au XIX^{e} siècle 365
Figure 105 : M.N.T. des paysages au XIX^{e} siècle 365
Figure 106 : Configuration des paysages en 2 007 367
Figure 107 : M.N.T. des paysages en 2 007 367
Figure 108 : Essai de localisation de l'Amphaxitide (300 av. J.-C.) 370

TABLE DES PHOTOS

Photo 1 : Vue sur la plaine depuis la rive droite de l'Aliakmon 47
Photo 2 : Vue depuis les collines de Piérie vers le nord..... 47
Photo 3 : Vue de la ville de Veria et du massif du Vermion..... 48
Photo 4 : Chutes d'eau d'Edessa 50
Photo 5 : Vue de la ville de Thessalonique et des contreforts du massif du Chortiatis depuis le cap de Mikro Emvolo..... 52
Photo 6 : Place Aristote de Thessalonique 52
Photo 7 : l'Axios entre les villes de Chalastra et Nea Malgara (vue vers le nord)..... 56
Photo 8 : l'Aliakmon dans son secteur aval (vue vers le nord)..... 56
Photo 9 : Ancien chenal de l'Aliakmon dans les environs de Trikala (vue vers le N-E)..... 58
Photo 10 : Méandre abandonné en rive gauche de l'Aliakmon, dans les environs de Nisellion 58
Photo 11 : Le cours du Loudias à proximité de Kleidion (vue vers le nord) 59
Photo 12 : Construction de digues protectrices (Ancel, 1930)..... 63
Photo 13 : Canalisation du cours du Gallikos au nord ouest de Nea Magnesia (vue vers l'amont) 64
Photo 14 : Canal périphérique aux environs de Nea Nikomideia (vue vers le nord)..... 64
Photo 15 : Lac de Giannitsa en 1897 lors de la bataille qui opposa Grecs et Slaves en ce lieu (Touratsoglou, 1998)..... 65
Photo 16 : Digue littorale dans la partie distale du delta de l'Axios (vue vers le sud) 67
Photo 17 : Barrage d'Assomata sur l'Aliakmon 68
Photo 18 : Affleurement de roches miocènes dans le secteur de Nea Agathoupolis 79
Photo 19 : Travertins de Mieza (photo prise sur le site archéologique)..... 85
Photo 20 : Etagement de cônes alluviaux au pied de la ville de Vergina..... 90
Photo 21 : Exemple de manifestation de la subsidence : affaissement de 80 cm d'un canal.. 113
Photo 22 : Incursion de la mer dans la région de Kalochorion 113
Photo 23 : Prélèvement des sédiments effectué grâce à un carottier à percussion..... 274
Photo 24 : Phase d'extraction mécanique des carottes..... 274
Photo 25 : Indicateurs biologiques identifiés 276
Photo 26 : Granulomètre L.A.S.E.R. Beckman Coulter LS 230..... 288
Photo 27 : Bartington MS2B..... 298
Photo 28 : Bartington MS2B relié à l'instrument de mesure 298

Photo 29 : Séparation au bromoforme des minéraux lourds (d > 2.89) du reste des minéraux 303
Photo 30 : Ancien delta de l'Axios, fortement érodé par l'action marine 334

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques générales des principaux fleuves débouchant dans le golfe Thermaïque 53
Tableau 2 : Phases d'orogenèse et lithologie représentative des roches constituant la plaine de Thessalonique et ses marges (NEDECO, 1970) 81
Tableau 3 : Résultats obtenus pour chaque repère géodésique (47) remesuré 118-119
Tableau 4 : Moyennes mensuelles des températures et des précipitations pour la période 1970 – 2000 (Ghilardi, 2003) 133
Tableau 5 : Direction des vents exprimée en pourcentages pour la période 1931 - 1971 135
Tableau 6 : Extrait de la carte marine Kolpos Thessalonikis (H.N.H.S., 1974) indiquant des informations relatives aux marées 136
Tableau 7: Périodes d'occupation des sites en Macédoine 139
Tableau 8: Caractéristiques (référence, latitude, longitude, profondeur) des sondages réalisés 273
Tableau 9: Espèces marines et continentales (malacofaune) 275
Tableau 10: Identification malacologique pour le sondage S2 278
Tableau 11 Identification malacologique pour le sondage S3 279
Tableau 12 Identification malacologique pour le sondage S5 281
Tableau 13: Caractéristiques techniques du Bartington MS2B 297
Tableau 14: Résultats des datations par le radiocarbone 310
Tableau 15: Comparaison entre altitudes mesurées en 2005 (D.G.P.S.) et données S.R.T.M. 336

INDEX GÉOGRAPHIQUE

Abydon (Amydon), **187-188**,
Acanthe, 189,
Acerdos, 217-218,
Achladochorion, 88,
Agia Varvara, 55, 66,
Aiginion, 45,
Alexandria, 45,

Aliakmon (Aliacmon, Haliacmon), 21, 26-27, 33-35, 39, 43-45, 47-48, 51, **55-58**, 60, 62-64, **66-68**, 79, 141, 143, 152-154, 159, 163-164, 169, 178, 181, 193, 197, 199-201, **202-203**, 205, 210, 222, 233, 235-236, **242-244, 249-250**, 261, 267-268, 271, 295, 313, 317, 321, 324-326, 329, **331-332**, 338, 340, 342-343, 345, 349, 351-352, 354, 356, 358, 360, 362, 364, 366, **369**, 373, 375, 379-382,

Almopie (Karadgia-Ovasi ; Karadjowa ; Moglena), 44, 51, 64, 86, 137, 184, **244**, 254,
Aloros, 193, 202, 204-205,
Amphaxitide, 203, **239-240**, **369-370**,
Amphipolis, 182, 213,
Anamo, 217-218,
Anatolikon, 334,
Angathia, 46,
Angelochorion, 48, 207, 352, 354, 356, 380,
Apollonia, 219,
Arachos, 104,
Arabitza (Arapitza), 63, 244, **245**,
Aravissos, 111, **120**,
Archnotikon, 352, 354,
Aridéa, 51, 85,
Arulos, 217,
Askion, 55,
Astraios, 154,
Athos (mont), 189,
Axios (Axius, Vardar, Vardhari, Wardar), 21, 26-29, 31, 33-35, 43-45, 51, **53-58**, 60, 62-63, **66-68**, 73-75, 79, 87-89, 91-92, 98, 105, 107-108, **109-110**, 112, 115, 117, 122, 135-136, 141, 143, 145, 152-154, 159, 163-164, 169, 178, 181, 184, 187-191, 193-194, 196-197, **198-205**, 211, 227, **234-235**, 236-237, **238-240**, 241-243, 248-249-250, 253, 256, 259, 261-262, 267-268, 271, 295, 307, 313, 317, 319, 321-322, 326, 329, **332-334**, 338, 342-343, 345, 349, 351-352, 354, 356, 358, 360, 362, 366, 369-371, **373**, 375, 379-383
Axos, 184,
Bada, 217-218,
Bagnia, 245, 256,
Batac, **233-234**,
Bisaltie, 184,
Borboros, 31, **154-156**, 261, 358, 371, 382,
Bottiée, **184-185**, 190-191, 198, **200-203**, 370,
Cara-Azmac (voir Loudias),
Chalastra (Colakia, Kolakia, Koulokia), 53, 91, 99, 101, 104, 117, 121, 159, 197-199, 202, **234-235**, 238, 364, 366,

Chalcidique, 29, 74, 189-190, 351,
Chalkidon, 51, 91, 94,
Chortiatis, 21, **51-52**, 81, 87, **88**, 110, 238,
Crestonie, 184, 198,
Crna Gora, 53,
Dion (*Dium*), 153, 193, 204, 216-218,
Dobéros, 182, 190-191,
Dyrrachium, 218,
Edessa (Vodena), 48, 50, 63, 73, 82, 86, 132, 218, 244-245, 246
Emathie, **182-183**
Episkopi (Episcopi), 244-245
Erigon, 202, 204-205
Eordée, 184
Evropos, 205, 247, 249
Flamouria, 48, 82,
Gallikos (Echeidore, Echeidoros, Echeidorus), 21, 28, 53, 55, **59**, 62-64, 66, 68, 88, 91-92, 98-99, 107-109, 112, 153-154, 159-160, 164, 169, 178, 197, **198-205, 233-234, 237-238**, 239, 261, 329, 334, 342, 349, 356, 358, 360, 364, 366, 370, 372, **373**
Gefyra, 66
Giannitsa (Gianitsa, Gianitza, Iannitza, Jenidsche, Yénidjé), (lac de), 43, 45, 60, **62-64**, 73, 75, 78, 103, 120, 137, 230-231, 241-242, 244, 247, **251-254**, 259, 317, 322, 331, 340, 345, **364-365**,

Giannitsa (ville de), 45, 51, 65, 88, 132, 156, 161-162, 171, 340, 352,
Gouméla-Réka, 244, **245-246**,
Goumendjé (Gumendsche), **249**,
Gramos, 51, 59, 79, 86-87, 321,
Gymnowo, 245,
Gypsochorion, 88,
Hatera, 217,
Ichnae (Ichnai), 157, 184, 190-191, 196, 198, 200,

Intermurali Amni, 214, 358, 371, 382,
Jawornitza, **246**,
Kalochorion, 74, 109, **110-114, 120**,
Kassandra (Pallène ; Phlegra ; péninsule de), 29, 74, 189, 193, 351,

Katerini, 89, 217,

Kernè, 193,
Kilkis, 59,
Kimina, 104,
Kleidion (Klidi), 45, 59, 78, 103-104, 332,
Klidi (arche de), 153, 206, **221-222**, 243, 364, 366, 372, **373**,
Konikowa, **248**, 254,
Koryfi, 75,
Kouloura, 331,
Kria Vrysi, 45, 103, 352,

Kypseli, 45,
Lakka, 86, 118, 121,
Libanovo, 218,
Loudias (Cara-Azmac), 21, 28, 31, 45, 51, 53, **59**, 62, 66, 152-154, 159, 169, 178, 193-194, 197, 199, **200-205,** 209, **210-213,** 221-222, **235-237**, 238, 240, **241-242**, 243, 250, 253-254, 255-256, 259, 261-262, 320-322, 329, 332, 338, 340, 342-343, 345, 349, 364, 371, 373,

Loudias (Lac), 149, 152, 154, 156-157, 159-160, 163, 169, 196, 211-212, 261, **358-363**, 368-372, 375, 381
Mavrotopos (Karadgia-Ovasi, Bélitsa, Moglénista), 51, 62, 85, 136, 163, **246-248**,
Megalo Emvolo, 45,
Meliki, 46,
Messir-Baba, 248, 251, 254,
Methoni, 45, 68, 89, 193, 201, 221, 366, 381,
Mieza, 50, 205, 246,
Mikro Emvolo, 45, 52,
Moglénitsa (voir Mavrotopos),
Mygdonie, 184, 189-191, 198-200, 370,
Naoussa (Ginausta, Nea Augusta), 48, 50, 63, 82, 84, 231, 237, 244-246, 251, 254,
Nea Agathoupolis (Elevtherochori), 46, 68, 79, 250, 366,
Nea Augusta (voir Naoussa),
Nea Magnesia, 64,
Nea Malgara, 53, 56, 120, **122**,
Nea Mesimvria, 43,
Nea Nikomideia, 40, 43, 45, 48, 64, 161, 163, 206, **207-208**, 340, 352, 354, 356, 368, **372**, 380-381,
Nea Zoï, 86,
Neos Mylotopos, 87,
Nichori, 104,
Nisellion, 55, 57-58, 63, 329, 331,
Niseloudion, 57,
Nision, 120, 122,
Olympe, 21, 44, 46, 86, 137,
Ohrid, 73,
Païkon, 21, 44, **51**, 59, 73, 75, 79, 81, 85, **86-88**, 94, 110, 153, 171, 238, **248-251**, 253-254, 259, 317, 319-320, 332, 337-338, 342, 354, 358, 360, 368-369, 371,

Palaios Mylotopos, 87,
Paléo-Castro, 240, 249, 254,
Paralimni, 352,
Pella, 23, 31, 35, 40, 45, 51, 66, 80, 88, 91, 92, 94, 96, 97, 103, **105-106**, 149, 152, **155-158**, 159, 169-161, 163-164, 171, 176-178, 184, 190-191, **193-196**, 198, 200-206, **208-216**, 219-220, 222-223, 227, 230, 238, 240, 242, 249-251, 253-256, 261-262, 268, 313, 319-320, 324, 332, 340, 352, 354, 358, **360-361**, 362, 368-369, **370-371**, 372, 375, 379, 381-382,
Péonie, 184, 187, 191, 199,
Perse, 187,

Phacos (île), **155**, 157, 160, 213, 215, 261, **371-372**,

Phères, 209,
Piérie, 21, **46-47**, 75, **89**, 184, 142, 157, 191, 193, 201, 210, 220, 230, 233, 235-236, 242-243, **249-250**, 338, 382,
Pinios (Pénée), 193, 141, 143,
Platy, 119, 332, 336,
Prasinada, 331,
Prespa, 73,
Profitis Ilias, 85-86,
Pydna, 193, 201, 204, 213, 214, 219-222, 362,

Rhoedias, 154, **205**, **244**, **247-248**,
Rhodope, 88,
Sardes, 210,
Schoinas (Schinas), 104, 332,
Sindos, 62, 91, 104, 107, 109, **118-120,** 152, 160, 189, 196, 198, 366,
Sithonie (Sithonia), 189,
Sporades (bassin des), 142,
Tcharmarinowo, 245,
Thermaïque (golfe), 21, 26, 30-31, 43, 45, 51, 53, 55, 66-68, 104, 125, 129, 136, **140-143**, 145, 152-154, 163-164, 171, 176, 181, 184, 188, 199-191, 194, **198-200**, 233-234, 259, 261, 319, 324, 329, 334, 351-352, 354, 360, 362, 364, 368, 370, 380, 383,

Thermé, 189-190, 193, 196, 198-200, 202,
Thessalie, 21, 209,
Thessalonique (plaine de), 21, 27, 30, 32-34, 45, 53, 55, 57, 61, 66, 75, 78, 80-81, 111, 115-117, 123, 125, 129, 136-137, 143, 145, 163, 171, 181, 221, 233, 237, 317, 326, 329, 334, 343, 345, 347, 364, 375, 379, 381, 383
Thessalonique (ville de), 21, 28, 43, 45, 48, 51-52, 66, 68, 87, 91, 111, 133-134, 137, 153-154, 157, 275, 329, 362, 364, 366,
Thrace, 187, 189-190,
Trikala (Emathie), 58, 91, 96, 103, 332, 366,

Tripotamos, 63, 84, 154,
Vardar (voir Axios),
Vergina (Aigai ; Palatitza), 23, 46, 89-90, 200, 249,
Veria, 45, 48, 50, 63, 65-66, 74, 82-86, 119, 132, 154, 164, 207, 216-217, 220, 222, 242, 254,
Vermion, 21, 44, **48-51**, 62, 74-75, 79-81, **82-84**, 86, 132, 136-137, 154, 244-246, 253-254, 259, 329, 337-338,
Vernon, 55,
Via Appia, 218,
Via Egnatia, 153, 206, 216, **218-221**, 362,
Via Flaminia, 216,
Vjosë (delta du), 166,
Vodas (Vodena), 48, 50, 63, 86, 244, **246-247**, 254,
Voras, 79, 81, 85-86, 137.

TABLE DES ANNEXES

Annexe I : Technique utilisée pour mesurer les nouvelles altitudes des repères géodésiques..... 431
Annexe II : Méthodes d'études fondées sur la comparaison entre données altimétriques et relevés G.P.S. (Psimoulis *et al.*, 2007)..... 432
Annexe III : Datations par le radiocarbone effectuées à partir d'échantillons prélevés sur le site de Nea Nikomideia (Rodden & Wardle, 1996) 440
Annexe IV : Notices sur les voyageurs 441
Annexe V : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S1..... 448
Annexe VI : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S2 449
Annexe VII : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S3..... 450
Annexe VIII : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S4 451
Annexe IX : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S5 452
Annexe X : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S6..... 453
Annexe XI : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S7 454
Annexe XII : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S8..... 455
Annexe XIII : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S1..... 456
Annexe XIV : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S2..... 457
Annexe XV : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S3..... 458
Annexe XVI : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S4..... 459
Annexe XVII : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S5..... 460
Annexe XVIII : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S6..... 461
Annexe XIX : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S7..... 462
Annexe XX : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S8..... 463
Annexe XXI : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S1 464
Annexe XXII : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S2 465

Annexe XXIII : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S3 466
Annexe XXIV : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S4 467
Annexe XXV : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S5 468
Annexe XXVI : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S7 469
Annexe XXVII : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S8 470
Annexe XXVIII : Photographies du secteur d'études..... 471

TABLE DES ANNEXES

Annexe I : Technique utilisée pour mesurer les nouvelles altitudes des repères géodésiques

Station Rover G.P.S. statique

Balise réceptrice G.P.S. fixe installée à Chalastra

Mesure effectuée au théodolite sur l'emplacement de la station Rover G.P.S. mobile

Mesure effectuée au théodolite sur l'emplacement du repère géodésique

Repère géodésique (Akrolimni - R398)

Annexe II : Méthode d'études fondée sur la comparaison entre données altimétriques et relevés G.P.S. (Psimoulis *et al.*, 2007)

- Altitudes ellipsoïdales et géométriques

Il est très facile de concevoir dans notre esprit que l'altitude ou la hauteur d'un point à la surface du globe représente l'espacement vertical entre ce point et une surface de référence. Généralement cette dernière correspond au niveau moyen de la mer (le zéro altitudinal de référence).

Cette approche simpliste est valide pour l'emploi d'un système de coordonnées cartésiennes (système de coordonnées avec trois axes) et largement adopté pour la construction de bâtiments.

A une échelle plus large, l'emploi de cette méthode n'est pas satisfaisante, d'autant plus que la surface de la terre n'est pas plate, mais correspond *grosso modo* à un *ellipsoïde*. De fait, la forme courbée de la Terre implique que les distances verticales entre deux points ne sont pas parallèles, donc d'inégale distance.

Les ellipsoïdes reflètent généralement de simples formules mathématiques et peuvent être définis par différents paramètres : les coordonnées de leurs centres de références ainsi que l'orientation et la dimension de leurs axes. Pour cette raison, certains calculs mathématiques permettent la prise en comte de la courbure de la Terre et l'utilisation des ellipsoïdes comme des systèmes de référence pour calculer des hauteurs.

Jusqu'à une période très récente, il n'était pas possible d'utiliser efficacement cette technique, pour une simple raison. L'ensemble des instruments et des techniques employées pour définir les hauteurs était basé sur le principe du fil à plomb, utilisant la gravité terrestre.

Le problème est que la direction de la force de gravité ne correspond pas avec la direction verticale de l'ellipsoïde en raison de l'hétérogénéité de la masse de la Terre. Ce phénomène est causé par l'inégale répartition des chaînes de montagne et des océans, mais aussi par la composition et la variété des roches qui composent le manteau terrestre dont la densité est très inégale. D'autres problèmes se posent également, tel que la variation de gravité entre deux points de la surface de la Terre (Schwarz *et al.*, 1987). Les exemples ne manquent pas pour illustrer ces différences de hauteurs entre deux points, ainsi au XIX^{e} siècle pendant la construction de tunnels sous la chaîne des Alpes, des erreurs de plusieurs mètres de hauteur furent relevées sur une distance d'à peine dix kilomètres (Sandström, 1963).

Pour pallier à ces problèmes techniques, il est aujourd'hui possible de définir des surfaces artificielles le long desquelles la valeur de la gravité est constante. La plus simple d'entre elles est appelée *géoïde*.

Le géoïde correspond avec le niveau moyen de la mer et s'applique également aux continents. Il ne s'agit pas d'une surface mathématique définie par quelques paramètres, mais repose uniquement sur des mesures de gravité. La hauteur du géoïde **N** peut osciller entre ± 100 m pour chaque point sélectionné avec un ellipsoïde et un géoïde défini et choisi.

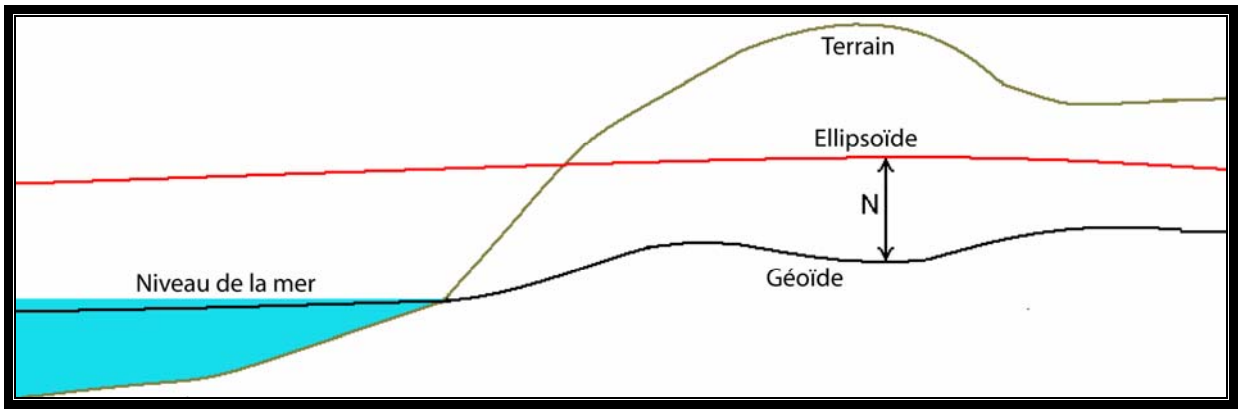


*Schéma expliquant la relation entre le niveau de la mer, le géoïde, l'ellipsoïde et la hauteur de l'ellipsoïde (**N**)*

Pour simplifier les calculs et obtenir la plus grande précision possible (une marge d'erreur de quelques centimètres tout au plus), il est donc indispensable de prendre en compte deux « altitudes » différentes, l'altitude par rapport à l'ellipsoïde et l'altitude géométrique.

La précédente démonstration permet de définir l'altitude ellipsoïdale comme la distance minimale (et verticale) séparant un point d'un ellipsoïde. La détermination de cette distance est assez compliquée pour deux raisons essentielles. La première renvoie au nombre important d'ellipsoïdes qui n'ont pas tous la même précision, et la seconde raison repose sur l'impossibilité de mesurer des altitudes ellipsoïdales avec les techniques classiques (basée sur le fil à plomb notamment). La solution adoptée consiste à utiliser les systèmes G.P.S. qui mesurent immédiatement les hauteurs ellipsoïdales grâce à un réseau de satellites extra-terrestres, insensibles aux variations du champ gravitationnel terrestre (Schwarz *et al.*, 1987).

Une *altitude géométrique* est à l'opposé de l'altitude ellipsoïdale, mesurée par rapport à un géoïde avec des instruments adaptés aux variations locales de la gravité (théodolite). La prise en compte des variations de marée permet d'obtenir un niveau moyen de la mer, par la suite il est possible de définir une surface verticale de référence qui correspond à quelque

chose près au géoïde. La mesure d'altitude utilisant un système de triangulation « classique » ayant pour référence un niveau moyen de la mer représente une *altitude géométrique*.

- Utilisation combinée d'altitudes ellipsoïdales et géométriques

Les altitudes ellipsoïdales notées **H** (celles mesurées grâce aux G.P.S.) et les altitudes géométriques notées **h** (celles mesurées grâces aux techniques géodésiques conventionnelles : mesures effectuées au théodolite notamment) sont obtenues sur la base de différents systèmes de référence. De fait, les données ne sont pas directement comparables et il est possible de résumer la situation en renvoyant à une formule très simple :

$$\mathbf{H = h + N} \qquad \mathbf{(1)}$$

Si **H** et **h** sont mesurées et connues, en revanche l'altitude par rapport au géoïde **N** reste à connaître. Heureusement, dans de nombreuses régions, des cartes présentant les différentes altitudes par rapport au géoïde sont disponibles et permettent des conversions très précises entre altitudes géométriques et altitudes ellipsoïdales (Schwarz *et al.*, 1987 ; Sideris & She, 1995 ; Huang *et al.*, 2001).

- Méthodes pour estimer les variations d'altitude utilisant différentes données

Le problème auquel il a fallu faire face dans le cas de la plaine de Thessaloniki est communément rencontré en géologie et en géophysique. Il s'agit de mesurer le plus précisément possible l'altitude de certains points qui, pour des causes géologiques (tectoniques ou géotechniques) ont pu varier sur de relatives courtes période de temps. Le travail ne peut être réalisé qu'en comparant **(1)** les anciennes altitudes géométriques (celles relevées et cataloguées en 1950 utilisant un système de triangulation classique) et **(2)** les altitudes ellipsoïdales obtenus grâce à des mesures G.P.S. (réalisées en mai 2005).

La figure suivante synthétise la situation :

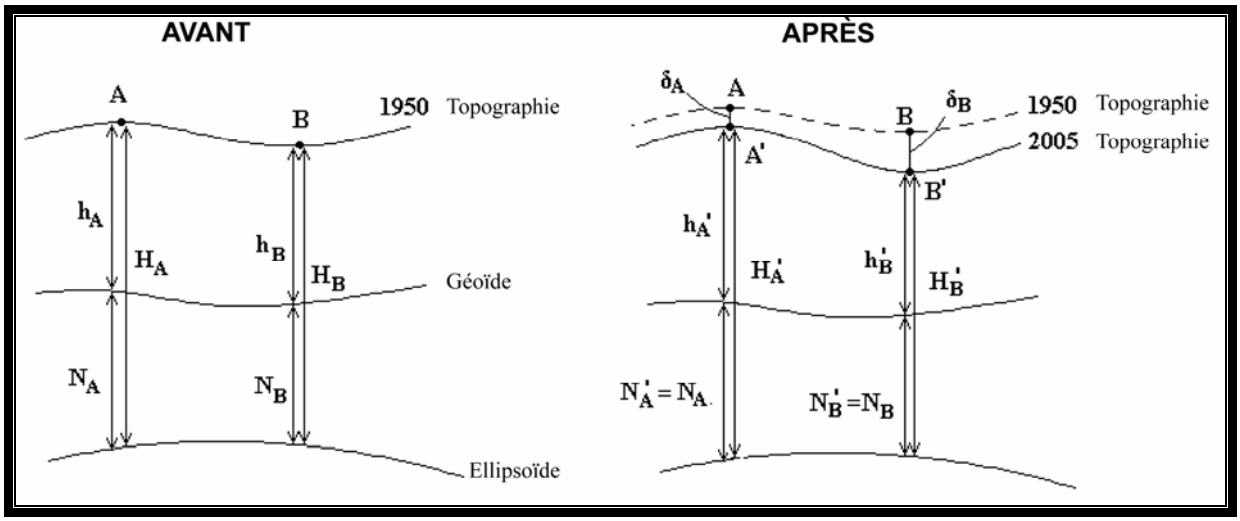


*Figure expliquant comment il est possible d'obtenir les différences d'altitude en utilisant des hauteurs géométriques traditionnelles (**h**) et des hauteurs ellipsoïdales (**H**) fournies par des relevés G.P.S.*

Pour des raisons de compréhension et de simplicité, il est également utile de préciser que le phénomène de subsidence affectant seulement la surface sub-actuelle (les séries sédimentaires superficielles) n'a pas d'effet sur la hauteur du géoïde **N** (Psimoulis *et al.*, 2007).

Considérant que $\boldsymbol{\delta_A}$ et $\boldsymbol{\delta_B}$ représentent la subisdence inconnue pour les points A et B, on obtient la formule suivante :

$$\boldsymbol{\delta = \delta_A - \delta_B} \qquad \textbf{(2)}$$

Dans la présente étude, la différence des altitudes géométriques, exprimée par la formule $\mathbf{h_A - h_B}$ pour les points A et B relevés dans les années 1950 et la différence des altitudes ellipsoïdales $\mathbf{H'_A - H'_B}$ (données G.P.S.), sont connues.

L'intérêt est de connaître la valeur exacte de $\boldsymbol{\delta}$:

$$\boldsymbol{\delta = (h'_A - h'_B) - (h_A - h_B)} \qquad \textbf{(3)}$$

où $\mathbf{h'_A - h'_B}$ représente la différence entre les différences entre les altitudes géométriques inconnues pour les points A et B en 2005 et où $\mathbf{h_A - h_B}$ représente les différences des altitudes géométriques connues en 1950 pour les mêmes points A et B.

En substituant désormais les valeurs inconnues $\mathbf{h'_A}$ et $\mathbf{h'_B}$ par les valeurs correspondantes fournies par l'équation **(1)** et après quelques calculs, on obtient l'équation suivante :

$$\delta = (H'_A - H'_B) - (N_A - N_B) - (h_A - h_B) \qquad (4)$$

en simplifiant, on obtient :

$$\delta = \Delta H' - \Delta N - \Delta h. \qquad (5)$$

Cette dernière formule contient une variable inconnue qui est ΔN, qui peut être directement renseignée par des observations gravimétriques. Dans le cas d'un géoïde de forme horizontale et restreint à une zone de faible superficie (quelques kilomètres carrés), $\Delta N \approx 0$.

De ce fait, on peut déduire de **(5)** que l'un des points A et B peut être considéré comme stable d'un point de vue topographique, sur la base de critères géologiques et que la subsidence de l'autre point, ou le changement d'altitude relatif d'un point par rapport à l'autre peut être renseignée.

a) Analyse des données

L'altitude ellipsoïdale des stations G.P.S., installées à proximité des repères géodésiques a été renseignée par les enregistrements G.P.S. en utilisant le logiciel PINNACLE de la société JAVAD-TOPCON.

- Intégration des altitudes ellipsoïdales

Les altitudes ellipsoïdales des repères géodésiques installés au cours du XX^{e} siècle ont par la suite été obtenues grâce à la différence mesurée avec les relevés locaux des stations G.P.S. et des opérations de relevés trigonométriques, obtenues au théodolite (Annexe I).

Système d'acquisition des relevés G.P.S. (boîtier vert) relié un ordinateur portable

La technique utilisée pour renseigner les altitudes ellipsoïdales (G.P.S.) permet d'obtenir également un niveau de précision (erreur standard) σ^2_{GPS} correspondant à la formule suivante :

$$\sigma_{GPS} = 0.6 \text{ cm} \pm 0.5\, S \text{ ppm} \qquad (6)$$

S correspond à la distance en kilomètres entre la base G.P.S. fixe (installée à Chalastra) et le récepteur Rover G.P.S. Dans le cas de la plaine de Thessalonique, cette distance ne dépasse pas 50 km, la valeur de l'erreur $\sigma_{GPS} = 2.6$ **cm**. Les erreurs peuvent parfois être supérieures (Cocard *et al.*, 1999), c'est pour cette raison qu'une valeur plus réaliste a été choisie : $\sigma_{GPS} = 5$ **-10 cm**.

De plus, les données fournies par les relevés topographiques effectués en 1950 et les nouvelles mesures acquises grâce au G.P.S. ne peuvent être directement corrélées. L'erreur inhérente à l'altitude de chaque repère géodésique, en accord avec la loi de l'erreur de propagation, est donnée par la formule suivante (Psimoulis *et al.*, 2007):

$$\sigma = \sigma^2_{GPS} + \sigma^2_{\text{relevés 1950}} \approx \sigma^2_{GPS} \qquad (7)$$

- Adoption d'un géoïde de référence

Une des étapes importantes du présent travail est de choisir puis d'adopter un géoïde afin de pouvoir mesurer la hauteur de chaque repère géodésique par rapport à un géoïde de référence.

C'est pour cette raison qu'il fallut d'abord estimer les hauteurs de chaque repère (**N**) à partir de l'interpolation ou de l'extrapolation de données fournies par les cartes disponibles. Les différentes possibilités sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Modèle	Type de données	Couverture	Résolution	Estimation de N	Réference bilbiographique
GEM10B	astro-gravimetrique	régionale	6' x 10'	interpolation	Tziavos,1984
RAPP81	astro-gravimetrique	régionale	6' x 10'	interpolation	Tziavos, 1984
HMGS	gravimetrique	régionale	15' x 18.75'	extrapolation	H.M.G.S. (1983)
GINA-DTM	gravimetrique et G.P.S. / conventionelle données géodésiques	locale (3^o x 2^o)	3' x 3'	interpolation	Andritsanos *et al.*, 2004

Caractéristiques (résolution, type de données, couverture, etc.) des différents géoïdes analysés

Parmi les géoïdes de référence disponibles, celui utilisé par le Service Géographique de l'Armée Grecque (H.M.G.S.) a d'emblé été exclu de la présente étude en raison d'une part de sa trop faible résolution et d'autre part du manque de cartes et de données disponibles pour la plaine de Thessalonique. L'estimation de **N** serait alors subjective car extrapolée.

Les trois autres modèles disponibles (tableau ci-dessous) ont été également été appréciés quant à leur précision. La meilleure résolution possible est obtenue à partir du modèle GINA-DTM (Andritsanos *et al.*, 2004). Elle a donc été choisie pour faire les différents calculs.

L'estimation de **N**, basée sur l'utilisation des deux autres modèles (tableau 2) est également montrée à titre comparatif et révèle des valeurs variant entre 0.3 et 0.5 m pour la déviation standard et 0.80 à 1.60 m pour les altitudes par rapport au géoïde.

	Modèles de Géoïde		
	RAPP81 – GEMB10	GINA – RAPP81	GINA – GEMB10
Différence maximale (cm)	80	160	80
Déviation standard (cm)	30	50	30

Différences maximales et déviation standard entre chaque modèle de géoïde

En raison du nombre relativement important de repères géodésiques (47) et compte tenu de leur espacement latéral, la déviation standard est assez faible, et dans le pire des cas, on peut estimer avoir une erreur de l'ordre de 0.01 à 0.10 m par rapport aux autres modèles de géoïdes utilisés pour d'autres cartes (Sideris & She, 1995 ; Huang *et al.*, 2001).

En outre, les estimations des hauteurs par rapport au géoïde pour certains points peuvent avoir une plus faible précision (Psimoulis *et al.*, 2007). En conséquence, la valeur de 0.3 m peut être considérée comme la marge d'erreur possible pour nos résultats obtenus pour chaque nouvelle mesure pour **N**. La seule exception concerne probablement le repère se trouvant à Lakka (R), au Nord-Ouest de la plaine, sur le piémont occidental du Païkon. L'altitude, d'environ 100 m du secteur, contraste singulièrement avec les autres repères mesurés, dont l'altitude n'excède qu'occasionnellement 30 m (tableau 2). La station de Lakka situé dans un relief en forte pente et relativement accidenté peut localement modifier la valeur par rapport au géoïde, la précision de **N** peut être 10 à 15 % plus faible que la valeur de 0.3 m.

Annexe III : Datations par le radiocarbone effectuées à partir d'échantillons prélevés sur le site de Nea Nikomideia (Rodden & Wardle, 1996)

Année	Echantillon	Date publiée	Date BC
1962	Charbon	8180 + ou - 150 BP	6230
Inconnue	Inconnu	7780 + ou - 270 BP	5830
1967	Charbon	7557 + ou - 91 BP	5607
1967	Charbon	7281 + ou - 74 BP	5331
1988	*Triticum monococcum*	7050 + ou - 80 BP	5100
1988	*Triticum dicoccum*	7340 + ou - 90 BP	5390
1988	*Hordeum vulgare*	7400 + ou - 90 BP	5450
1988	*Lens culinaris*	7400 + ou - 100 BP	5450
1993	Os (*ovis*)	7300 + ou - 80 BP	5350
1993	Os (*capra*)	7370 + ou - 80 BP	5420
1993	Os (*Sus*)	7280 + ou - 90 BP	5330
1993	Os (*Bos)*	7370 + ou - 90 BP	5419
1993	*Triticum monococcum*	6920 + ou - 120 BP	4969
1993	*Triticum dicoccum*	7100 + ou - 90 BP	5149
1993	*Hordeum vulgare*	7400 + ou - 90 BP	5449
1993	*Lens culinaris*	7260 + ou - 90 BP	5310

Annexe IV : Notices sur les voyageurs

Sir Henri Holland, voyage effectué en Macédoine à la fin du mois de novembre de 1812

Sir Henri Holland, né le 27 octobre 1788 à Knutsford, dans le comté de Cheshire (Angleterre) et mort le 27 octobre 1873 à Londres, était un physicien et voyageur anglais qui consacra deux années de sa vie, entre 1812 et 1813, à parcourir de nombreux pays du « vieux continent » : l'Islande, et ceux d'Europe du sud-est, publiant en 1815 un ouvrage de 551 pages intitulé *Travels in the Ionian Isles, Albania, Thessaly, Macedonia, &c. During the years 1812 and 1813*.

La description de la Macédoine est relativement sommaire car il ne parcourut pas la région à pied mais en bateau depuis le sud de la plaine, à proximité de l'actuelle Méthoni (ancienne Levterochori), ne se livrant qu'à une vision lointaine des paysages et des fleuves en particulier.

Félix de Beaujour, voyage dans les échelles du levant effectué en 1817

Le baron Félix de Beaujour, né en 1765 à callas du Var et mort en 1836 à Paris, est le premier voyageur français dont nous ayons une description précise de la province de Macédoine, et de Pella en particulier dans son ouvrage édité en 1829 : *Voyage militaire dans l'Empire Othoman, ou description de ses frontières et de ses principales défenses, soit naturelles soit artificielles* (le passage traitant de la Macdéoine étant au Tome 1er, chapitre IV, pp.187-233). Cet homme politique français, qui dans sa jeunesse étudia la politique et l'art de la guerre remplit sous le Premier Empire et la Restauration de nombreuses missions diplomatiques, en orient notamment, on lui doit de nombreux ouvrages tels que le *Tableau du commerce de la Grèce* (1800), pensant que cette étude pouvait être utile au commerce de la France). Plus tard, cet aristocrate devint député de Marseille et Pair de France sous Louis-Philippe 1er et fonda en 1832, à la veille de sa mort un prix quinquennal décerné par l'Académie des Sciences Morales et Politiques dans le but de récompenser l'auteur du meilleur mémoire sur les moyens de prévenir ou de soulager la misère dans divers pays, mais plus particulièrement en France ; ce prix est toujours d'actualité.

C'est au cours de l'année 1817, que par ordre du gouvernement, durant l'Inspection, Félix de Beaujour eut l'occasion de se déplacer et de visiter de nouveau les échelles du

Levant et pensant y effectuer des missions diplomatiques sans encombres, il dut rapidement déchanter et observa le pays sous les rapports politique et militaire, comme il se plaît à le rappeler : « J'allai pendant la révolution française dans la Grèce pour y chercher des ruines et des souvenirs : j'y portai des illusions charmantes, et je les perdis toutes en arrivant. » M. de Beaujour nous livre une description précise des forteresses turques (Beaujour, p.7) telles qu'elles étaient entre 1800 et 1817, celles rencontrées sur son chemin depuis le sud de la Macédoine, au château de Platamona, qui marque la frontière méridionale de la province, jusqu'à Pella, où une description du site portuaire de l'ancienne capitale macédonienne, la plus précise à ce jour, laisse planer un doute quant à sa véracité, car aucun voyageur qui visita la région après lui ne retrouva sur place les descriptions archéologiques mentionnées par le baron.

Esprit Marie Cousinéry, publication des récits de trente années d'observation, faite en 1831

L'un des premiers géographes – voyageurs du XIXe siècle à avoir parcouru la région de Macédoine, Esprit Marie Cousinéry fut certainement celui qui nous livra à travers son œuvre en deux volumes *Voyage dans la Macédoine*, publié en 1831.

Avec plus de trente années d'observations faites dans la région, en raison de son poste de consul du Roi, avant la période Napoléonienne et après, pendant la Restauration, sous le règne de Louis XVIII, E.M. Cousinéry entreprit de visiter les quatre anciennes provinces romaines issues du démantèlement administratif de la Macédoine des rois Philippe et Alexandre.

La découverte approfondie des grandes unités du paysage et des vestiges archéologiques, indiqués la plupart du temps par les habitants, qui aurait du monopoliser une année entière pour chaque ancienne région romaine, fut interrompu subitement et l'œuvre ne comporte donc que des mentions de certains endroits.

Le premier voyage que Cousinéry désira entreprendre devait le mener de Thessalonique (Salonique étant l'altération du nom de cette même ville mais sous l'appellation ottomane) jusqu'à la « grande plaine » et même au-delà, aux villes d'Edessa ou de Pella. Et comme se borne à dire l'auteur, ce n'est pas seulement la géographie et les antiquités qu'il s'est appliqué à faire connaître ; il s'agissait de faire mention des nations qui, à différentes époques de l'histoire ont possédé le territoire de Macédoine, tour à tour

conquérantes et conquises, et qui ont malgré ces passages de témoin culturels, conservé les traits antiques de leur nationalité.
La progression de la caravane partie de la ville de Salonique à travers la plaine située plus à l'est, fait l'objet d'une description précise du réseau hydrographique actuel et hérité : les ravins abandonnés des fleuves Axios et Gallikos sont décrits topographiquement. L'ancien lac Loudias est également décrit.

William Martin Leake

Officier d'artillerie anglais, né à Londres le 14 janvier 1777 et mort à Brighton le 6 janvier 1860, il a longuement parcouru la Grèce entre 1804 et 1810 lorsqu'il accomplit, entre autres, une mission d'instructeur militaire auprès d'Ali Pacha (Lefort, 1986), après avoir été brièvement fait prisonnier à Thessalonique lors de la déclaration de guerre entre l'Empire Ottoman et l'Angleterre en 1807.

Outre ses livres sur Athènes, le Péloponnèse et l'Asie Mineure, il a publié *Travels in Northern Greece*, œuvre composée de quatre volumes (Lefort, 1986). Seul le volume III, avec des cartes d'une précision remarquable sur la topographie et l'organisation du réseau hydrographique, relatant son troisième voyage, accompli à la fin de l'automne 1806, intéresse la Macédoine orientale (plus particulièrement le chapitre 27 des pages 258 à 301). L'auteur présente son itinéraire qui le mène de Thessalonique à Kozani, en passant au nord de la plaine centrale, en longeant ensuite la partie orientale du massif du Vermion (villes d'Edessa, Naoussa), puis passant pas Veria, il remonte l'Aliakmon pour rejoindre la ville de Kozani.
Passionné d'archéologie, Leake se plaît à déchiffrer les inscriptions rencontrées en chemin et en temps que fin topographe, il prend un soin particulier à décrire précisément les différentes unités du relief.

Ami Boué, expédition en Macédoine effectuée en 1836

Ami Boué, né en 1794 à Hambourg (Allemagne) et mort à Vienne (Autriche) en 1881, fut un éminent géologue, membre de plusieurs sociétés savantes françaises et étrangères, il fonda la société Géologique de France et fit de nombreux voyages dans toute l'Europe et en releva tous les particularismes géologiques. Son voyage dans la Macédoine fut entrepris en 1836, lors du premier voyage, effectué en compagnie de MM. Fournoue de Montalemebert et

Viquesnel, membre de la société géologique de France, de M. Friedrichsthal, botaniste de Moravie, et de M. Schwab, zoologiste et apothicaire du même pays.
Ouvrage, fruit de quatre années de voyages ou de recherches se divise en 3 parties : la première consacrée à *la Géographie, la géologie, l'histoire naturelle et la météorologie*, la seconde partie est entièrement *Statistique et ethnologique*, enfin la troisième partie est une synthèse *historique et politique* des peuples rencontrés (Albanais, grec, valaque, serbe, herzégovin, bulgare…). « Ce n'est pas la beauté des monuments de Constantinople que nous avons eu l'intention de décrire de nouveau ; mais ce sont les ressources immenses de cette belle péninsule et ses vigoureuses peuplades, tout en observant le relief et les ornements du sol turc ». Le passage qui nos concerne directement se situe dans le premier chapitre de la première partie où la *géographie générale* de la Macédoine centrale est présentée de manière succincte : les grandes unités du paysage sont énumérées puis les caractéristiques géologiques et hydrologiques sont évoquées pour enfin établir un rapide relevé floristique et faunistique de la région littorale et du lac de Giannitsa.

Alfred Delacoulonche, exploration archéologique du territoire de Macédoine entre le 4 septembre et le 22 décembre 1855

Lors de la création de l'Ecole française d'Athènes en septembre 1846, la France se positionne en Grèce pour en faire l'exploration archéologique du territoire. Même si les études « athéniennes » occupent une grande place dans les études menées alors, la Macédoine, encore peu explorée par les archéologues de formation, va faire l'objet au cours du milieu du XIX^{e} siècle, de nombreux voyages à caractère scientifique et exploratoire.
Alfred Delacoulonche, membre de l'Institution en 1853, va entreprendre un séjour du 4 septembre au 22 décembre 1855 dans l'ancienne province des rois de Macédoine et se livrer aussi bien à un inventaire archéologique qu'à une description précise des paysages. L'ensemble des informations et des descriptions obtenues a été renseigné dans son *Mémoire* adressé au ministre de l'instruction publique et des cultes en 1858. Le texte présente une approche naturaliste combinée à une investigation archéologique précise et détaillée, mais malheureusement la carte établie par ses soins dont il mentionne la présence à de nombreuses reprises n'était pas, ou n'était plus présente au moment de mes recherches bibliographiques à l'Ecole française d'Athènes ou à Lille, les seuls lieux où l'ouvrage est encore consultable sous sa forme originelle.

Théophile Alphonse Desdesvises-Du-Dézert, publication de la première synthèse de géographique historique sur la Macédoine en 1862

Il est des géographes qui parcourent les contrées inexplorées ou mal connues encore au XIX^{e} siècle et qui en rendent compte directement d'après leurs descriptions au cours de séjours effectués. E. M. Cousinéry et M. Delacoulonche font partie sans aucun doute possible du premier groupe, Théophile Alphonse Desdevises-Du-Dézert lui au contraire fait partie du second groupe.

En effet, ce professeur agrégé d'histoire et géographie en 1849, enseignant au lycée Impérial de Tours ne s'est probablement jamais rendu en Macédoine, ou du moins pas avant d'avoir écrit et publié son ouvrage en 1862. C'est un travail de synthèse bibliographique que l'auteur a effectué en associant sources historiques, récits de géographes du XIX^{e} siècle (M. A. Boué, Beaujour, Pouqueville, Cousinéry, Leake, Delacoulonche) et documents iconographiques contemporains : les cartes élaborés par Heinrich Kiepert et Viquesnel ont permis de retranscrire spatialement les informations écrites analysées. Malheureusement, comme pour ses prédécesseurs, aucune carte de synthèse n'a été associée et les lieux énumérés, qui comprennent des noms peuvent être soit en langue grecque, slave, voire ottomane.

Ce travail qui intervient quelques années après celui de A. Delacoulonche permet d'apporter de précieuses précisions sur l'organisation du réseau hydrographique en nommant les affluents du lac Loudias sur ses marges occidentale (entre Veria et Edessa), septentrionale (sur le piedmont du Païkon, dans les environs de Paléo-Castro) et orientale.

Wilhelm Leopold Colma Freiherr von der Goltz, la première cartographie fine de la Macédoine

Le baron von der Goltz est né en août 1843 à Bielkenfeld, dans l'est de l'ancienne Prusse, et est mort en avril 1916 à Bagdad, probablement par empoisonnement. Il rentra dans l'infanterie de l'armée prussienne en 1861, comme sous-lieutenant de la cinquième infanterie de Prusse orientale à Königsberg (actuelle Kaliningrad). Après avoir combattu pendant la guerre mettant aux prises prusses et autrichiens en 1866, il entreprit une carrière de professeur à l'école militaire de Postdam, il fut promut capitaine en 1871, et écrivit de nombreux essais sur les évènements de la guerre de 1870 qui opposa la France à la Prusse (*Die Operationen der II. Armee bis zur Capitulation von Metz, 1873 ; Die Sieben Tage von Le Mans, 1873).*

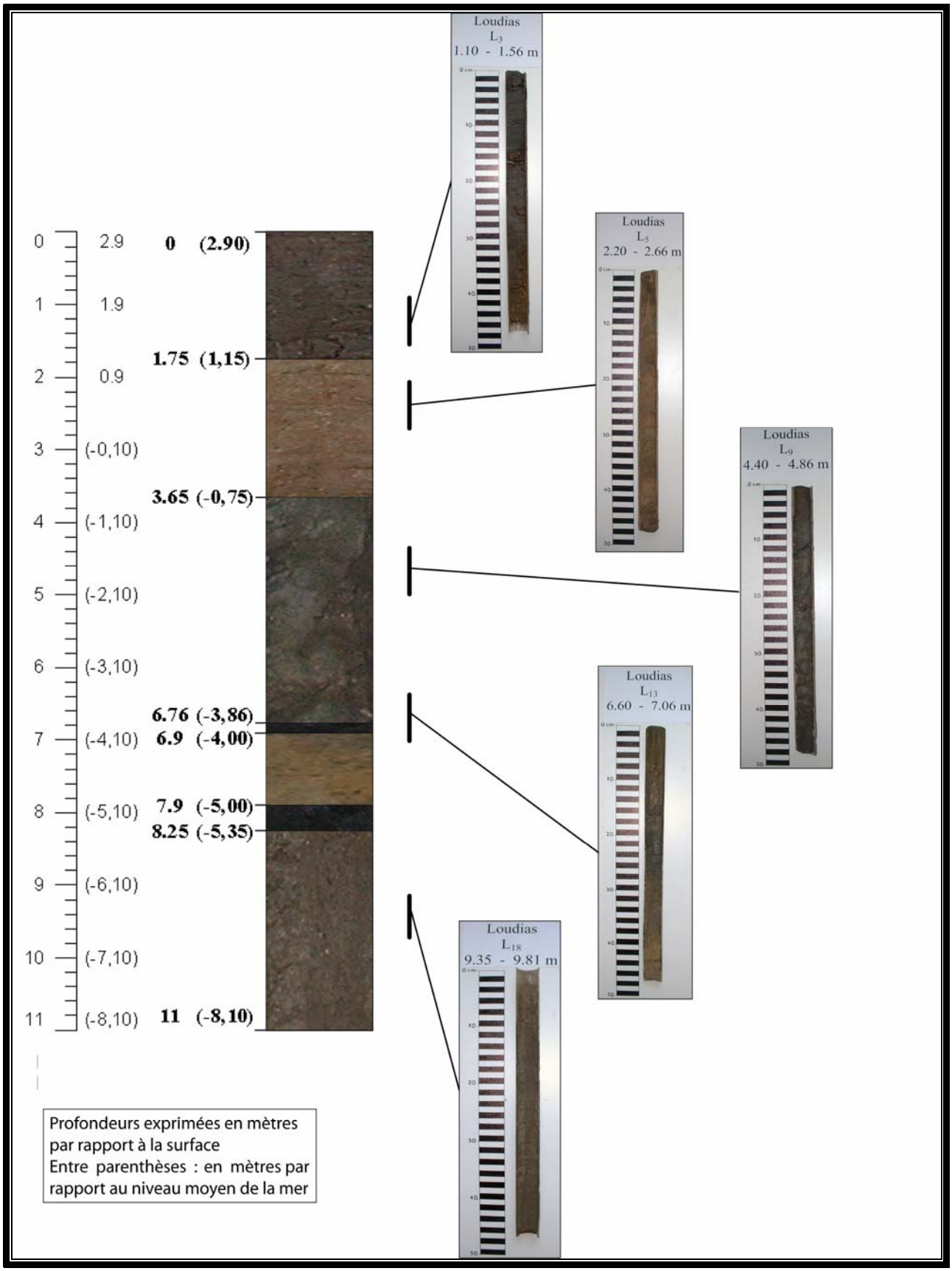
En 1883, le sultan Hamid, chef de l'Empire Ottoman, fit demanda l'aide de la Prusse pour réorganiser son armée, elle lui envoya l'un de ses meilleurs génies militaires : le baron von der goltz. Il y resta douze années, au cours desquelles différents surnoms lui furent attribués : le petit Pasha (un titre très honorifique pour un non musulman) puis Mushir (traduction de maréchal). Ses connaissances de stratégie militaire permirent notamment aux armées ottomanes de lutter efficacement dans la guerre qui l'opposa à la Grèce en 1897.
En 1894, Goltz publia un ouvrage intitulé *Ein Ausflug nach Macedonien*, qui se veut être une synthèse de la géographie de la Macédoine centrale, à laquelle il associa une carte d'une précision inégalée jusqu'alors, révélant le tracé des cours d'eau et l'emplacement exact de chaque localité. La superposition avec des cartes contemporaines montre que ses relevés étaient justes.

Adolf Strück, une connaissance géographique et archéologique précise de la plaine de Macédoine centrale

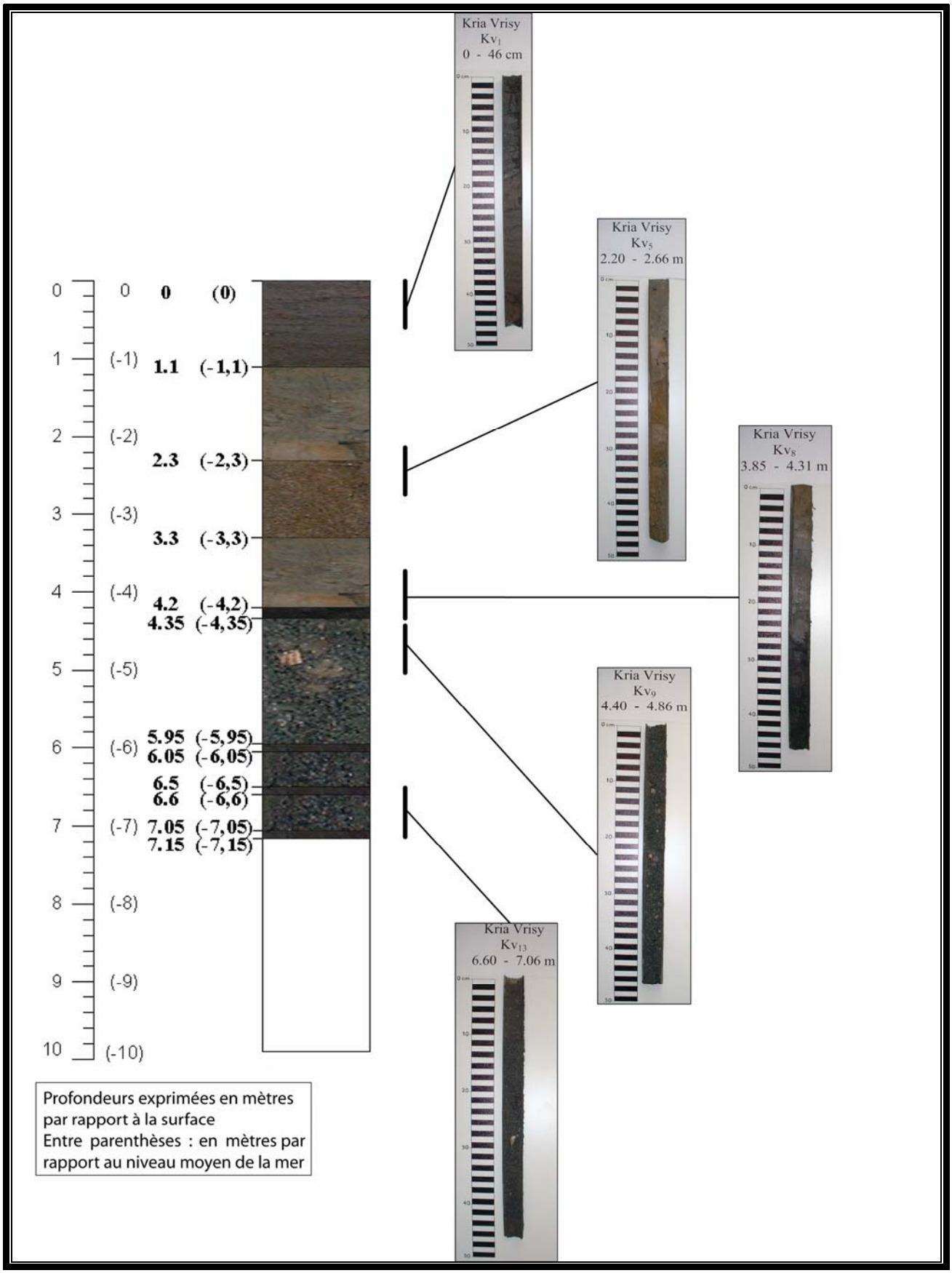
Adolf Strück, bibliothécaire à l'Institut impérial allemand d'archéologie à Athènes, qui parcourut la Macédoine intensément de 1898 à 1903, décéda en 1911 (Bates, 1912).
Ses déplacements effectués également en Chalcidique avaient pour objectif principal de faire des études archéologiques, mais la géographie et l'ethnographie ne furent délaissées, et on lui doit des études sur les ethnies qui peuplaient la région (Gustave Regelsperger, Société de géographie France. La Géographie (1900). 1907. 1er semestre 1907 (T. XV).
Il entreprit au début du XX^{e} siècle, un séjour en Macédoine qui le mena successivement de Thessalonique, Veria, Edessa, Gianitsa et Pella, en prenant soin de parcourir la partie centrale de la « Kampania », nom donné à la plaine centrale et en visitant de nombreux villages dont Kolakia, que E. M. Cousinéry visita quelques décennies plutôt. On doit à Adolf Strück les premiers documents iconographiques à grande échelle dans le secteur de Pella notamment, mais on lui est également redevable des premiers clichés photographiques des paysages macédoniens qui permettent de visualiser une configuration différente des paysages.
Strück comprit assez rapidement que les paysages avaient évolué et la physiographie de l'espace s'était modifié, comme en témoigne le pont de Saridscha où les dimensions de l'ouvrage lui parurent totalement disproportionnées par rapport à l'absence d'écoulement observé.

C’est une étude géographique complète, que nous livre l’auteur en prenant soin de présenter les variations du relief et l’occupation de l’espace par des populations d’origine diverses : albanais, bulgares et grecs se côtoyant et se livrant à des pratiques agricoles semblables.

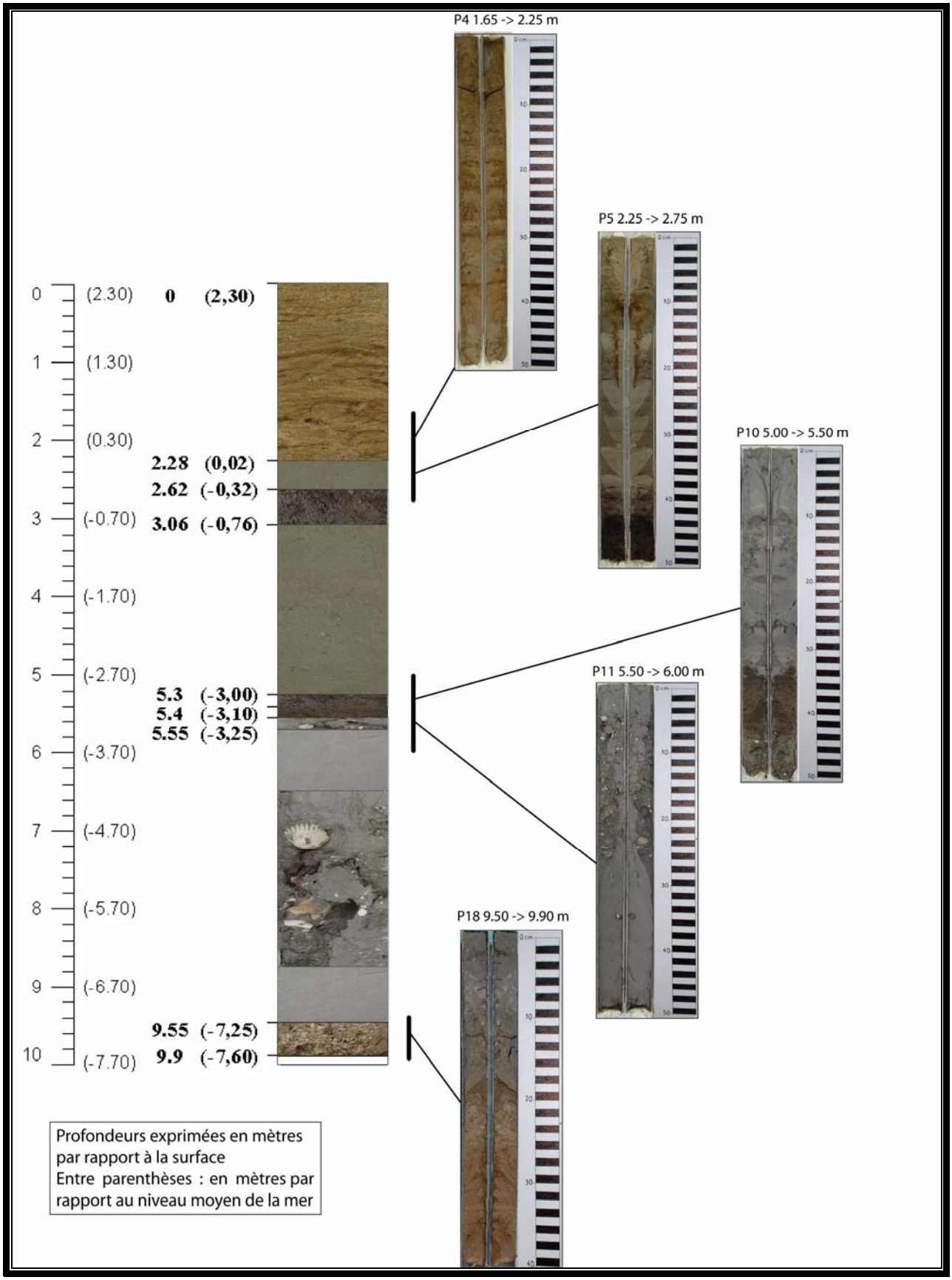
Annexe V : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S1



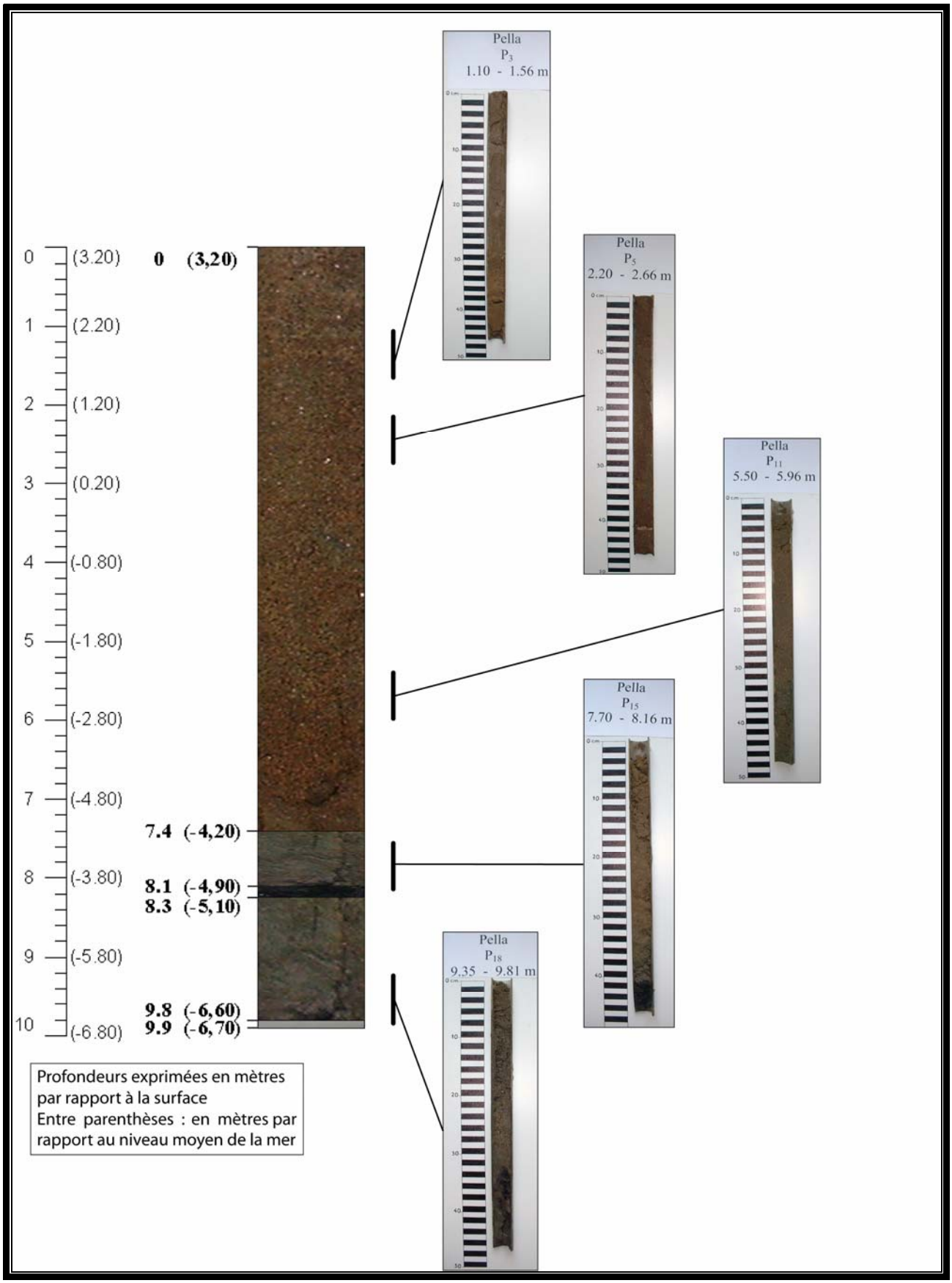
Annexe VI : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S2



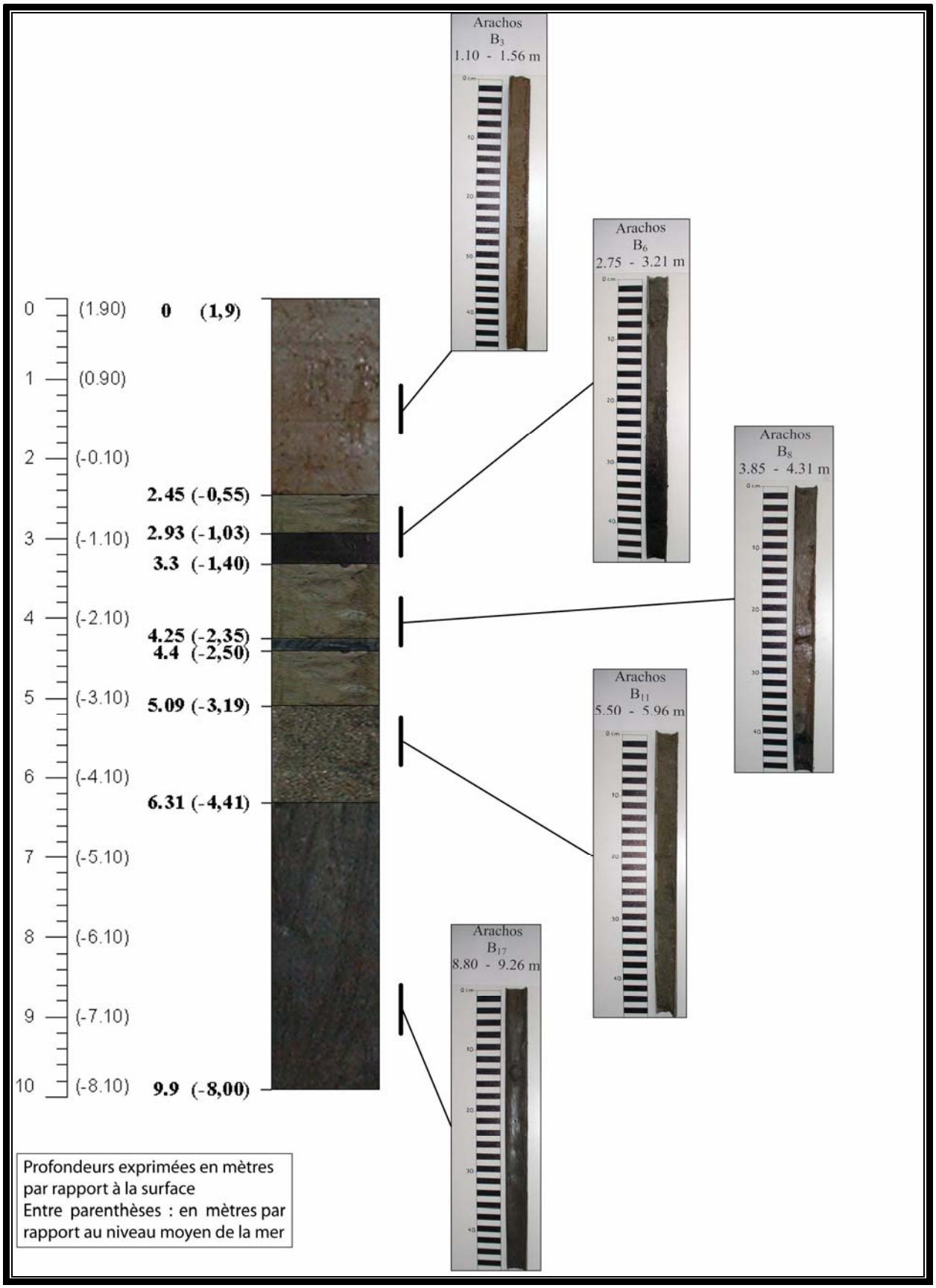
Annexe VII : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S3



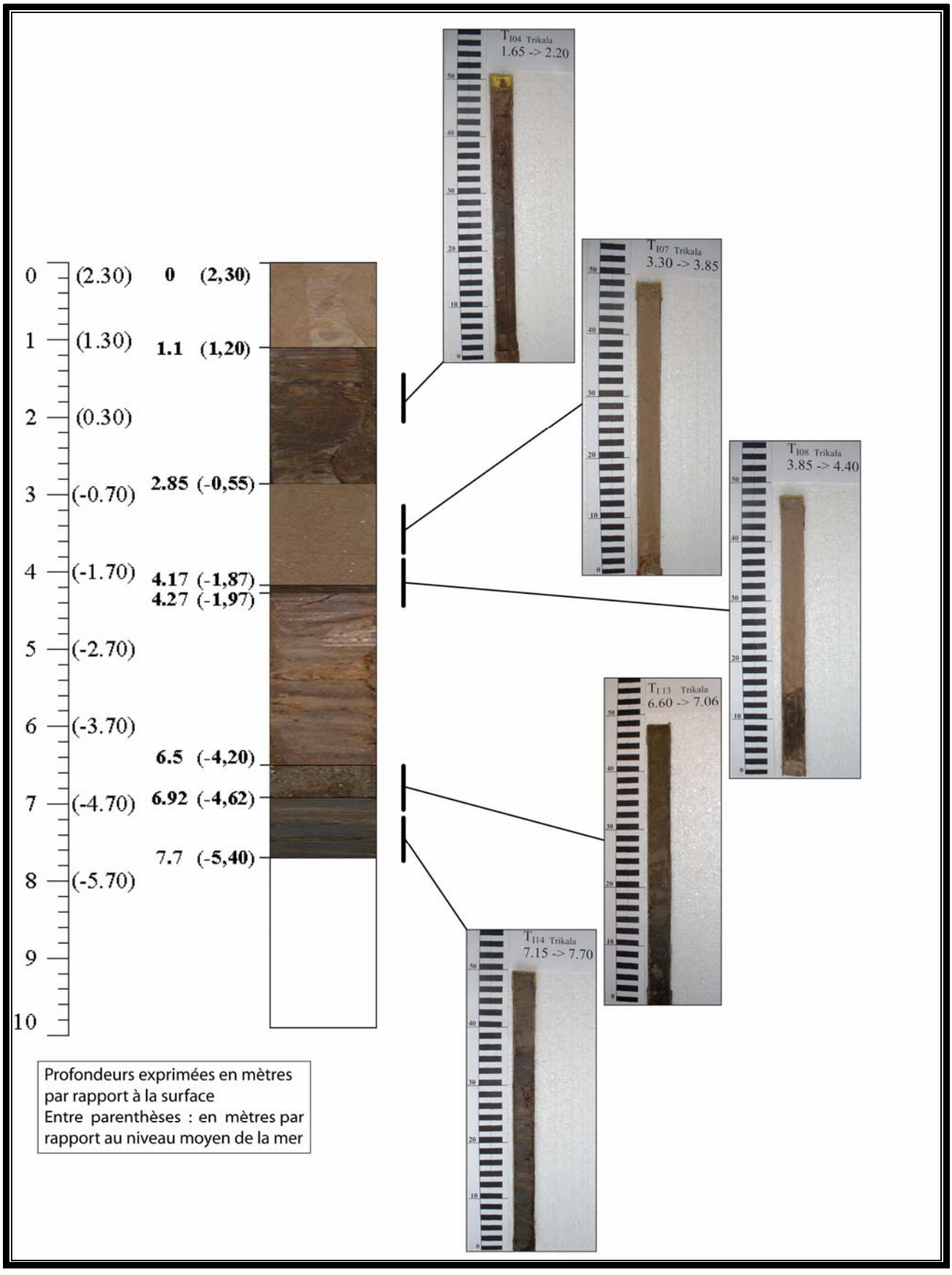
Annexe VIII : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S4



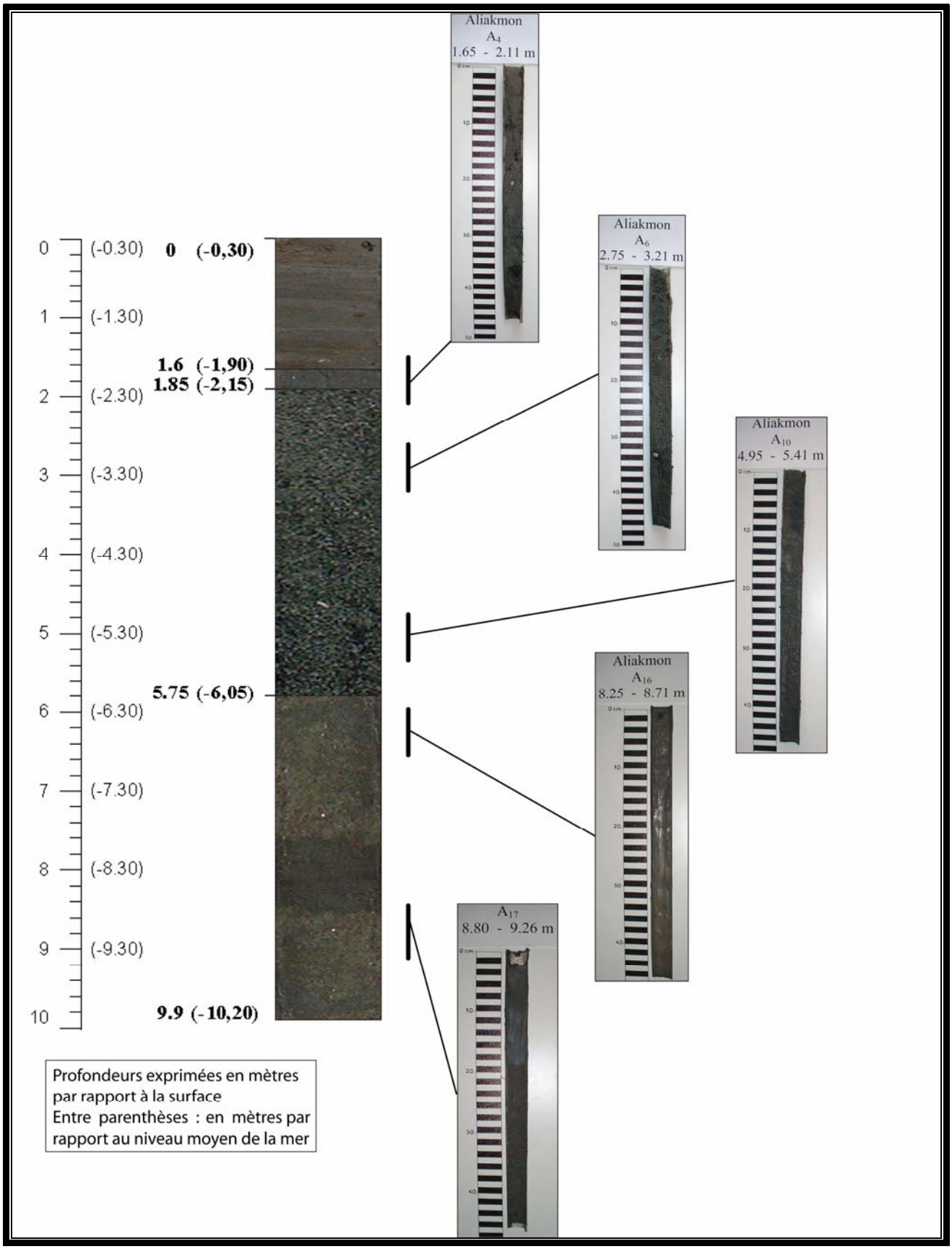
Annexe IX : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S5



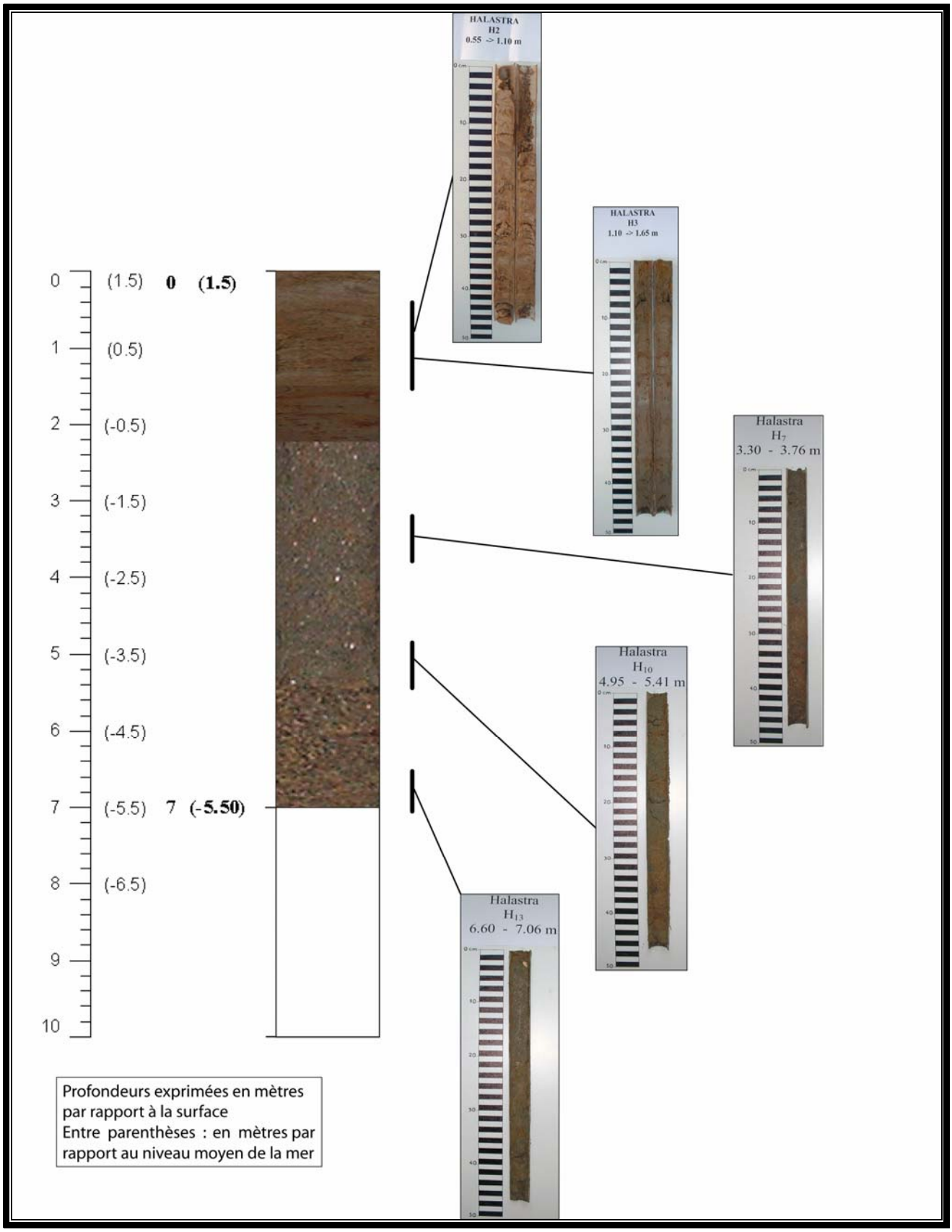
Annexe X : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S6



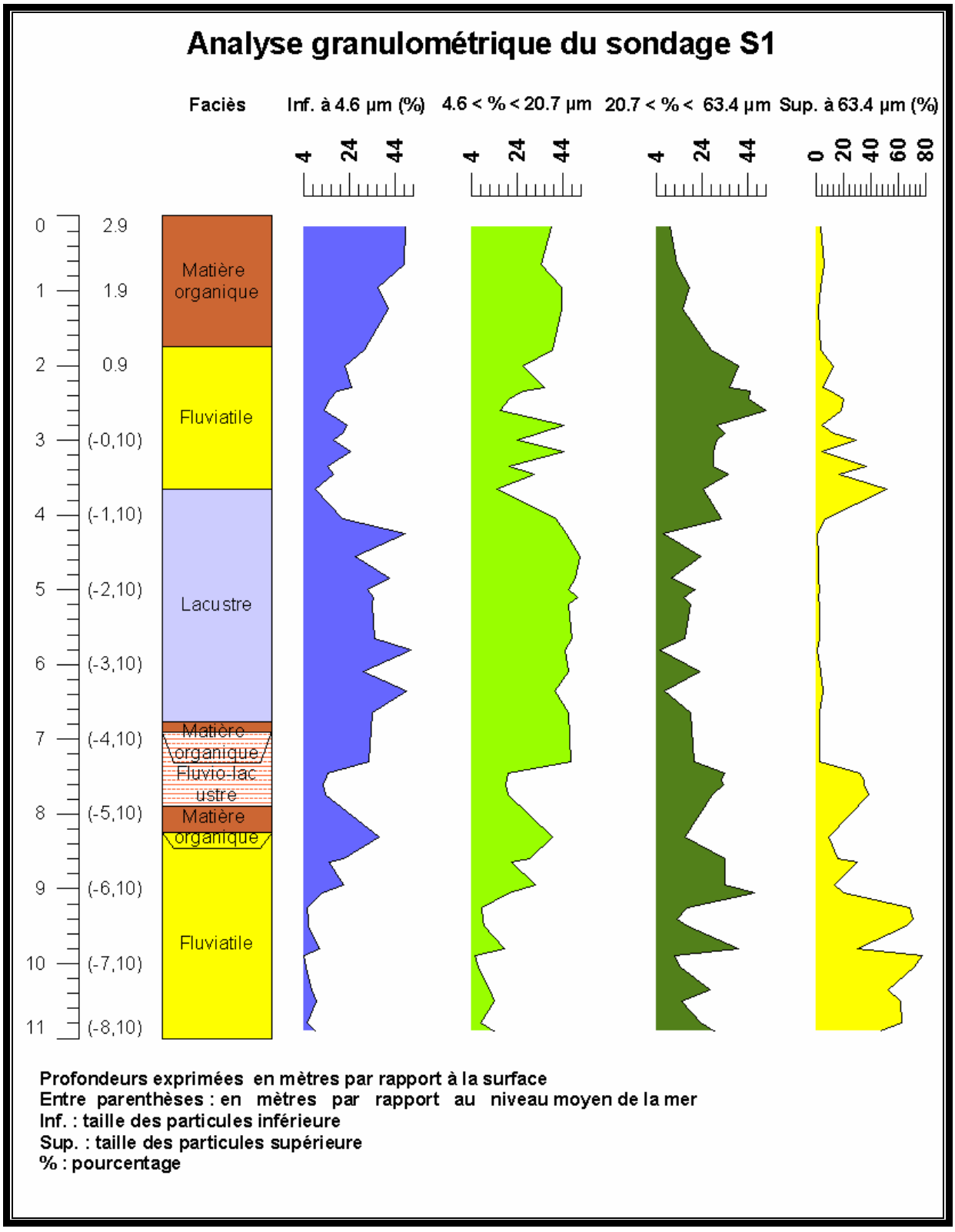
Annexe XI : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S7



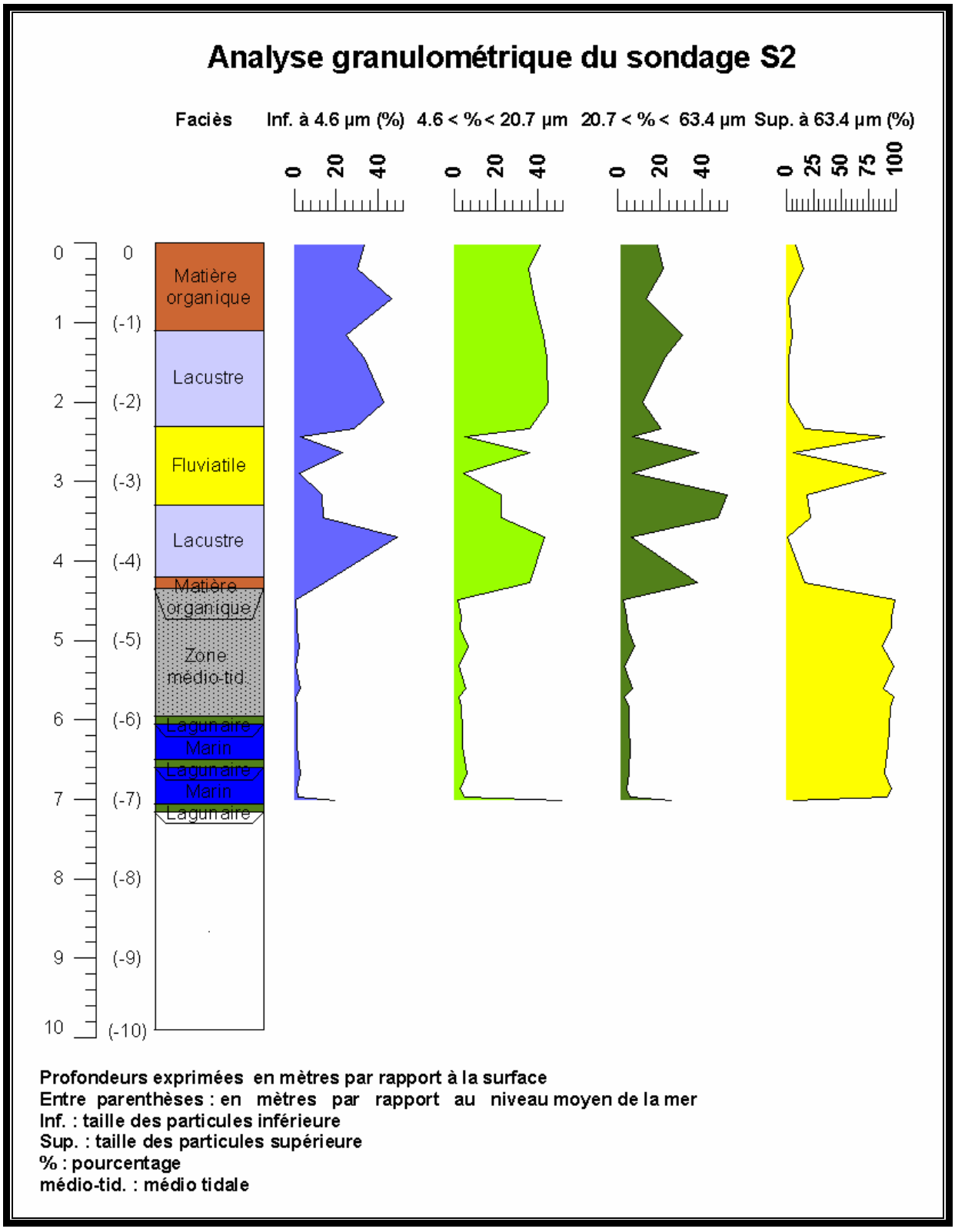
Annexe XII : Assemblage photographique des carottes pour le sondage S8



Annexe XIII : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S1

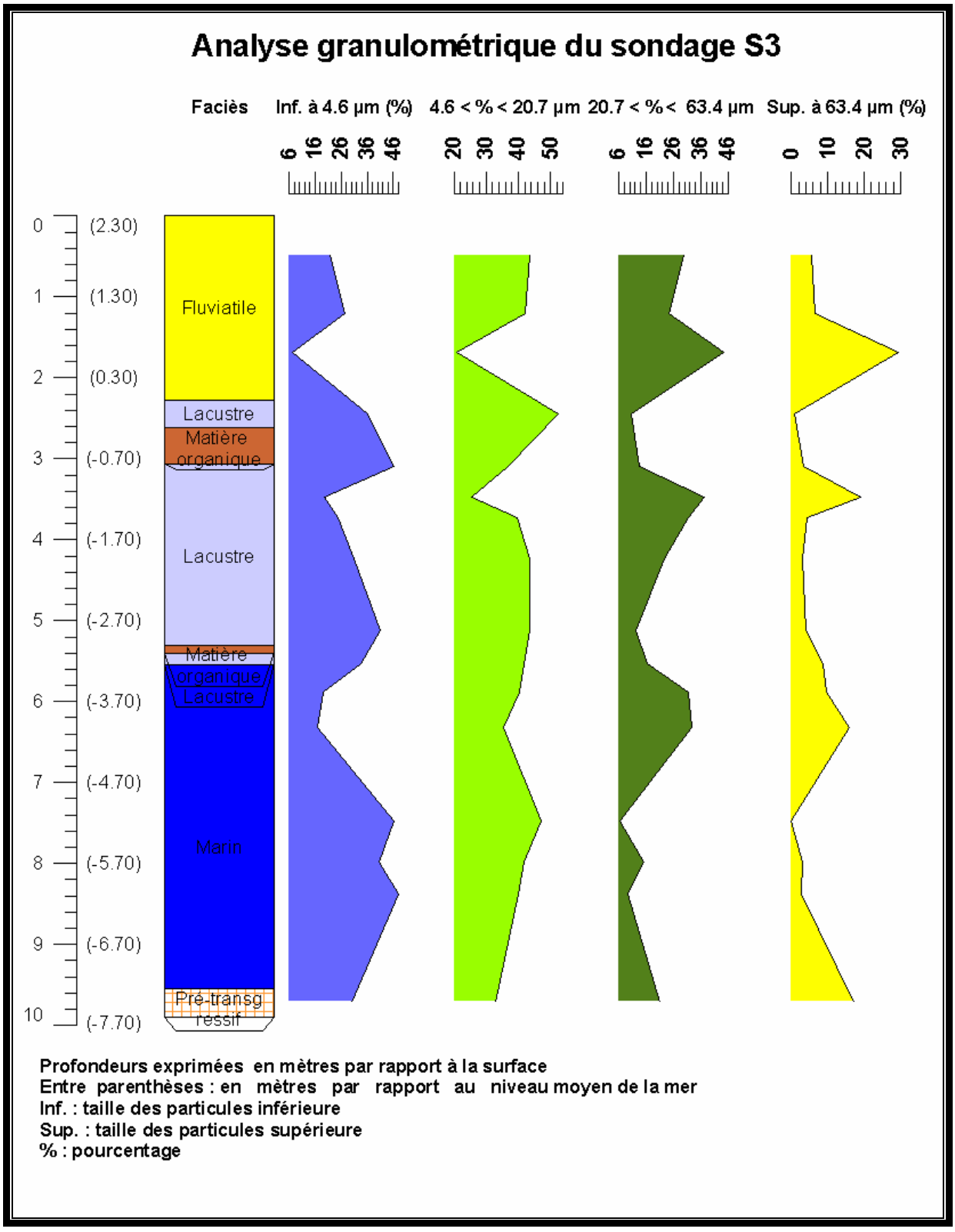


Annexe XIV : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S2

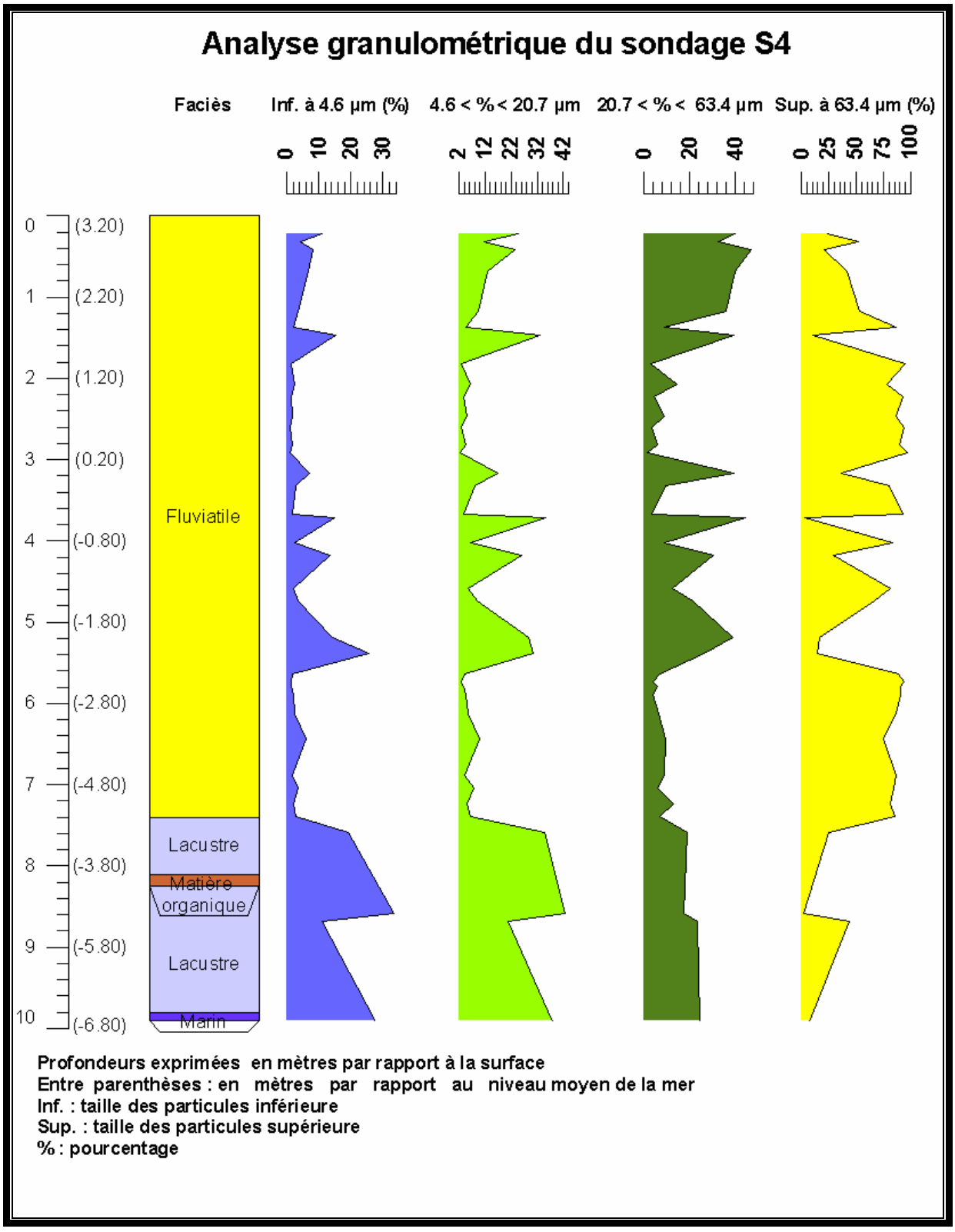


Profondeurs exprimées en mètres par rapport à la surface
Entre parenthèses : en mètres par rapport au niveau moyen de la mer
Inf. : taille des particules inférieure
Sup. : taille des particules supérieure
% : pourcentage
médio-tid. : médio tidale

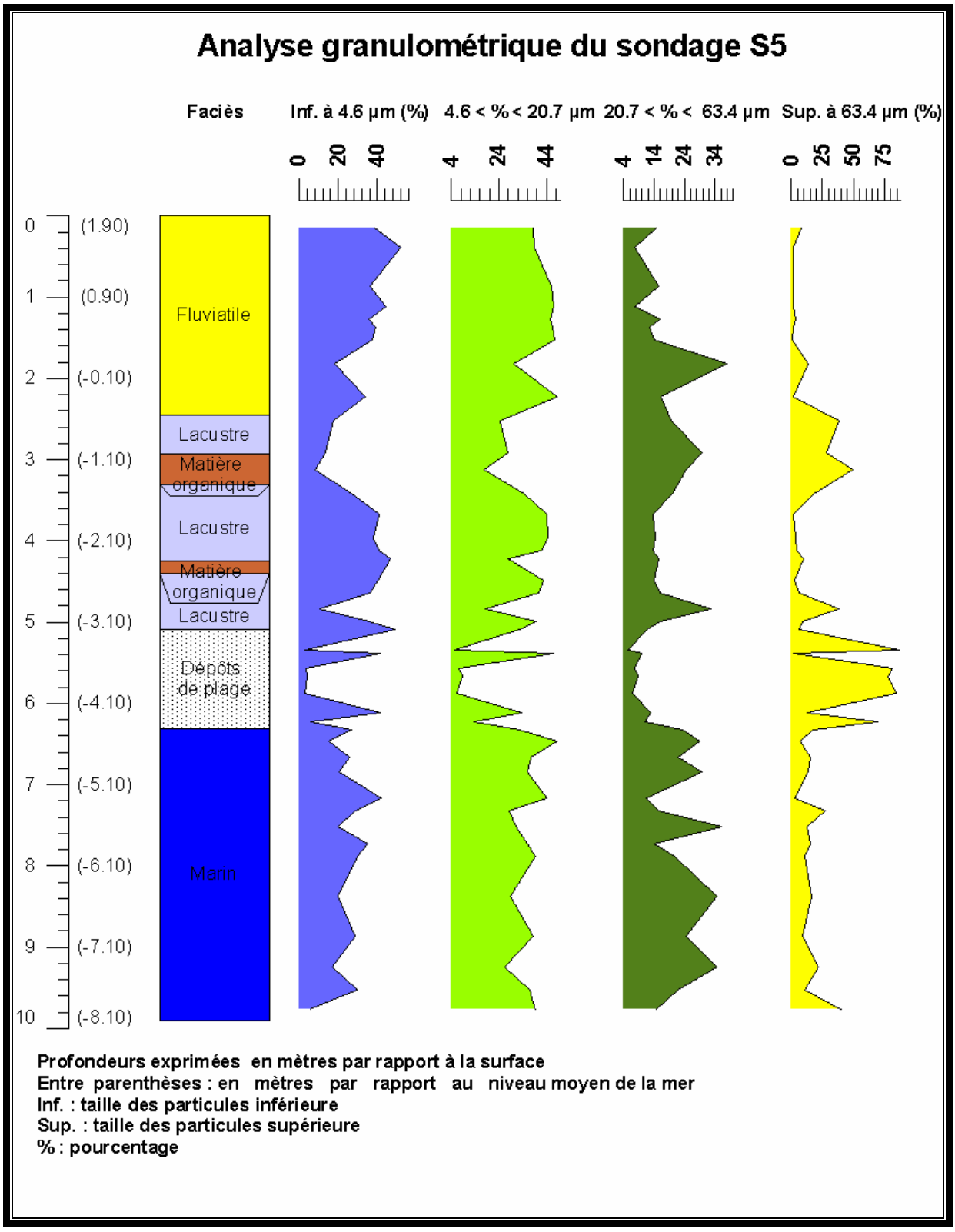
Annexe XV : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S3



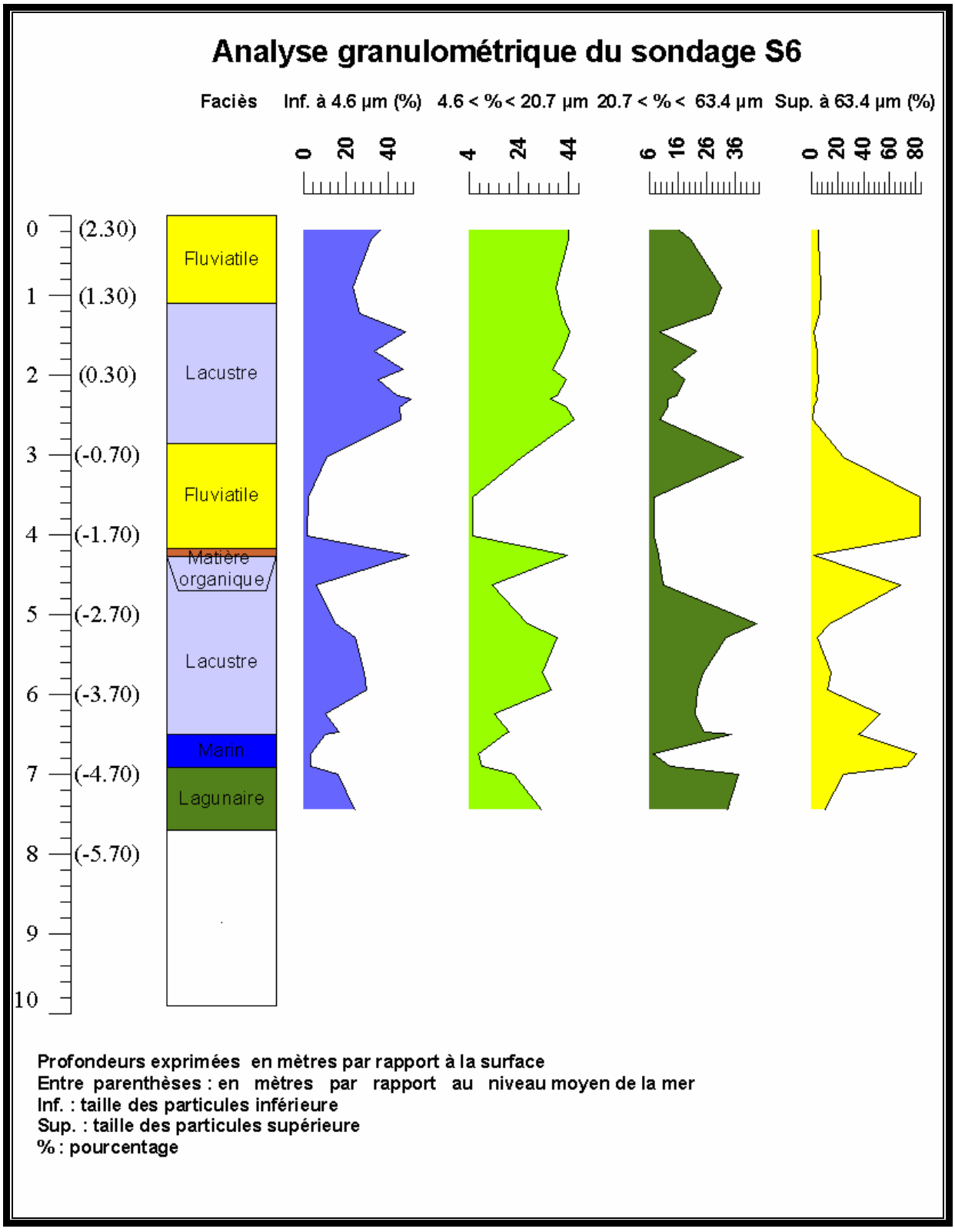
Annexe XVI : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S4



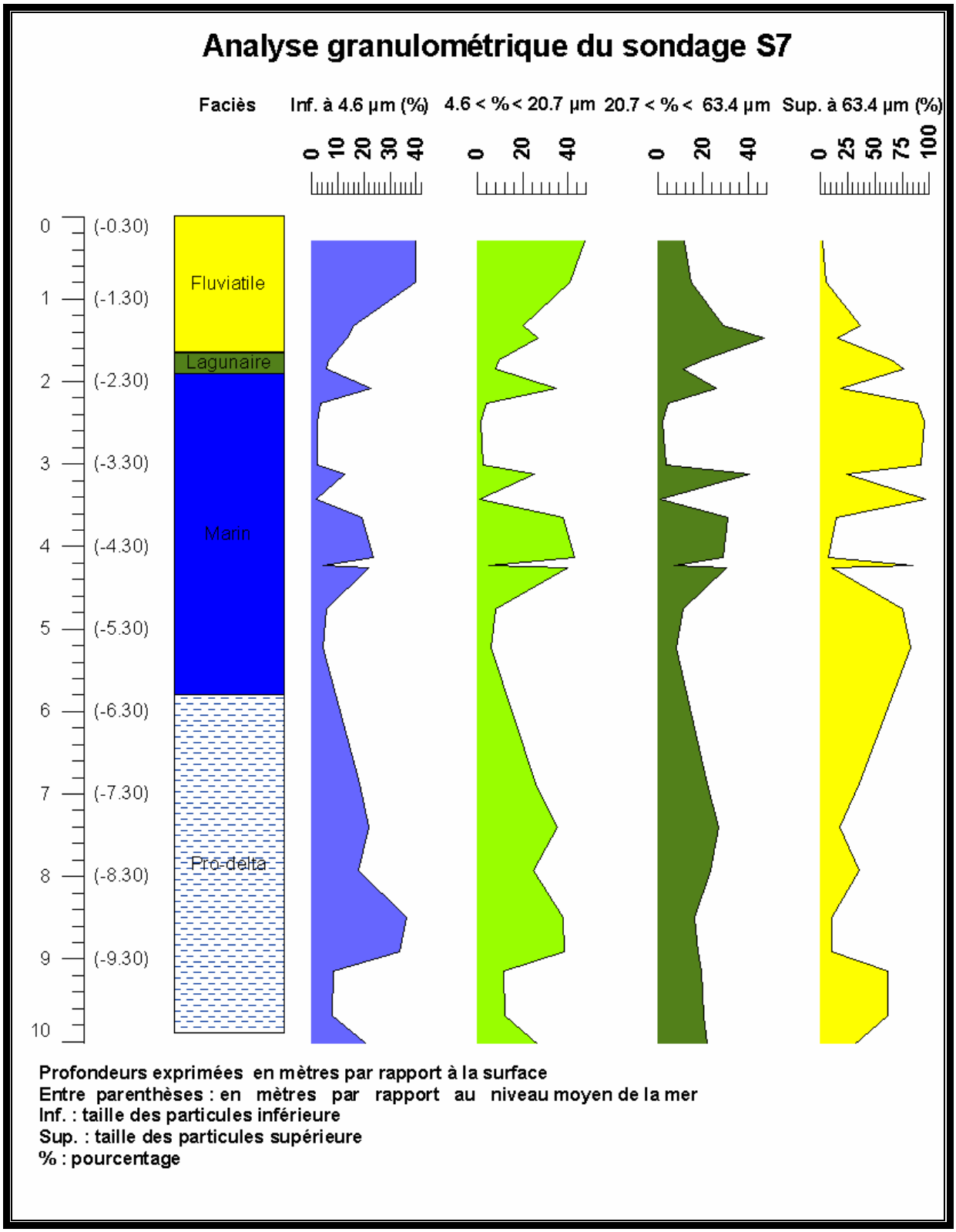
Annexe XVII : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S5



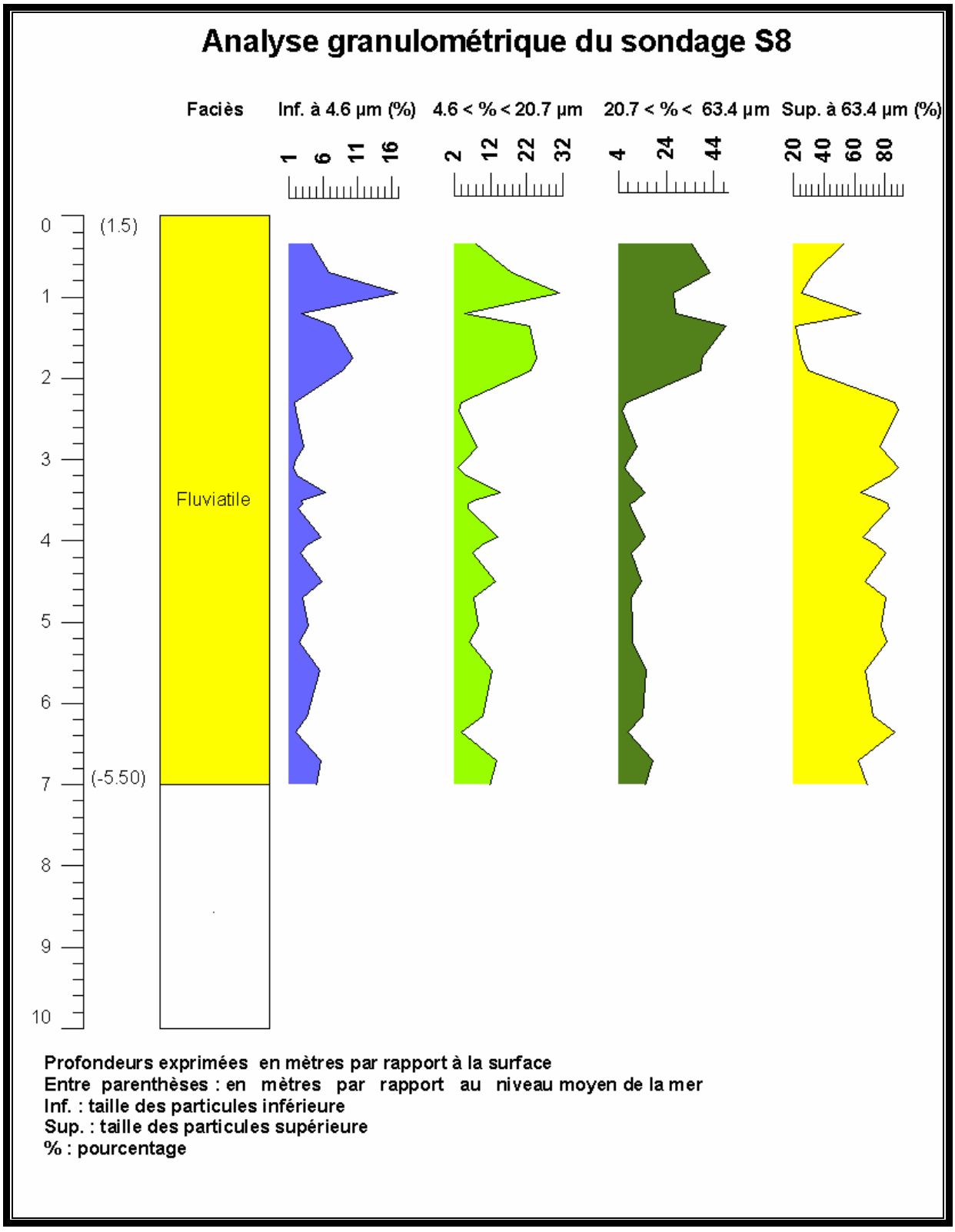
Annexe XVIII : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S6



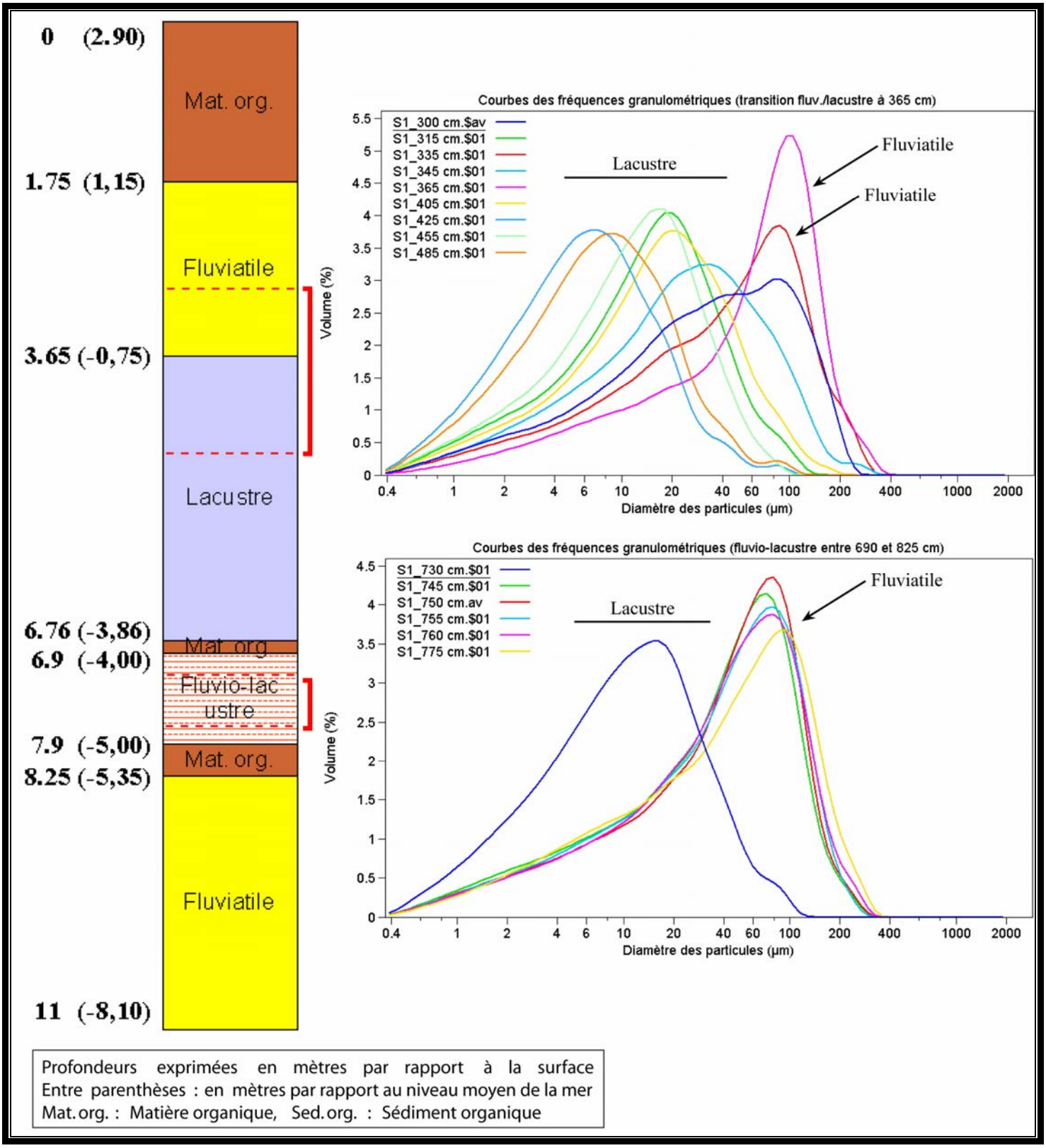
Annexe XIX : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S7



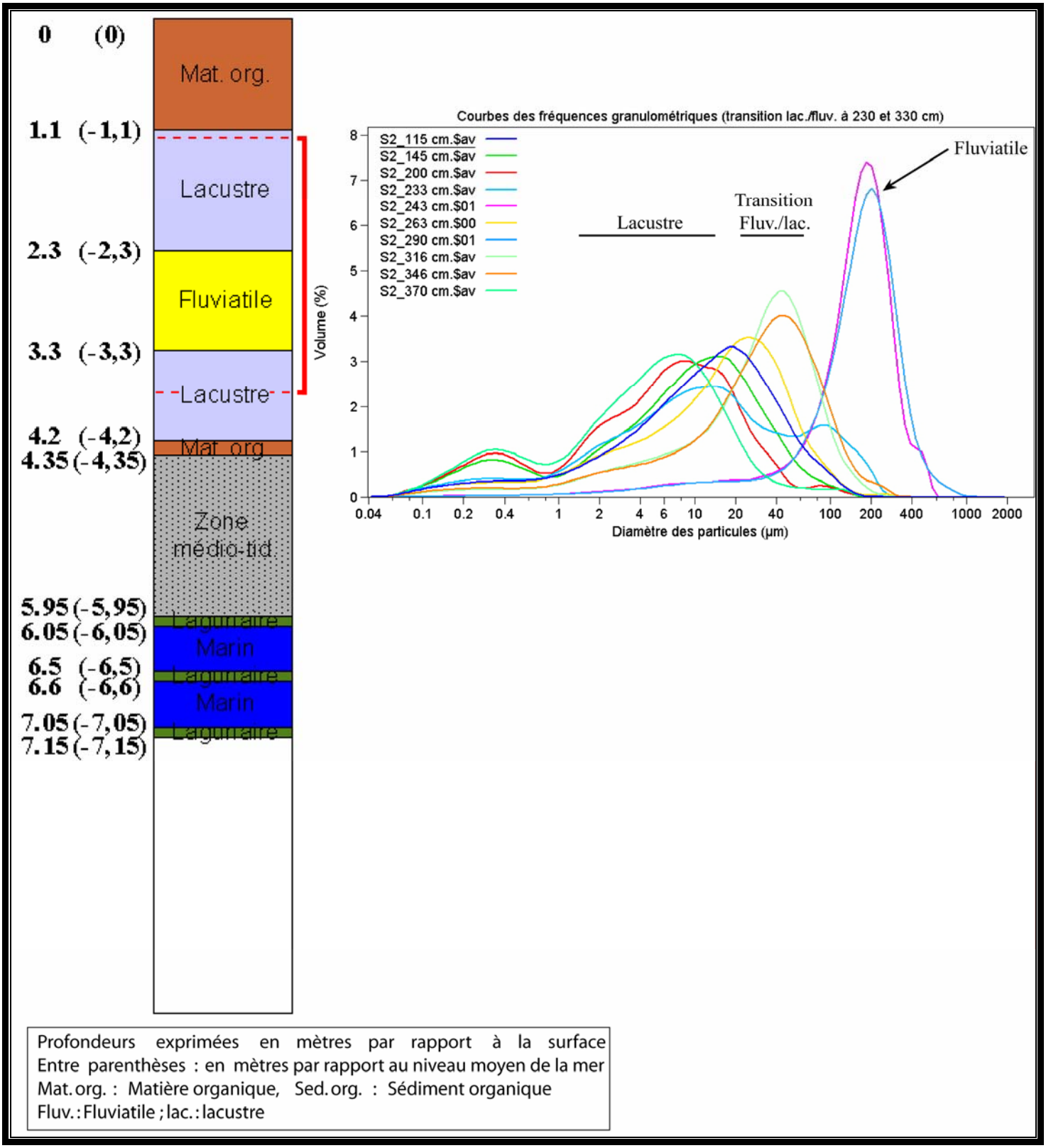
Annexe XX : Pourcentage d'argiles, de limons fins, de limons grossiers et de sables pour le sondage S8



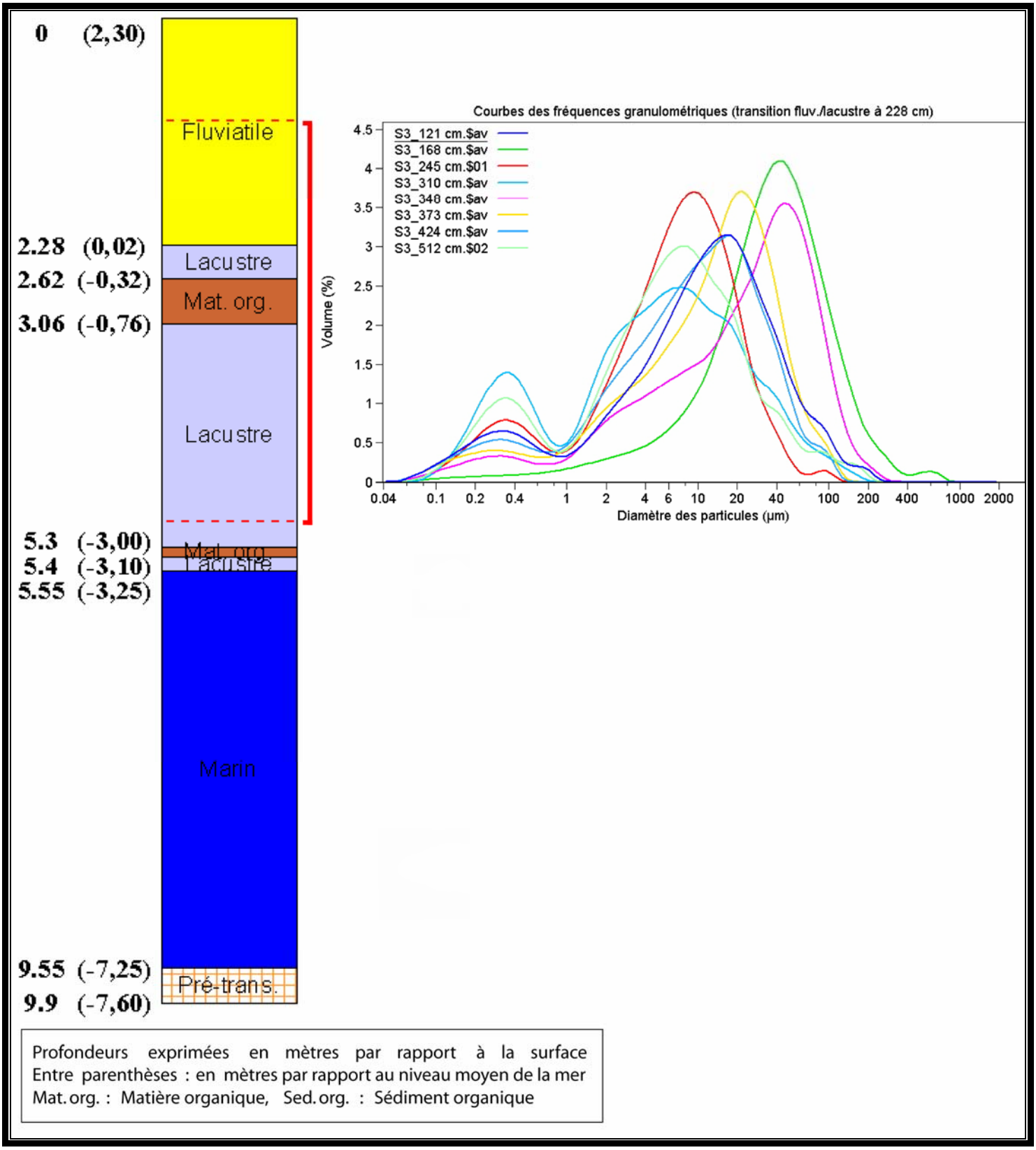
Annexe XXI : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S1



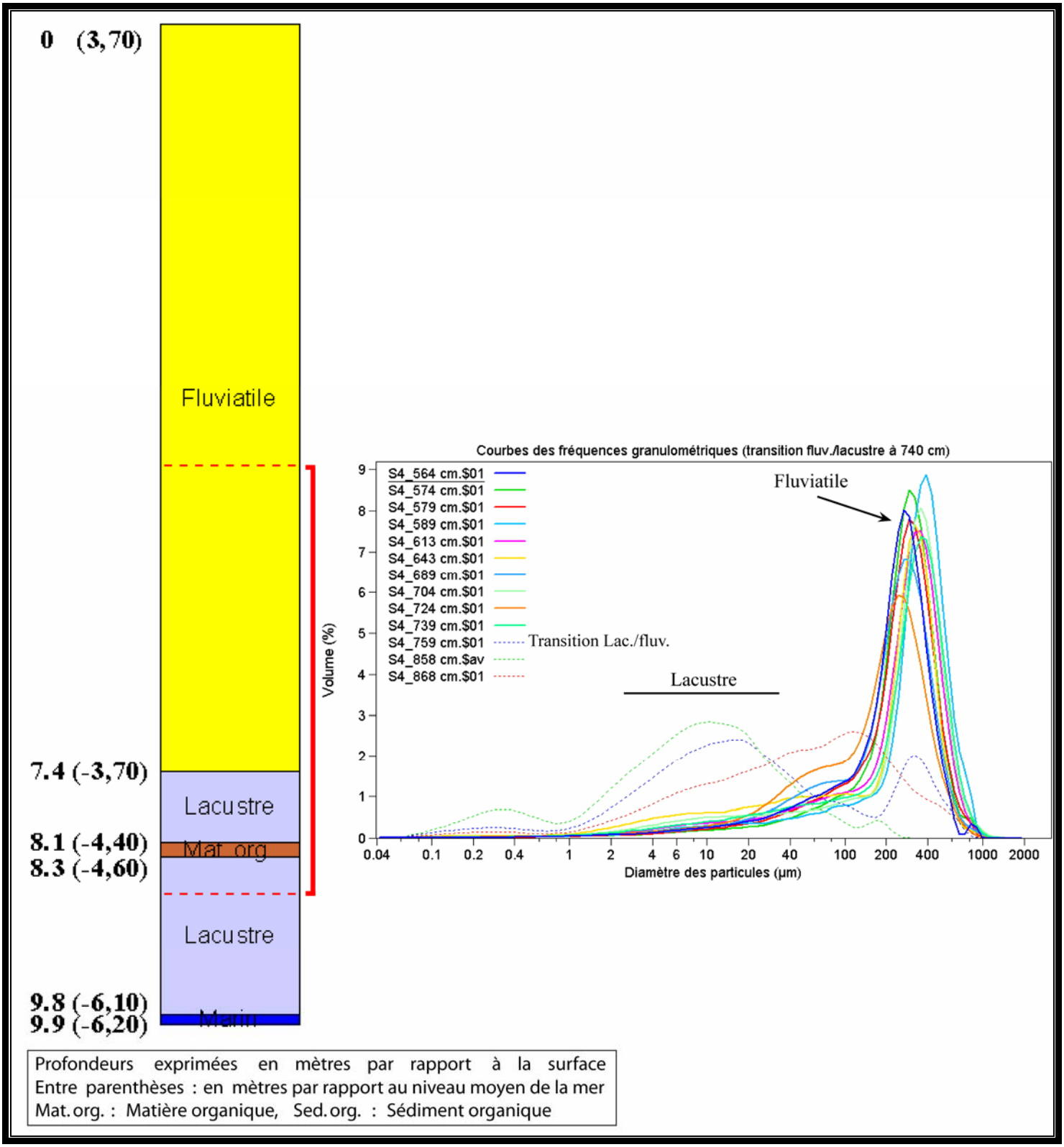
Annexe XXII : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S2



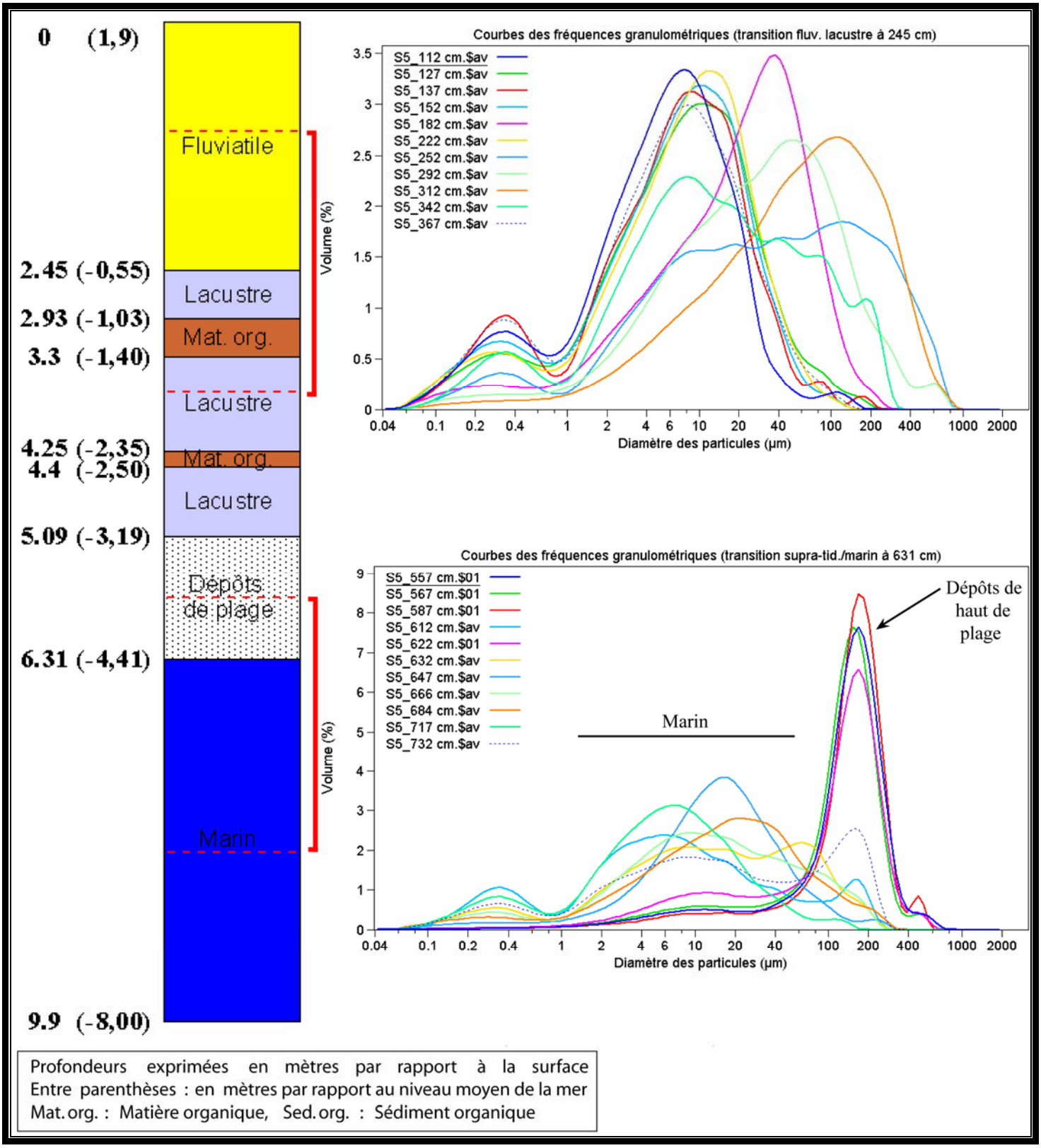
Annexe XXIII : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S3



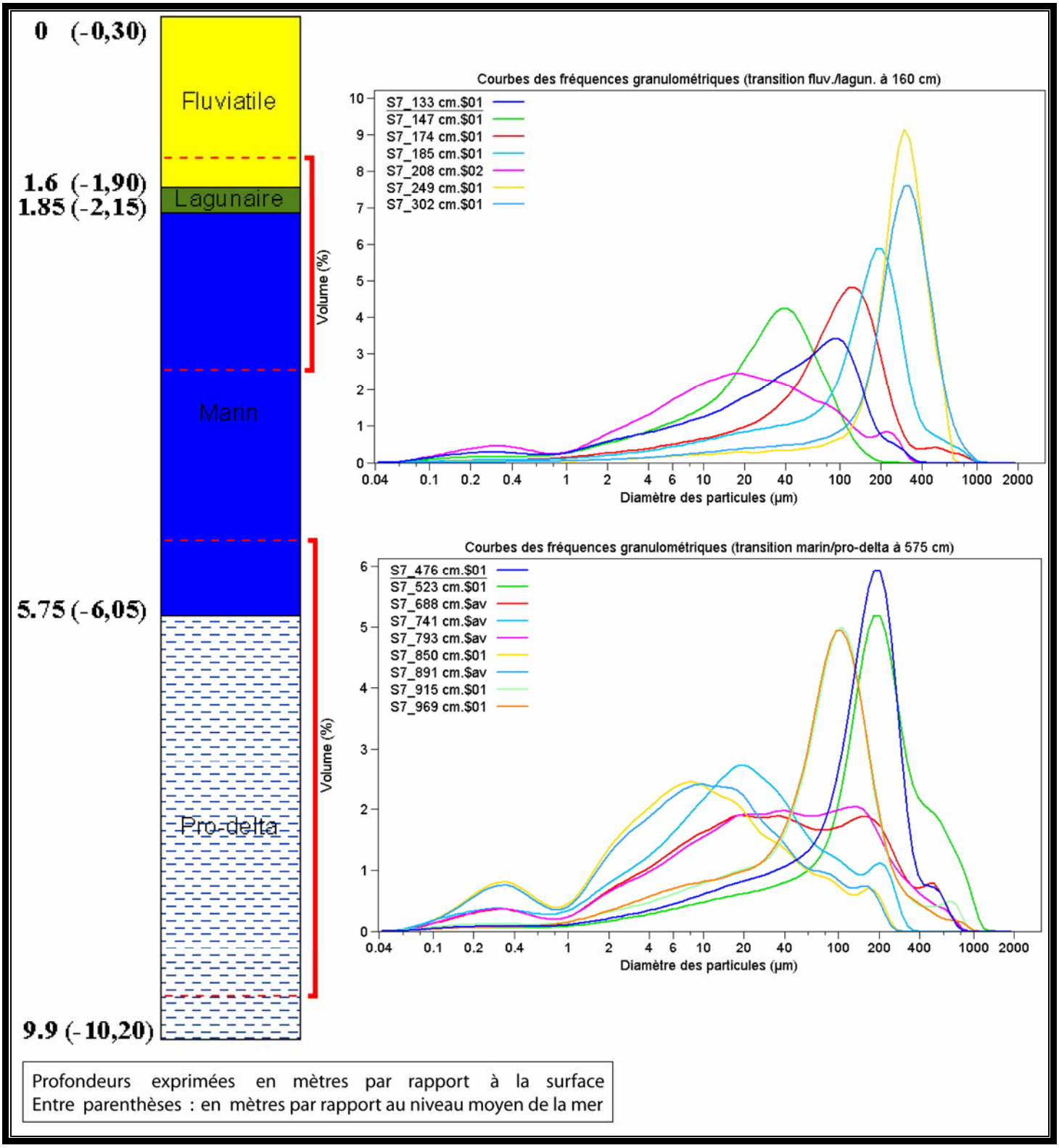
Annexe XXIV : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S4



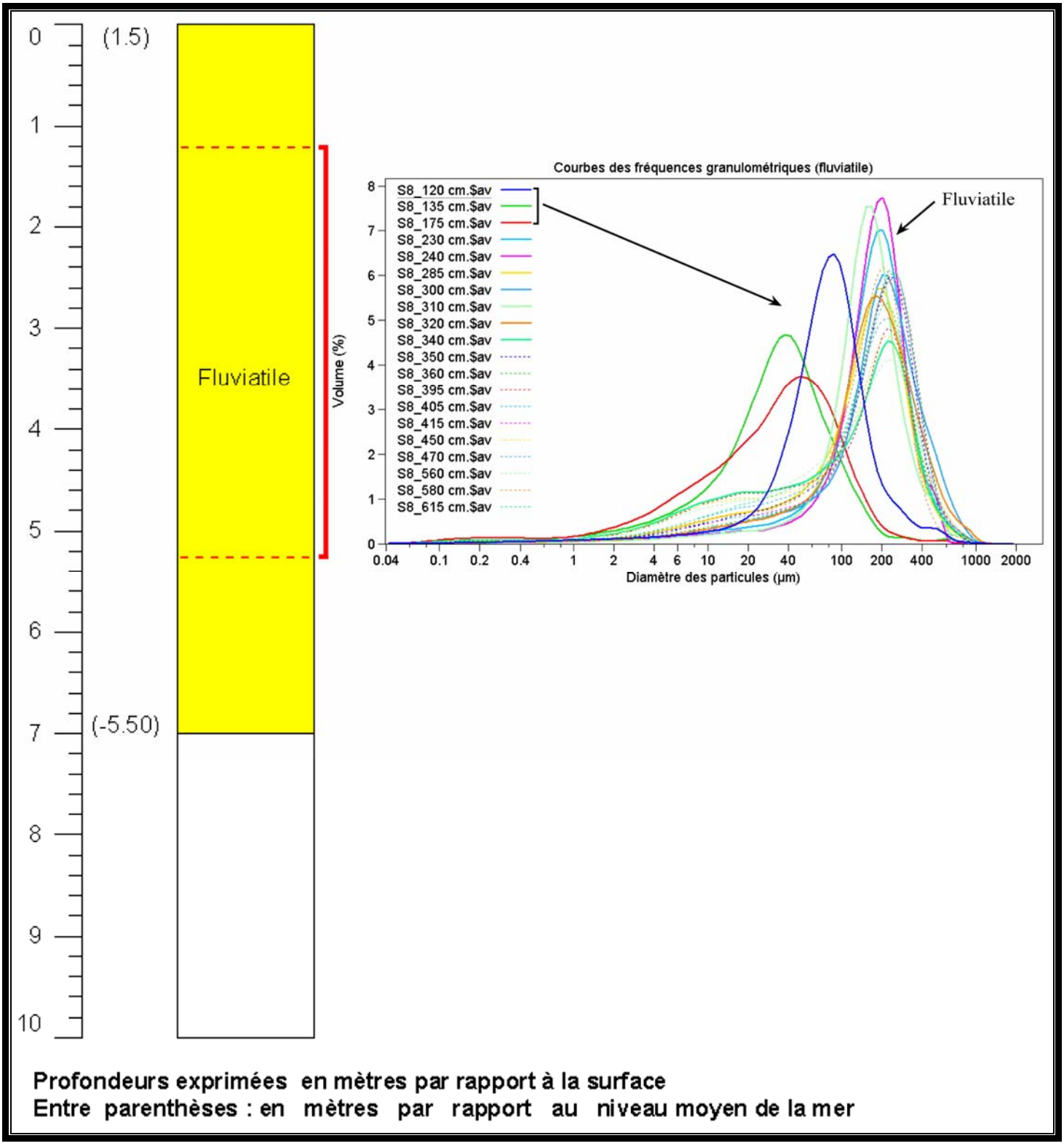
Annexe XXV : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S5



Annexe XXVI : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S7



Annexe XXVII : Courbes des fréquences granulométriques pour le sondage S8



Annexe XXVIII : photographies du secteur d'études

Vue depuis les hauteurs de Methoni sur la baie de Methoni-Nea Agathoupolis (secteur occidental du golfe Thermaïque). De gauche à droite : un système de lagunes inondées, séparées les unes des autres par d'étroits cordons littoraux. Au centre de la photo, le delta progradant de l'Aliakmon. A droite, en arrière plan le cap de Megalo Emvolo.

Photographie de la partie distale du delta de l'Axios. La végétation de type Salicornia sp. Permet de souligner les méandres et les défluents du chenal principal. Ce secteur est actuellement classé zone RAMSAR et fait l'objet de nombreuses protections environnmentales.

Cliché du fleuve Aliakmon pris en mars 2003 au sud de Kleidion. Les berges sont recouvertes par des dépôts argileux et le débit fortement régulé par les barrages situés plus haut.

Photographie prise à Mieza. Le Nymphaeum d'Aristote est un habitat troglodyte, taillé dans le Poros, une roche travertineuse relativement poreuse et facilement débitable.

Vue depuis la ville de Pella sur la plaine de Thessalonique, le relief est caractérisé par de très faibles dénivellations, le contact entre les collines de Piérie et la plaine est ici mis en valeur.

Cliché pris depuis la ville de Pella mettant en valeur la topographie de la plaine, en arrière-plan les collines de Piérie et le massif du Vermion délimitent vers le sud et vers l'ouest la plaine. Le silo à grain (en blanc) indique la localité d'Alexandria.

Cliché pris dans l'embouchure de l'Aliakmon. Cette cabane de pêcheurs est difficilement décelable dans le paysage en raison de l'épaisseur des phragmites bordant le cours d'eau.

Photographie du Mont Olympe (Mytikas : 2917 m) prise au soleil levant

Opération de carottage effectuée en septembre 2004 (pour le sondage S6). De gauche à droite : Céline Coussot, Matthieu Ghilardi et Antonis.

Moment de repos entre deux relevés G.P.S. Cliché pris sur l'ancien pont routier de l'Aliakmon au sud du tracé actuel de l'autoroute. De gauche à droite, Matthieu Ghilardi et Mike Styllas.

DYNAMIQUES SPATIALES ET RECONSTITUTIONS PALÉOGEOGRAPHIQUES DE LA PLAINE DE THESSALONIQUE (GRÈCE) À L'HOLOCÈNE RÉCENT

La plaine de Thessalonique est la plus vaste aire deltaïque de Grèce et couvre une superficie d'environ 2 200 km². Le présent travail a pour but de présenter l'évolution morphologique de cette plaine littorale édifiée au cours des 6 000 dernières années. Fondée sur une méthode combinant une approche de géographie historique et d'étude paléoenvironnementale, les grandes étapes d'édification de ce complexe deltaïque, formé principalement par les fleuves Aliakmon et Axios, ont pu être détaillées.

D'un point de vue historique, le secteur d'études est une importante aire d'implantation des sociétés humaines. Depuis le Néolithique, une occupation continue du territoire est attestée. Différents travaux archéologiques, historiques et paléoenvironnementaux attestent d'une évolution majeure du trait de côte entre le quatrième millénaire avant notre ère et le V^{e} siècle ap. J.-C, mais précisent de manière incertaine l'évolution paysagère. Le Royaume de Macédoine, avec ses rois illustres Philippe II et Alexandre le Grand a laissé sur le territoire de nombreux vestiges archéologiques qui témoignent d'une évolution paysagère certaine. Ainsi, Pella, l'ancienne capitale et ville portuaire reliée à la mer, se localise désormais à 28 km à l'intérieur des terres.

L'herméneutique des sources documentaires antiques (textes, supports iconographiques) et l'étude des récits de voyageurs ayant parcouru la région du XVIII^{e} au début du XX^{e} siècle, ont permis de constater des évolutions notables dans la position du littoral et dans l'organisation du réseau hydrographique. C'est à partir de ces documents, qu'au cours du XX^{e} siècle, les premières reconstitutions paléogéographiques ont été élaborées. Une étude critique des scénarii proposés a permis de révéler des incohérences et des approximations dans la restitution des paysages. L'adoption d'une approche paléoenvironnementale à l'échelle de la plaine se justifie donc sur ce point.

Huit sondages ont été réalisés dans la partie centrale de la plaine et se répartissent de manière homogène entre la ville de Pella au nord et le trait de côte actuel au sud. Les travaux de laboratoire ont reposé sur l'identification malacologique des différentes séquences sédimentaires et sur une analyse sédimentologique où des mesures de granulométrie et de susceptibilité magnétique ont permis de distinguer les apports des différents bassins-versants. Dix-sept datations par le radiocarbone ont permis de dater précisément les différentes séquences sédimentaires. L'utilisation des supports numériques, comprenant données satellitaires (combinaison spectrale d'une image LANDSAT TM) et données topographiques précises (données S.R.T.M.), a permis de livrer une interprétation spatiale des données acquises ponctuellement lors des sondages. L'élaboration de cartes tridimensionnelles a ensuite permis une modélisation numérique de terrain présentant les grandes étapes du déplacement du trait de côte au cours des six derniers millénaires.

Mots-clés* : *Géoarchéologie, Grèce, Holocène, Reconstitution paléogéographique, Plaine de Thessalonique

SPATIAL DYNAMICS AND PALAEOGEOGRAPHIC RECONSTRUCTIONS OF THE THESSALONIKI PLAIN (GREECE) ALONG THE RECENT HOLOCENE

The Thessaloniki plain is the largest deltaic complex of Greece, spanning an area of approximately 2 200 km². The present research aims to reconstruct the morphologic evolution of this coastal plain which has been formed during the last six millennia. This study is based on a method which combines historical geography and a palaeoenvironmental approach. The different steps in the formation of this coastal plain by silt from the Aliakmon and Axios Rivers, have been detailed.

From a historical standpoint, it is an important area. Since Neolithic times, a continuous occupation is attested. Various archaeological, historical and palaeoenvironmental researches have highlighted a rapid displacement in the shoreline between the fourth millennium BC and the fifth century AD, but unfortunately they did not identify the landscape evolution. The Macedonian kingdom, famous for rulers such as Philip II and Alexander the Great, flourished in the area, resulting in numerous archaeological remains which confirm the rapid evolution of the coastline. Pella, the former capital and an important harbour during Macedonian times, is nowadays located 28 km inland.

A careful review of literary sources, ancient texts and maps dating from ancient times to the descriptions of 18th and 19th century travellers allowed inference of changes in the shoreline and in the hydrographical network. Using these documents, the first palaeogeographic reconstructions were established and revealed several misunderstandings and contradictory scenarios due to different interpretations of literary sources.

This research offers a new perspective and understanding of the evolution of the Thessaloniki plain based on chronostratigraphical evidences derived from height boreholes. Faeces identification, together with grain-size analysis and magnetic susceptibility measurements, reveal different environments of sediment deposition.

Chronostratigraphical evidence was obtained from seventeen radiocarbon dates performed on marine shells, peat and organic sediment samples. Using remote sensing and a combination of spectral bands (LANDSAT TM imagery) and accurate topographic data (S.R.T.M. data), a spatial interpretation of the chronostratigraphic sequences was possible. Several digital elevation models showing the palaeogeographic reconstruction and the shoreline displacements along the last six millennia were then established.

Keywords*: *Geoarchaeology, Greece, Holocene, Palaeogeographic reconstruction, Thessaloniki Plain

LA MACEDOINE CENTRALE

CARTE TOPOGRAPHIQUE

Sites archéologiques majeurs de la période impériale (romaine - du IIe siècle av. J.-C. au IIIe siècle av. J.-C.)

Sites archéologiques majeurs des périodes archaïque à hellénistique (VIIIe - IIe siècle av. J.-C.)

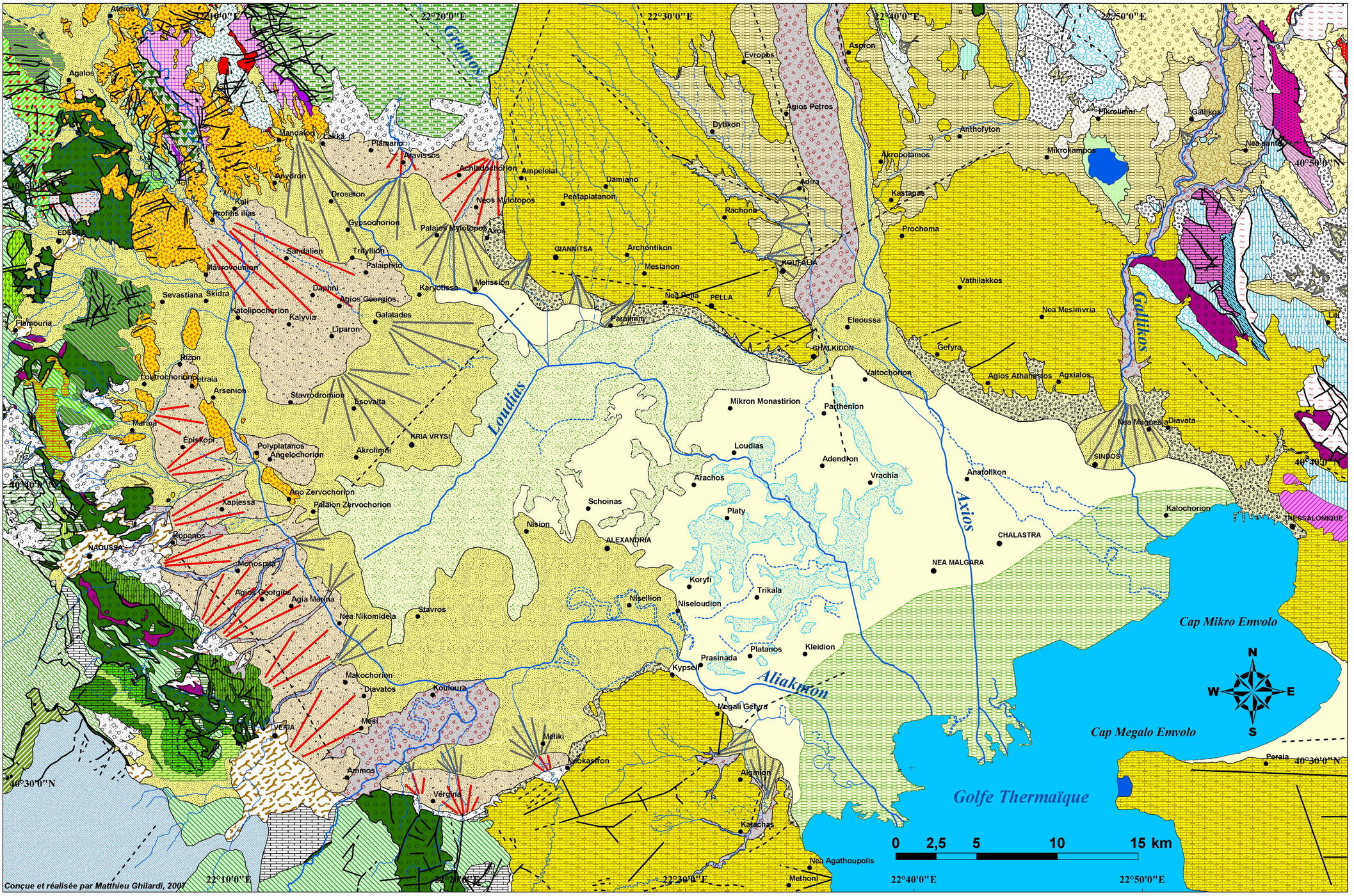
Sites archéologiques majeurs de la période néolithique

Equidistance des isohypses de 10 m entre 0 et 100 m, de 20 m entre 100 et 200 m et de 100 m au-delà de 200 m

0 2,5 5 10 15 km

Conçue et réalisée par Matthieu Ghilardi, 2007
Source : données S.R.T.M.

CARTE GEOLOGIQUE DE LA MACEDOINE CENTRALE



Conçue et réalisée par Matthieu Ghilardi, 2007

Données : cartes géologiques I.G.M.E. (feuilles au 1 : 50 000e d'Alexandria, Edessa, Katerini, Kilkis, Koufalia, Platy, Thessalonique, Veria), observations de terrain et résultats de laboratoire.
Réalisation sous S.I.G.

- Faille certaine
- Faille probable
- Réseau hydrographique principal
- Réseau hydrographique secondaire
- Réseau hydrographique intermittent
- Chenaux abandonnés

QUATERNAIRE

HOLOCENE

DEPÔTS DE LA PLAINE DE THESSALONIQUE

- Holocène récent (- de 2000 ans). Dépôts deltaïques
- Holocène récent (- de 4000 ans). Anciennes zones palustres
- Holocène récent (- de 4500 ans). Anciens dépôts du lac Loudias
- Holocène récent (- de 6000 ans). Dépôts fluvio-deltaïques

DEPÔTS DE L'ANCIEN LAC D'AMATOVO

- Dépôts argileux
- Dépôts argilo-sableux
- Dépôts sablo-limoneux

DEPÔTS DU LAC PIKROLIMNI

- Dépôts argilo-limoneux

AUTRES DEPÔTS HOLOCENES

- Dépôts sablo-graveleux de vallée ou de plaine
- Dépôts fluvatiles : blocs émoussés et sables
- Dépôts colluviaux (blocs anguleux pris dans une matrice sableuse)
- Dépôts de pente provenant de l'érosion des massifs environnants
- Dépôts fluviatiles grossiers du Gallikos (terrasses ?)
- Cônes récents (Holocène ?)

PLEISTOCENE

- Pléistocène ? Cônes d'épandage (blocs émoussés - sables)
- Pléistocène ? Conglomérats au sommet des cônes d'épandage
- Pléistocène supérieur ? Dépôts fluviatiles du Gallikos
- Pléistocène. Dépôts fluvio-torrentiels (érosion des grès miocènes)
- Pléistocène inférieur ? Dépôts fluviatiles grossiers
- Cônes anciens (pré-Holocène ?)

TERTIAIRE

- Pliocène - Miocène. Formations volcano-détritiques / tuffs volcaniques
- Miocène. Conglomérats, origine lac./marine (Païkon) et fluv. (Piérie)

SECONDAIRE

ZONE DU PAÏKON

- Crétacé supérieur. Calcaires dolomitiques, calcaires pélagiques

ZONE ALMOPIENNE

- Crétacé. Calcaires massifs en plaquettes
- Flyschs à lits ou à brèches, calcaires
- Tuff flyschoïde, bréchique, débris de roches volcaniques acides
- Crétacé. Flyschs, calcaires en très fines plaquettes
- Crétacé supérieur. Brèches et calcaires en dalles
- Crétacé supérieur. Formations volcano-sédimentaires
- Cénomanien-Maestrichtien. Calcaires sombres et massifs
- Cénomanien. Calcaires blancs à gris
- Aptien - Cénomanien. Calcaires marneux
- Aptien - Maestrichtien. Série détritique (flysch) et radiolaritique
- Aptien - Albien. Calcaires cristallins gris-noirs
- Schistes volcano-detritiques
- Schistes, calschistes et calcaires noirs (radiolaires calcitisés)
- Crétacé inférieur. Mélanges sédimentaires à matrice tuffitique

NAPPE DU HAUT VERMION

- Albien - Cénomanien. Calcaires et conglomérats
- Schistes (Flysch?). De couleur gris-noir, ils surmontent les marbres
- Marbres et calcaires cristallins bien lités

SERIE PELAGONIENNE

- Crétacé inférieur. Schistes, grès, calcaires et conglomérats
- Crétacé inférieur (Senonien). Calcaires
- Crétacé inférieur (Albien-Turonien). Calcaires en plaquettes
- Crétacé. Schistes conglomératiques rouges et calcschistes
- Trias moyen-supérieur ? Jurassique ? Marbres blancs ou gris, faillés
- Flyschs, schistes chloriteux

UNITE DE MELISSOCHORI-CHOLOMON

- Trias supérieur / Jurassique moyen. Flyschs calcaires, brèches

ROCHES ERUPTIVES

- Jurassique supérieur ? / Crétacé inférieur. Métalaves basiques
- Jurassique supérieur / Crétacé inférieur. Dolérites
- Jurassique supérieur / Crétacé inférieur. Pillow-lavas
- Jurassique supérieur / Crétacé inférieur. Rhyolites et granophyres
- Jurassique supérieur. Gabbros
- Jurassique. Ophiolites diverses : serpentines..., très faillé

UNITE DE DOUBIA

- Trias supérieur. Calcaires (couleur gris foncé)
- Trias inférieur. Quartzites

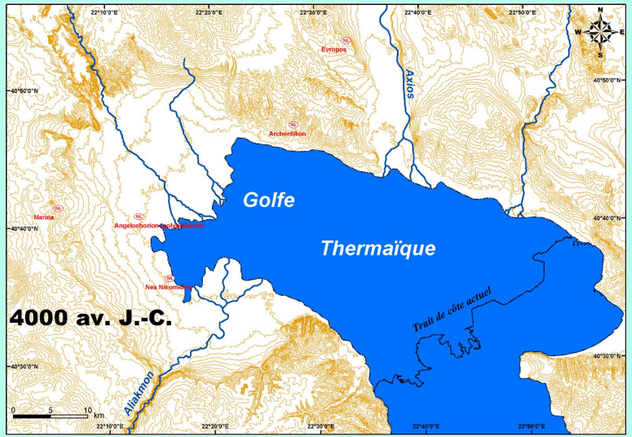
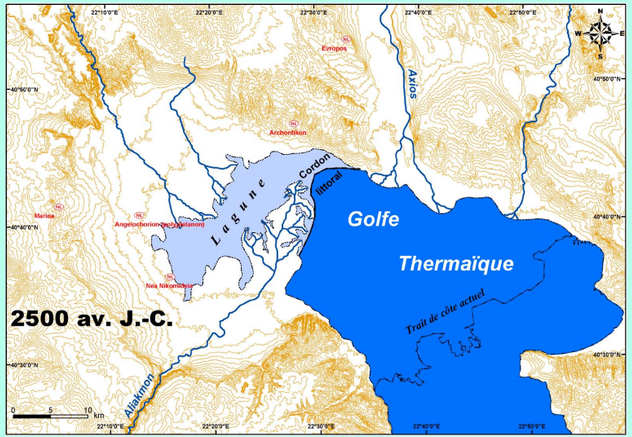
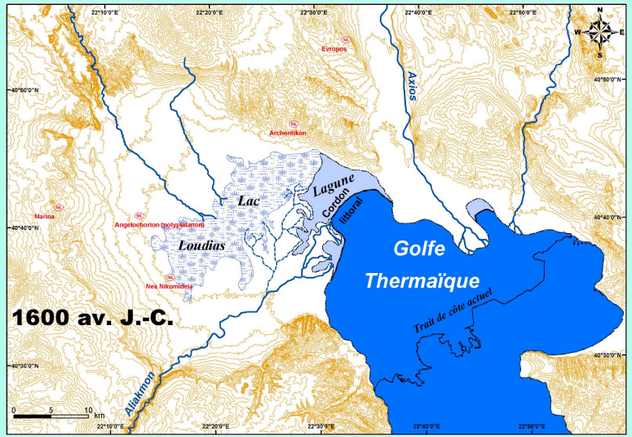
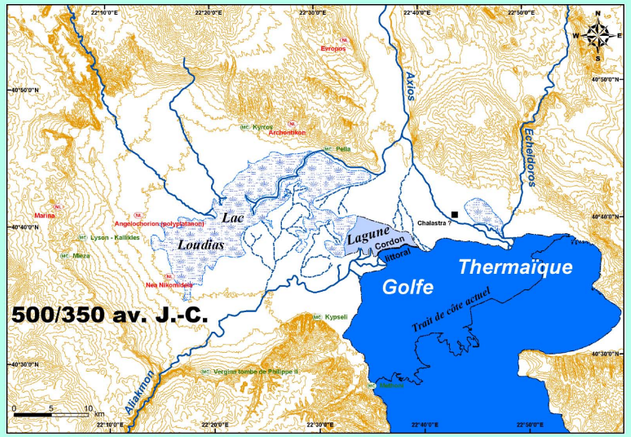
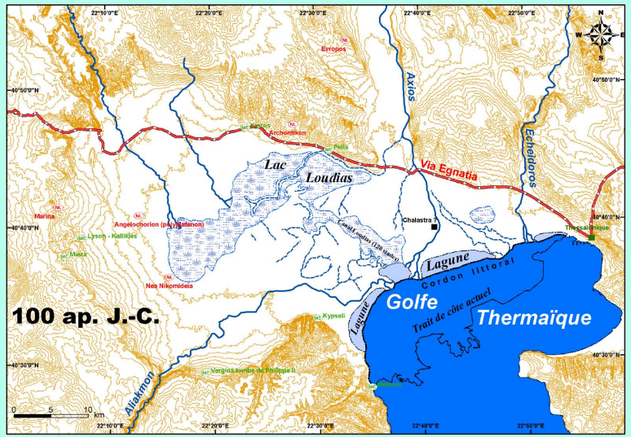
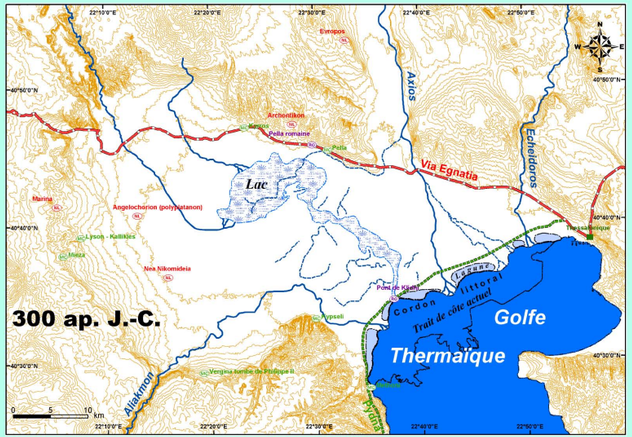
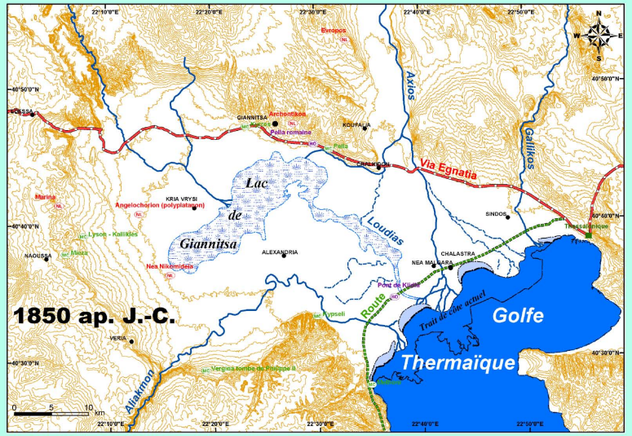
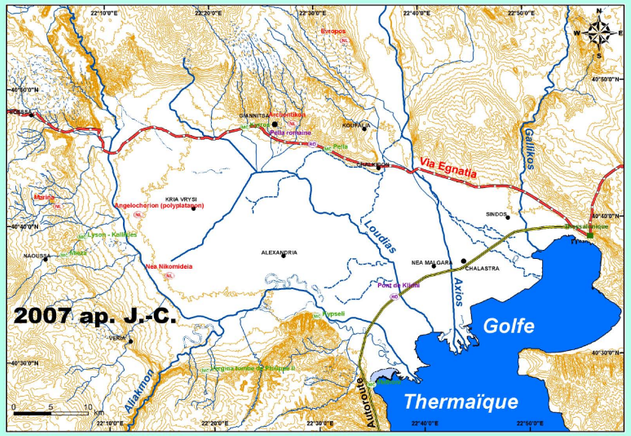
MASSIF SERBO-MACEDONIEN

- Gneiss (deux-mica), schistes, amphibolites
- Permien. Quartzites

UNITE DE PEONIE

- Jurassique supérieur / Crétacé inférieur. Schistes, phyllites
- Jurassique supérieur / Crétacé inférieur. Grès
- Jurassique supérieur. Conglomérats
- Trias / Jurassique. Phyllites de couleur sombre

UNITE DU CHORTIATIS

- Jurassique inférieur. Schistes sableux
- Trias. Calcaires noirs
- Gneiss, schsites verts

RECONSTITUTION PALÉOGÉOGRAPHIQUE DE LA PLAINE DE THESSALONIQUE AU COURS DES 6 000 DERNIÈRES ANNÉES