

Το παρακάτω άρθρο γράφτηκε με αφορμή τη συμπλήρωση 10 ετών από τους σεισμούς του 2014 στην Κεφαλονιά, ως απολογισμός επιστημονικής δράσης.

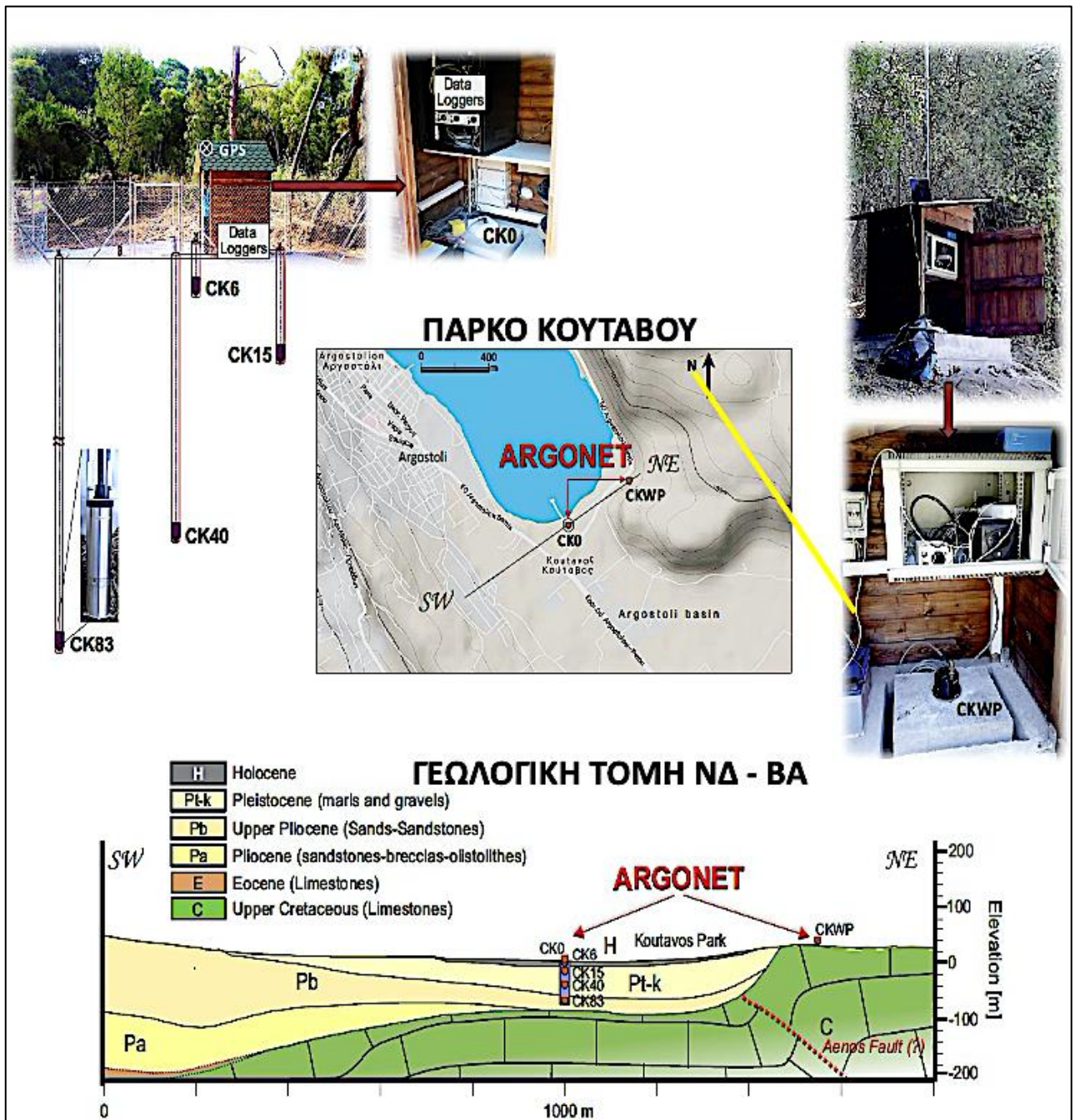
«10 χρόνια από το σεισμό στην Κεφαλονιά: Καινοτόμα επιστημονικά βήματα στην αντισεισμική θωράκιση»

Είναι πλέον ευρέως γνωστό ότι η περιοχή της Κεφαλονιάς χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη σεισμικότητα στον Ελληνικό και Ευρωπαϊκό χώρο. Ανατρέχοντας στα ιστορικά στοιχεία βλέπουμε ότι περίπου από τα μέσα του 15^{ου} αιώνα μέχρι σήμερα έχουν συμβεί στην Κεφαλονιά και στη γειτονική περιοχή της, 20 ισχυροί σεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 6.0 (Παπαζάχος και Παπαζάχου 2002), δηλαδή κατά μέσο όρο 4 ισχυροί σεισμοί ανά αιώνα. Λόγω της σεισμοτεκτονικής θέσης του νησιού ο υψηλός ρυθμός σεισμικότητας στην περιοχή αναμένεται να συνεχισθεί και στο μέλλον.

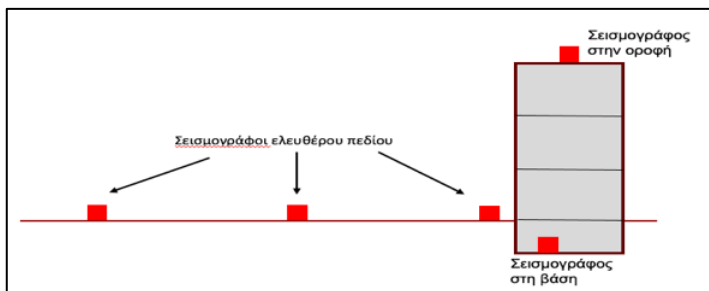
Τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο του 2014, η Κεφαλονιά χτυπήθηκε μέσα σε μια εβδομάδα από δύο ισχυρούς σεισμούς με μεγέθη 6.1 και 6.0. Η ισχυρότατη σεισμική δόνηση με οριζόντια εδαφική επιτάχυνση 0.77g (77% της επιτάχυνσης της βαρύτητας) που κατέγραψε το δίκτυο σειсмоγράφων/επιταχυνσιογράφων του Ινστιτούτου Τεχνικής Σεισμολογίας & Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ) στα Χαβριάτα Ληξουρίου, είναι η μέχρι σήμερα υψηλότερη επιτάχυνση που παρατηρήθηκε στον Ελληνικό χώρο. Παρά την εξαιρετικά υψηλή επιτάχυνση, τα κτίρια της Κεφαλονιάς συμπεριφέρθηκαν ικανοποιητικά αναδεικνύοντας τη χαμηλή στάθμη της δομικής τους τρωτότητας έναντι σεισμικής διέγερσης. Το γεγονός αυτό οφείλεται μεταξύ άλλων τόσο στη σωστή πρακτική δόμησης με βάση τους ισχύοντες κατά καιρούς κανονισμούς όσο και στο γεγονός ότι είναι νωπές οι μνήμες από προηγούμενους καταστροφικούς σεισμούς. Στους πλέον ηλικιωμένους, ο διπλός αυτός σεισμός ξύπνησε μνήμες του μεγάλου σεισμού του 1953 μεγέθους 7.2. Βέβαια, η εικόνα των βλαβών που παρατηρήθηκαν το 2014, δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να συγκριθεί με εκείνη του 1953, προφανώς λόγω του πολύ μεγαλύτερου μεγέθους του σεισμού του '53 αλλά και λόγω της διαφορετικής στάθμης τρωτότητας των κατασκευών πριν τον πρώτο αντισεισμικό κανονισμό του 1959. Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού σεισμού εκτός από τη δομική τρωτότητα δοκιμάζεται και η μη δομική τρωτότητα, δηλαδή, η συμπεριφορά των εντός κατοικίας οικοσκευών, επίπλων, αναρτημένων αντικειμένων κ.α. Αυτή η παράμετρος βλαβών είναι επίσης σημαντική και πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά την εκτίμηση σεισμικής διακινδύνευσης σε οικιστικές περιοχές. Τέτοιες βλάβες παρατηρήθηκαν κατά τους δύο σεισμούς του 2014 και στην Κεφαλονιά. Οδηγίες σχετικά με τη μείωση της μη δομικής τρωτότητας μπορούμε να βρούμε στη σχετική ιστοσελίδα του ΟΑΣΠ (<https://oasp.gr/library/documents>).

Με αφορμή τους σεισμούς του 2014 υπογράφηκε Μνημόνιο Συνεργασίας για πολυμερή συμφωνία μεταξύ επιστημονικών φορέων της Ελλάδας (Ινστιτούτο Τεχν. Σεισμολογίας & Αντισεισμικών Κατασκευών, ΤΕΙ Ιονίων Νήσων), της Γαλλίας (Institut des Sciences de la Terre, Universite Grenoble-Alpes, CEA - Cadarache) και της Περιφερειακής Ενότητας Κεφαλονιάς & Ιθάκης, με σκοπό την παρατήρηση και μελέτη σεισμικών δονήσεων στην Κεφαλονιά και διάδοση των αποτελεσμάτων της έρευνας. Για την υλοποίηση των δράσεων συνέβαλαν και συμβάλουν ουσιαστικά στον παραπάνω σκοπό το ΤΕΕ/Παράρτημα Κεφαλονιάς & Ιθάκης, ο Δήμος Αργοστολίου και η Βαλλιάνειος Γεωργική Σχολή. Η πρώτη δράση αφορούσε στη δημιουργία υποδομής καταγραφής σεισμικών δονήσεων από σεισμούς στην ευρύτερη

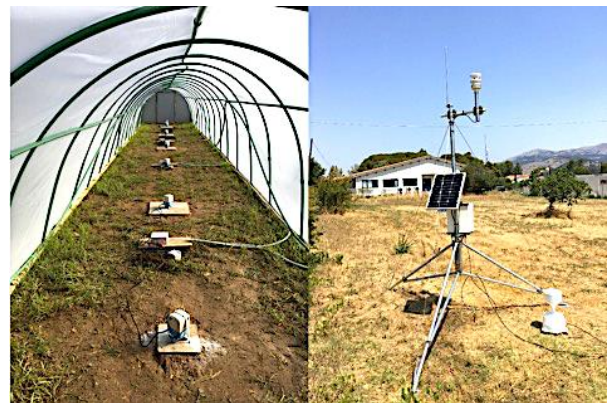
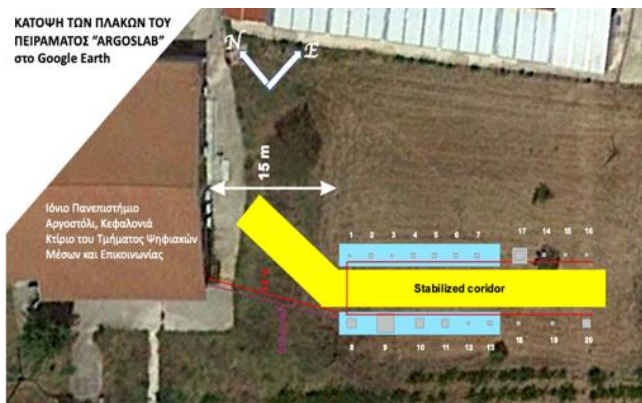
περιοχή της Κεφαλονιάς, γνωστή ως Παρατηρητήριο Σεισμών στο Αργοστόλι (ARGostoli NETwork: ARGONET). Το ARGONET περιλαμβάνει δίκτυο σειсмоγράφων/επιταχυνσιογράφων μέσα σε γεωτρήσεις και στο ελεύθερο πεδίο, και βρίσκεται στο πάρκο του Κουτάβου δίπλα στο Αργοστόλι (δες Σχ. 1). Πλέον αυτών είναι σε συνεχή λειτουργία 5 μόνιμα εγκατεστημένοι σειсмоγράφοι/επιταχυνσιογράφοι μεγάλης ευαισθησίας και υψηλής ανάλυσης καταμετρημένοι σε όλη την Περιφερειακή Ενότητα, προσωρινά δίκτυα επί κατασκευών για τη μελέτη αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής (δες Σχ. 2) καθώς και μετεωρολογικός σταθμός δίπλα σε συστοιχία σειсмоγράφων (δες Σχ. 3). Ειδικότερα, το εντός γεωτρήσεων δίκτυο του ARGONET από την έναρξη λειτουργίας του μέχρι σήμερα έχει καταγράψει πλέον των 1200 σεισμών της ευρύτερης περιοχής με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο του 2.0 (<https://argonet-kefalonia.org>).



Σχήμα 1. Το Παρατηρητήριο Σεισμών ARGONET, στο πάρκο του Κουτάβου, Αργοστολίου.



Σχήμα 2. Σχηματική διάταξη δικτύου σεισμομέτρων για τη μελέτη της αλληλεπίδρασης εδάφους-κατασκευής (αριστερά) και η υλοποίησή της στο κτίριο της Περιφερειακής Ενότητας Κεφαλονιάς & Ιθάκης στο Αργοστόλι.



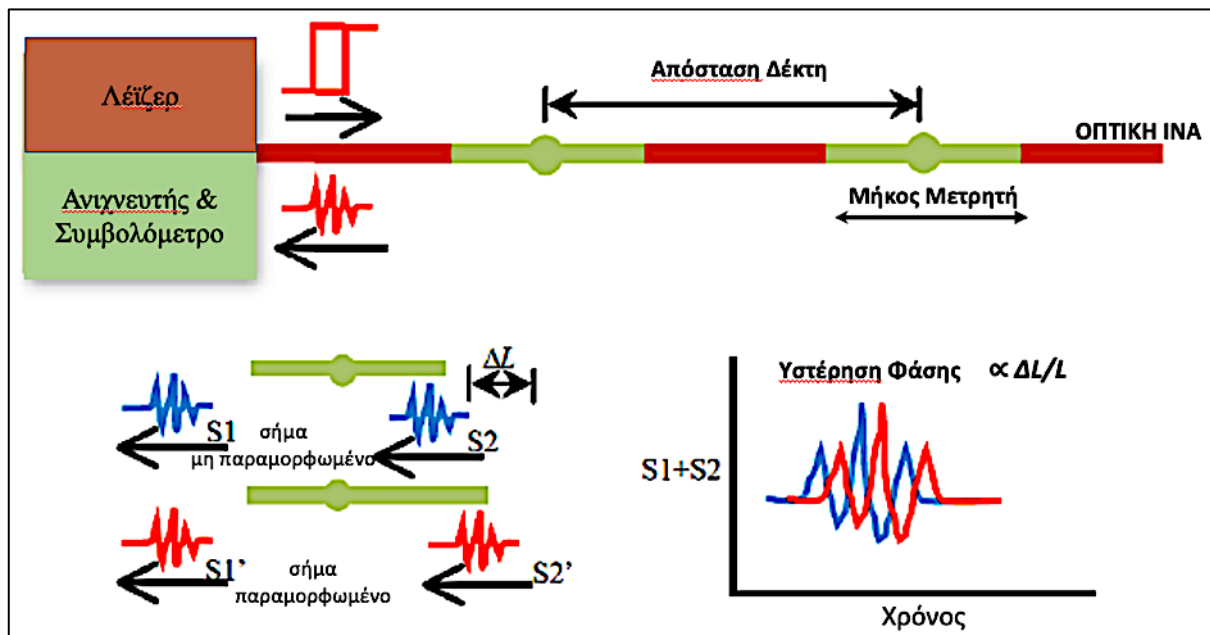
Σχήμα 3. Ειδική διάταξη πλέον των 30 σεισμομέτρων και ενός μετεωρολογικού σταθμού, στον αύλιο χώρο του Ιονίου Πανεπιστημίου στο Αργοστόλι.

Η ανάλυση των δεδομένων σεισμικών δονήσεων από χιλιάδες σεισμούς που έχουν καταγραφεί στο συνολικό δίκτυο της Κεφαλονιάς, έχει δώσει πλήθος επιστημονικών δημοσιεύσεων σε διεθνή περιοδικά και συνέδρια. Η γνώση που αποκτήθηκε από την εφαρμοσμένη έρευνα, αφορά μεταξύ άλλων:

- στην κατανόηση των σεισμικών δράσεων επί κατασκευών στο εγγύς πεδίο του σεισμικού ρήγματος όπου παρατηρούνται κατά κανόνα οι μεγάλες βλάβες,
- στην κατανόηση της επίδρασης των επιφανειακών «μαλακών» γεωλογικών σχηματισμών στη σεισμική δόνηση που οδηγούν κατά κανόνα στην ενίσχυσή της σε σχέση με τους βραχώδεις «σκληρούς» σχηματισμούς,
- στην αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής υπό σεισμική διέγερση,
- καθώς και στη γνώση ιδιοτήτων του φλοιού της Γης στην ευρύτερη περιοχή των Ιονίων νήσων, χρησιμότητα στην εκτίμηση της σεισμικής επικινδυνότητας.

Όλα τα παραπάνω μπορούν να ενσωματωθούν τόσο σε σενάρια σεισμικής διακινδύνευσης για το δομημένο περιβάλλον της Περιφερειακής Ενότητας για να συμβάλλουν στο σχέδιο Ξενοκράτης-Εγκέλαδος όσο και σε διατάξεις του Αντισεισμικού Κανονισμού και του αντίστοιχου Ευρωκώδικα (EC8).

Πρόσφατα, έχει δοκιμασθεί στην Κεφαλονιά η ανάπτυξη μιας νέας τεχνολογίας που αφορά στην αξιοποίηση των οπτικών ινών για την καταγραφή των σεισμικών δονήσεων. Η μεθοδολογία αυτή βασίζεται στην αντανάκλαση του φωτός που κινείται μέσα στην οπτική ίνα μεγάλου μήκους που μπορεί να είναι δεκάδες χιλιόμετρα (Distributed Acoustic Sensing: DAS). Η παραμόρφωση σε οποιοδήποτε σημείο της οπτικής ίνας καταγράφεται σε ειδική συσκευή σε συνάρτηση με το χρόνο και με κατάλληλη επεξεργασία μας δίνει καταγραφή αντίστοιχη του σειсмоγράφου σε μια μόνο διεύθυνση κατά μήκος της οπτικής ίνας (δες Σχ. 4).



Σχήμα 4. Αρχή λειτουργίας του συστήματος μέτρησης εδαφικής παραμόρφωσης με οπτική ίνα (DAS): $[S1+S2]$ σημαίνει το άθροισμα των σημάτων οπισθοσκέδασης στην αρχή και στο τέλος του μετρητή (χωρίς παραμόρφωση) για την πρώτη εκπομπή παλμού φωτός. $[S1'+S2']$ σημαίνει το άθροισμα των σημάτων οπισθοσκέδασης στην αρχή και στο τέλος του μετρητή μετρητή (παραμορφωμένο) για τη δεύτερη εκπομπή παλμού φωτός. Με ανάλυση της υστέρησης φάσης μεταξύ $[S1+S2]$ και $[S1'+S2']$, μπορεί να υπολογισθεί η παραμόρφωση κατά μήκος της οπτικής ίνας (τροποποιημένο από τους Li et al. 2015).

Πρόκειται για μια νέα τεχνολογία που επιτρέπει συνεχείς μετρήσεις παραμόρφωσης κατά μήκος ενός καλωδίου οπτικών ινών σε πραγματικό χρόνο. Πρακτικά μπορούμε να έχουμε καταγραφή σεισμικής κίνησης σε όποιο σημείο επιθυμούμε (π.χ. ανά ένα μέτρο). Η τεχνολογία αυτή είναι αναδυόμενη παγκοσμίως και πολλά υποσχόμενη δεδομένου ότι καλώδια οπτικών ινών αναπτύσσονται συνεχώς τόσο στον ηπειρωτικό όσο και στο θαλάσσιο χώρο, με πολύ χαμηλό το κόστος της οπτικής ίνας, της τάξης λίγων ευρώ ανά μέτρο.

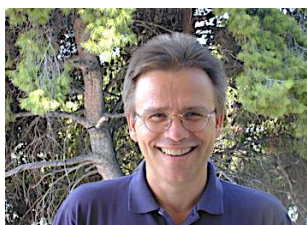
Στον περιβάλλοντα χώρο του ARGONET, έγινε πρόσφατα πειραματική προσπάθεια ελέγχου και τεκμηρίωσης της τεχνολογίας DAS, με ανάπτυξη οπτικής ίνας 1,5 περίπου χιλιομέτρου μέσα στο πάρκο του Κουτάβου, και παράλληλη εγκατάσταση πλέον των 50 κλασικών σειсмоγράφων δίπλα σε επιλεγμένα σημεία της (δες Σχ. 5). Τα προκαταρκτικά αποτελέσματα σεισμικών καταγραφών στο μικρό χρονικό διάστημα ενός μηνός λειτουργίας της πειραματικής αυτής διάταξης είναι ενθαρρυντικά και υποσχόμενα για την αξιοποίηση των καλωδίων οπτικών ινών στη χώρα μας και διεθνώς.



Σχήμα 5. Ανάπτυξη πειραματικής οπτικής ίνας, ~1.5 χιλιόμετρο (κόκκινη γραμμή) και ταυτόχρονη εγκατάσταση πλέον των 50 σειсмоγράφων (λευκοί κύκλοι) μέσα στο πάρκο του Κουτάβου, Αργοστολίου.

Η Κεφαλονιά, με την ανάπτυξη της παραπάνω υποδομής κατά την τελευταία δεκαετία, αποτελεί κλασικό παράδειγμα αξιοποίησης του φαινομένου των σεισμών ως συγκριτικό πλεονέκτημα, για την υλοποίηση ενός φιλόδοξου μακροχρόνιου επιστημονικού έργου, με στόχο τη συμβολή στην αντισεισμική θωράκιση της χώρας αλλά και διεθνώς. **Ο στόχος αυτός κατέστη εφικτός μέσω της αगाστής διαχρονικής συνεργασίας Ελληνικών και Ευρωπαϊκών επιστημονικών φορέων, την Τοπική αυτοδιοίκηση και τον Τεχνικό κόσμο της Περιφερειακής Ενότητας.** Θα λέγαμε ότι αποτελεί ένα πετυχημένο πιλοτικό παράδειγμα και για άλλες περιοχές της χώρας που απειλούνται από τους σεισμούς.

Θεσσαλονίκη Ιανουάριος 2024



Νίκος Θεοδουλίδης

Δρ. Σεισμολόγος - Διευθυντής Ερευνών.

Ινστιτούτο Τεχνικής Σεισμολογίας & Αντισεισμικών Κατασκευών (ΙΤΣΑΚ)

ΦΩΤΟ ΜΕΛΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΟΜΑΔΑΣ



Φωτο 1. Μέλη της Ελληνο-Γαλλικής ερευνητικής ομάδας (από αριστερά προς δεξιά: Isabelle Douste-Bacque, Νίκος Θεοδουλίδης, Fabrice Hollender, Margaux Buscetti, Pauline Rischette).



Φωτο 2. Μέλη της Ελληνο-Γαλλικής ερευνητικής ομάδας (από αριστερά προς δεξιά: Manu Chaljub, Vincent Perron, Cecile Cornou, Olivier Coutant, Νικος Θεοδουλίδης, Pauline Rischette).