

FORTH

INSTITUTE OF PETROLEUM RESEARCH



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΕΥΡΩΠΗΣ

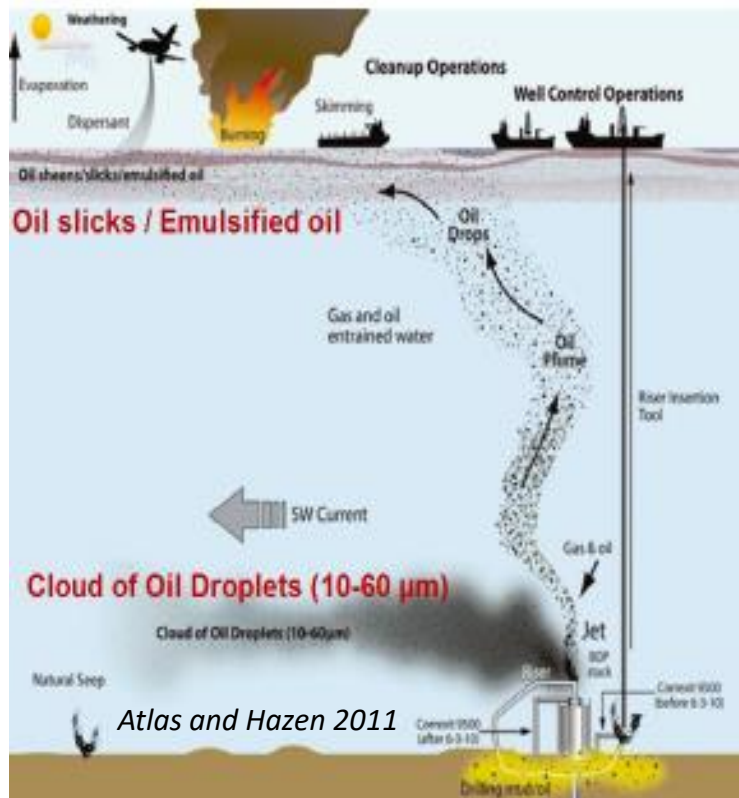
*“Οι Υδρογονάνθρακες στην Ενεργειακή Μετάβαση, Δεδομένα και Πολιτικές”
“The Role of Hydrocarbons in Energy Transition, data and policies”*

Σύγχρονες τεχνολογίες αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των θεμάτων ασφάλειας στην εκμετάλλευση υδρογονανθράκων

***Ευαγγελία Γοντικάκη** Εντεταλμένη Ερευνήτρια ΙΤΕ/ΙΠΕ*

***Νικόλαος Καλογεράκης** Καθηγητής, Συνεργαζόμενος Ερευνητής ΙΤΕ/ΙΠΕ*

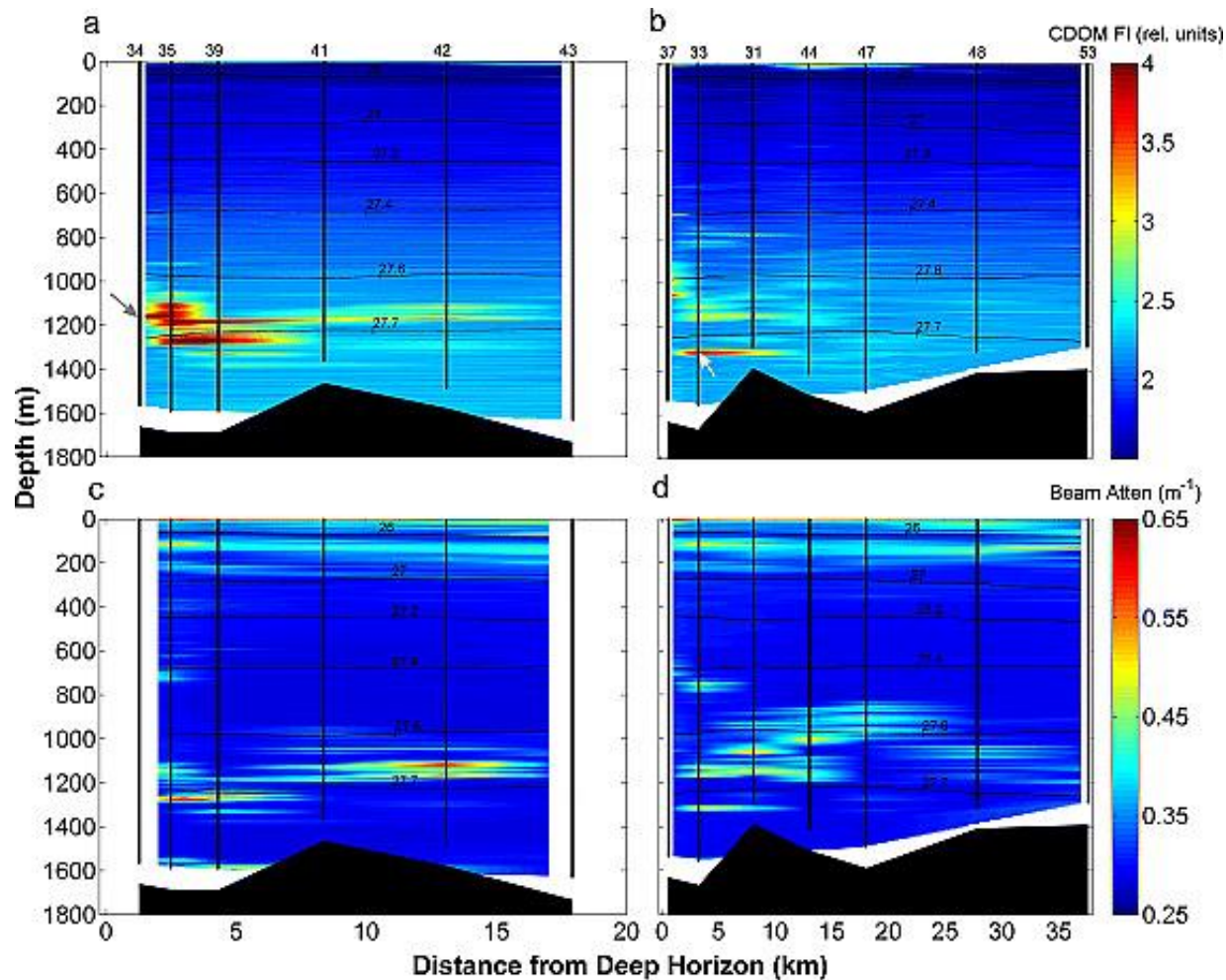
Διαρροές υδρογονανθράκων σε μεγάλα βάθη



Deepwater Horizon accident, GoM – April 2010

- Διαρροή πετρελαίου και φυσικού αερίου σε βάθος 1500 μ που διήρκησε 87 ημέρες
- 780 εκατομμύρια λίτρα πετρελαίου διέρευσαν στη θάλασσα
- 7 εκατομμύρια λίτρα διασκορπιστικού COREXIT εφαρμόστηκαν στην επιφάνεια και υποθαλάσσια στην εστία της διαρροής
- Πάνω από 50% του πετρελαίου παγιδεύτηκε σε ένα «πλούμιο» υδρογονανθράκων σε βάθος 800 - 1100 μέτρων, που εκτείνεται 200-400 χιλιόμετρα από τη διαρροή.
- Περίπου το μισό από το πετρέλαιο και αέριο στο πλούμιο απομακρύνεται μέσω της δραστηριότητας των αυτόχθονων μικροβιακών κοινοτήτων.

Εξασθένηση δέσμης ακτινοβολίας (beam attenuation) και φθορισμός της διαλυμένης οργανικής ύλης



CDOM: colored dissolved organic matter

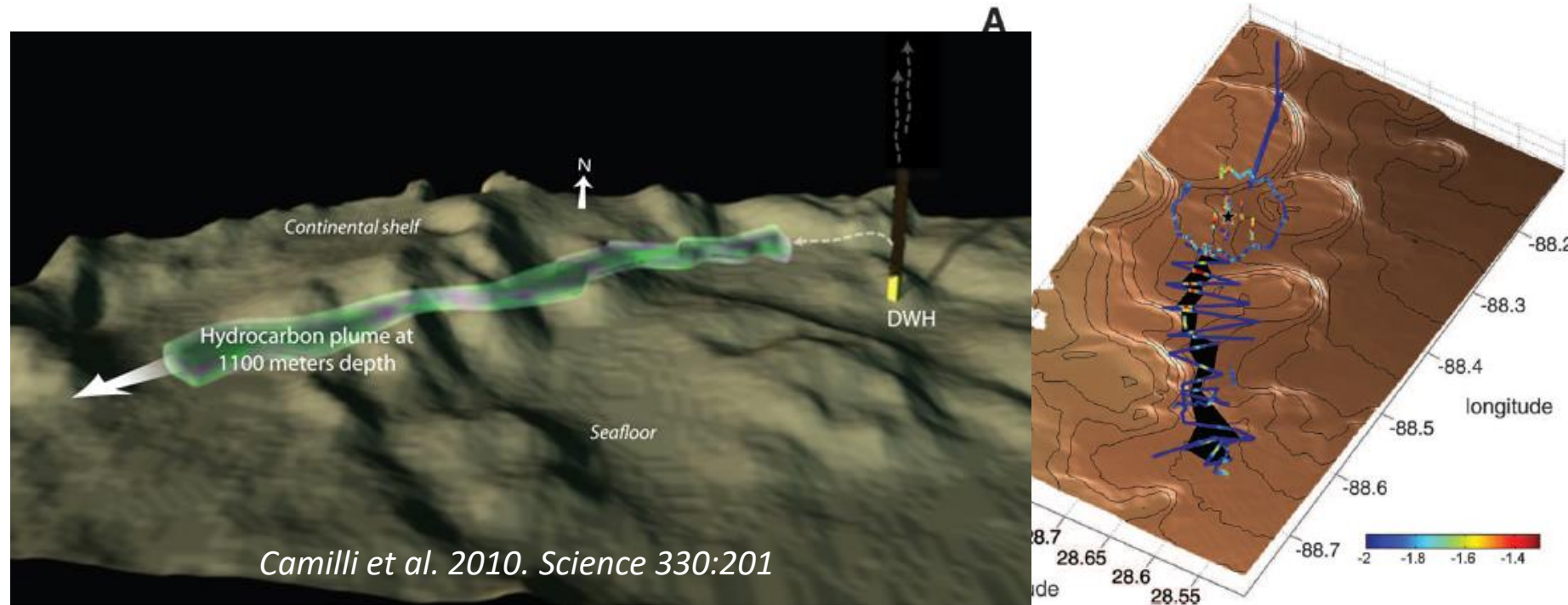
- ✓ Αυξημένα επίπεδα φθορισμού σε βάθος >1000 m

Beam attenuation

- ✓ Αυξημένη θολερότητα νερού
- ✓ Οφείλεται σε σκέδαση του φωτός από σταγονίδια πετρελαίου

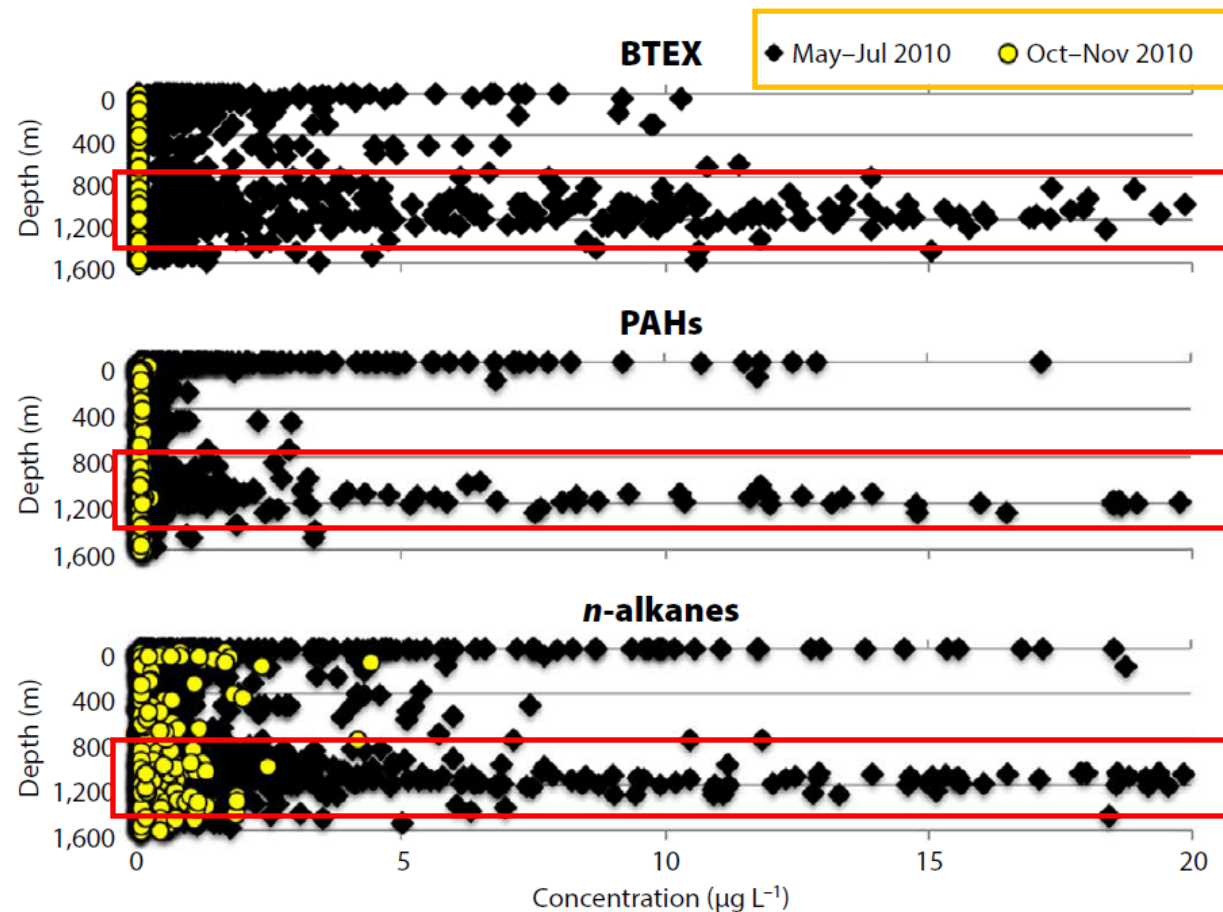
Φασματογραφία μάζας *in situ*

- Αυτόνομο υποθαλάσσιο όχημα (AUV) *Sentry* & TETHYS φασματογράφος μάζας
- Χαρτογράφηση πλουμίου - 1.2 km μήκος and 198 m ύψος

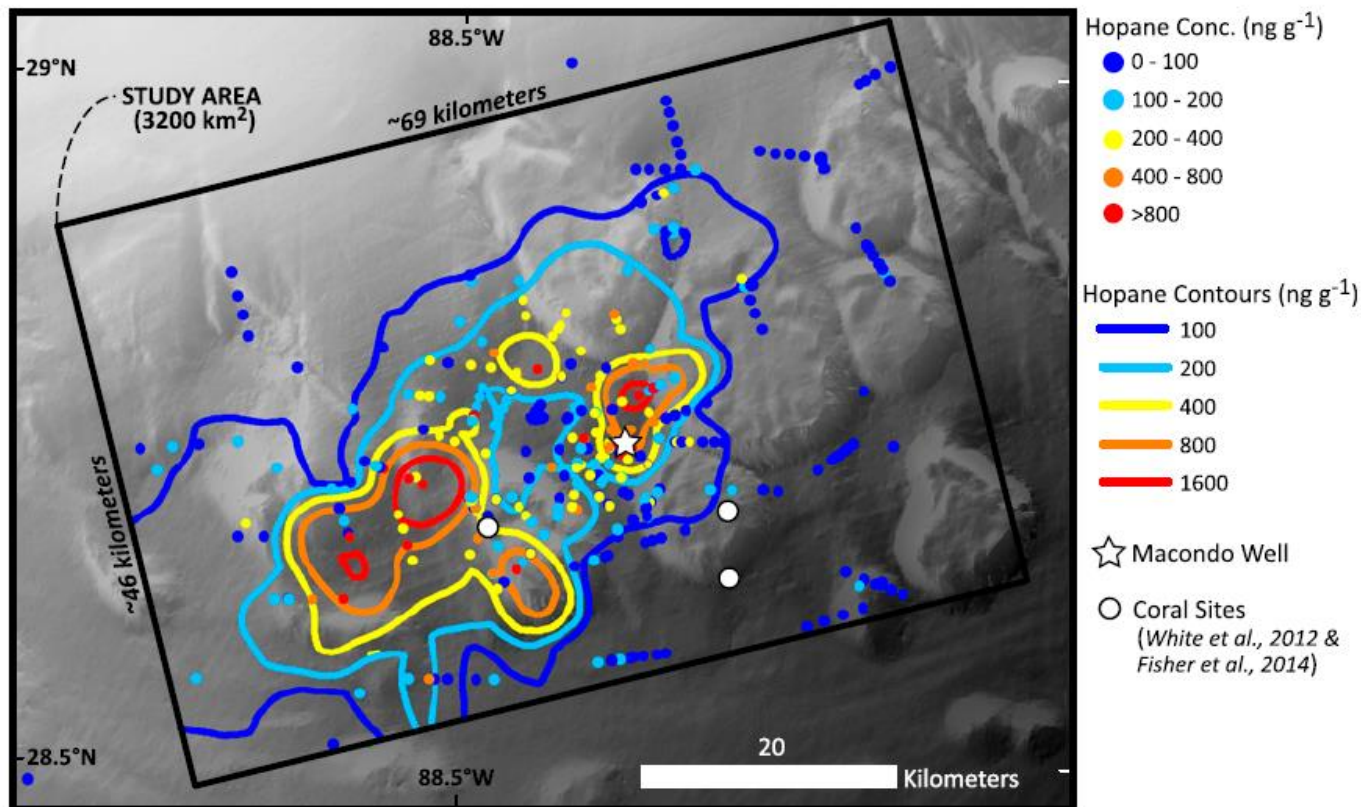


Τεχνολογίες εντοπισμού του πλουμίου υδρογονανθράκων στο *Deepwater Horizon*

Επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων με Αέρια Χρωματογραφία – Φασματογραφία Μάζας



Συγκέντρωση 17α-χοπάνιου: Χωρική κατανομή υδρογονανθράκων σε βαθιά ιζήματα με βάση έναν ανθεκτικό στην βιοαποικοδόμηση δείκτη



- ✓ >3000 δείγματα ιζήματος από 534 σταθμούς
- ✓ Υδρογονάνθρακες από το πλούμιο ρυπαίνουν 3200 km² του πυθμένα
- ✓ **4-31%** του πετρελαίου που εγκλωβίστηκε στο πλούμιο

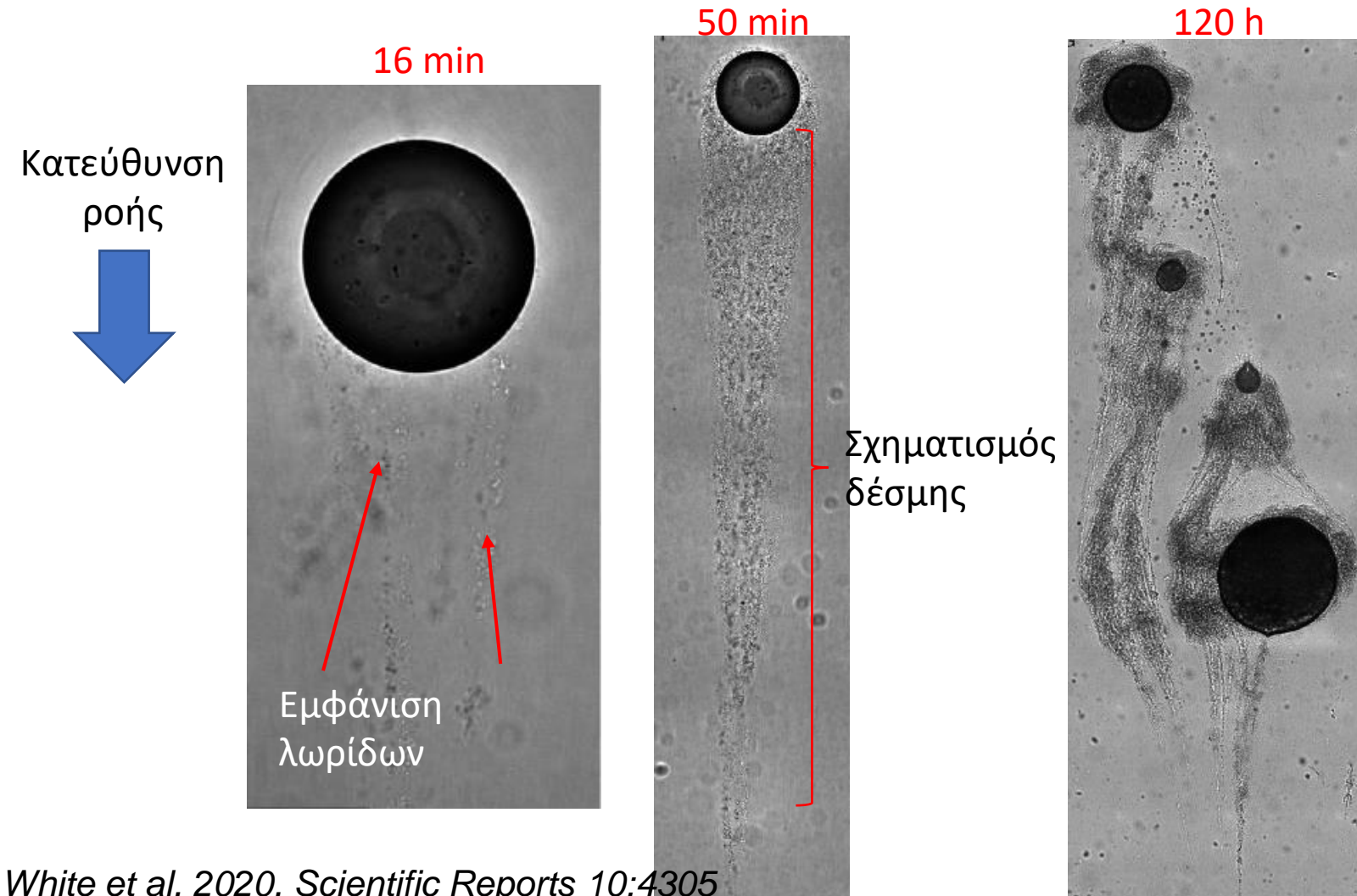
Δύο μηχανισμοί:

- απευθείας επαφή του πλουμίου με το ηπειρωτικό υφαλοπρανές σε βάθος 900 - 1300 μ
- Καταβύθιση συσσωματωμάτων πετρελαίου (fallout plume) σε βάθος 1300 – 1700 μ.

Βακτηριακή δράση

Μικρορρευστονική (Microfluidics)

Time-lapse φωτογράφιση ενός σταγονιδίου πετρελαίου που ρέει μέσα από καλλιέργια *Pseudomonas*



Σταγονίδια που συνδέονται με εξωκυτταρικές πολυμερείς ουσίες (extracellular polymeric substance) και δέσμες βιομάζας σχηματίζοντας **συσσωματώματα**

Συμπεράσματα

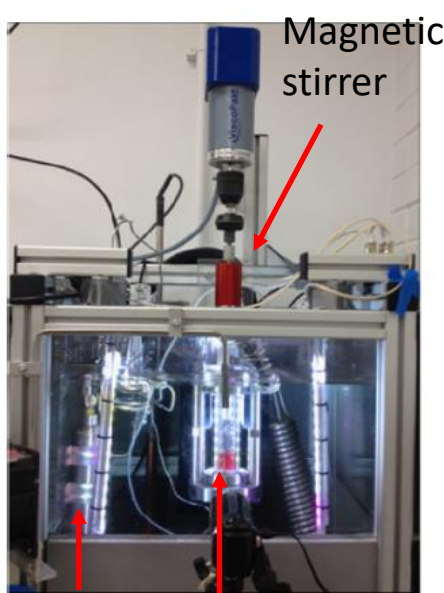
- ✓ Δραματική αύξηση της αντίστασης (drag) (>80% σε 30 λεπτά)
- ✓ Μείωση της ταχύτητας ανόδου των σταγονιδίων = αύξηση χρόνου παραμονής στα βαθιά
- ✓ **Μηχανισμός κατακρήμνισης από το πλούμιο**

Σύγχρονες τεχνολογίες πειραματισμού

Βελτίωση των προσομοιώσεων διαρροών πετρελαίου και φυσικού αερίου σε μεγάλα βάθη

High-pressure visual sapphire autoclave

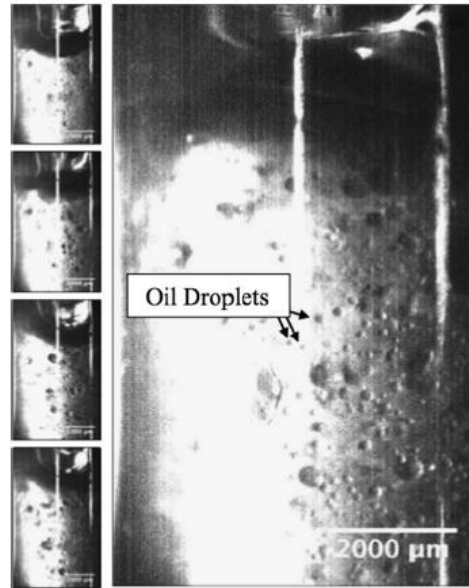
Κατανομή μεγέθους σταγονιδίων = καθορίζει την οριζόντια και κάθετη μετανάστευση του πετρελαίου στη στήλη νερού



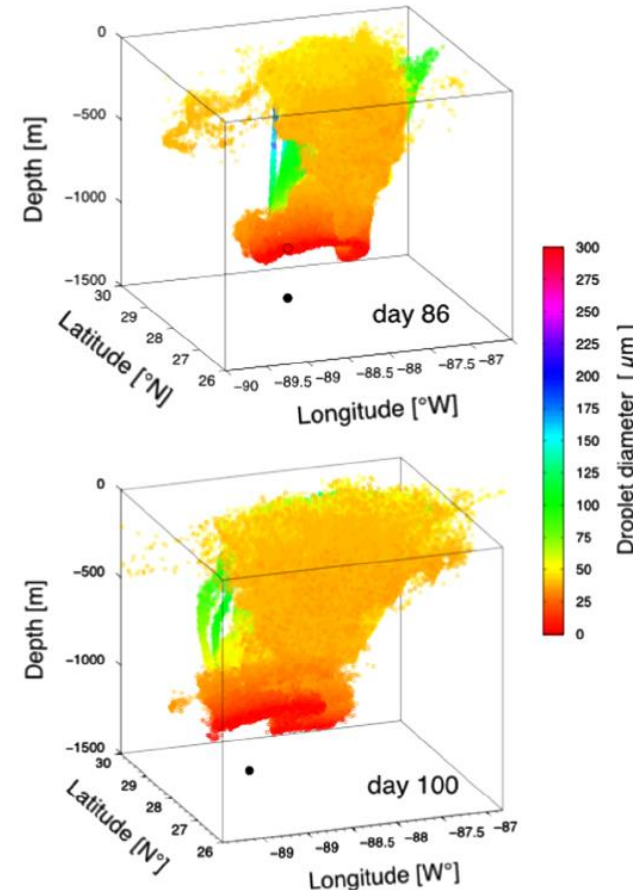
Magnetic stirrer

Ρεζερβουάρ μεθανίου

Κύλινδρος σαπφείρου



Κάμερα υψηλής ευκρίνειας



- ✓ Κατανομή μεγέθους σταγονιδίων σε 11 MPa σε συνάρτηση με την ταχύτητα ανάμιξης
- ✓ Πριν & μετά την εφαρμογή διασκορπιστικού

↓
DWH σενάριο χωρίς διασκορπιστικό:

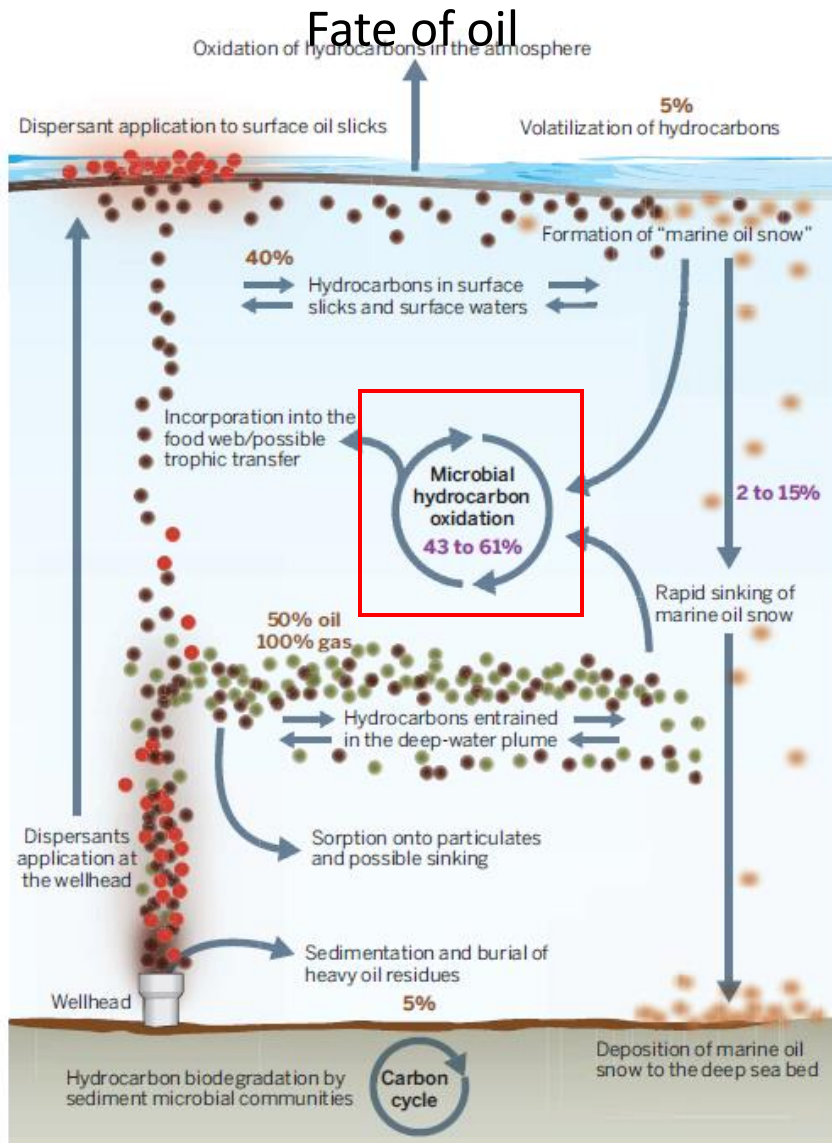
- 1-3% περισσότερο πετρέλαιο στην επιφάνεια
- 15-20% λιγότερο πετρέλαιο κάτω από τα 1000 μ

Διαρροές υδρογονανθράκων σε μεγάλα βάθη

- Όλα τα δεδομένα προέρχονται από το ατύχημα Deepwater Horizon στον Κόλπο του Μεξικού
- Μετά από >10 χρόνια έρευνας, η εφαρμογή διασκορπιστικών ουσιών παραμένει αμφιλεγόμενη
- Η εξερεύνηση προχωρά σε ολοένα και βαθύτερα νερά
- Η αντιμετώπιση της επόμενης διαρροής θα βασίζεται μερικώς σε προηγούμενη εμπειρία
- Ανάγκη για προετοιμασία με βάση τα δεδομένα μιας συγκεκριμένης περιοχής εξερεύνησης
- Πειραματικά δεδομένα και μετρήσεις πεδίου κάτω από ρεαλιστικές περιβαλλοντικές συνθήκες
- **ΙΤΕ/ΙΠΕ – συμβολή στην ασφαλή εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων**

Σύγχρονες τεχνολογίες πειραματισμού

Πειραματικά δεδομένα κάτω από ρεαλιστικές περιβαλλοντικές συνθήκες



- ✓ Βιοαποικοδόμηση - 50% του πετρελαίου DWH
- ✓ Πολύπλοκη διαδικασία - εξαρτάται από πολλαπλούς βιοτικούς και αβιοτικούς παράγοντες

Η μικροβιακή δραστηριότητα επηρεάζεται από μεταβολές της υδροστατική πίεσης

Πειραματισμός σε συνθήκες υψηλής πίεσης

Δειγματοληψία και πειραματισμός σε υψηλή πίεση - Βιοαποικοδόμηση σε *in situ* συνθήκες

1
HP sampler

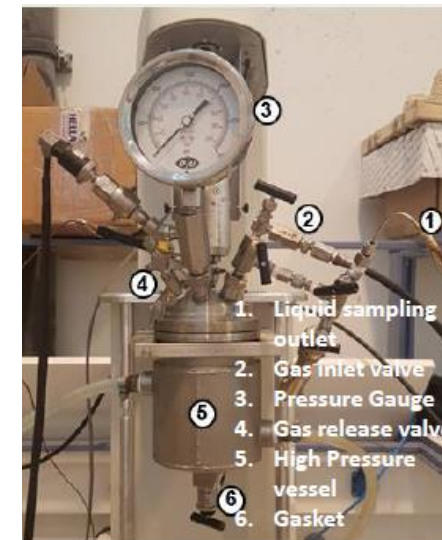


Συλλογή δείγματος υπό πίεση
(μέχρι 1000 μ)

2
HP piston pump



3
HP Reactor

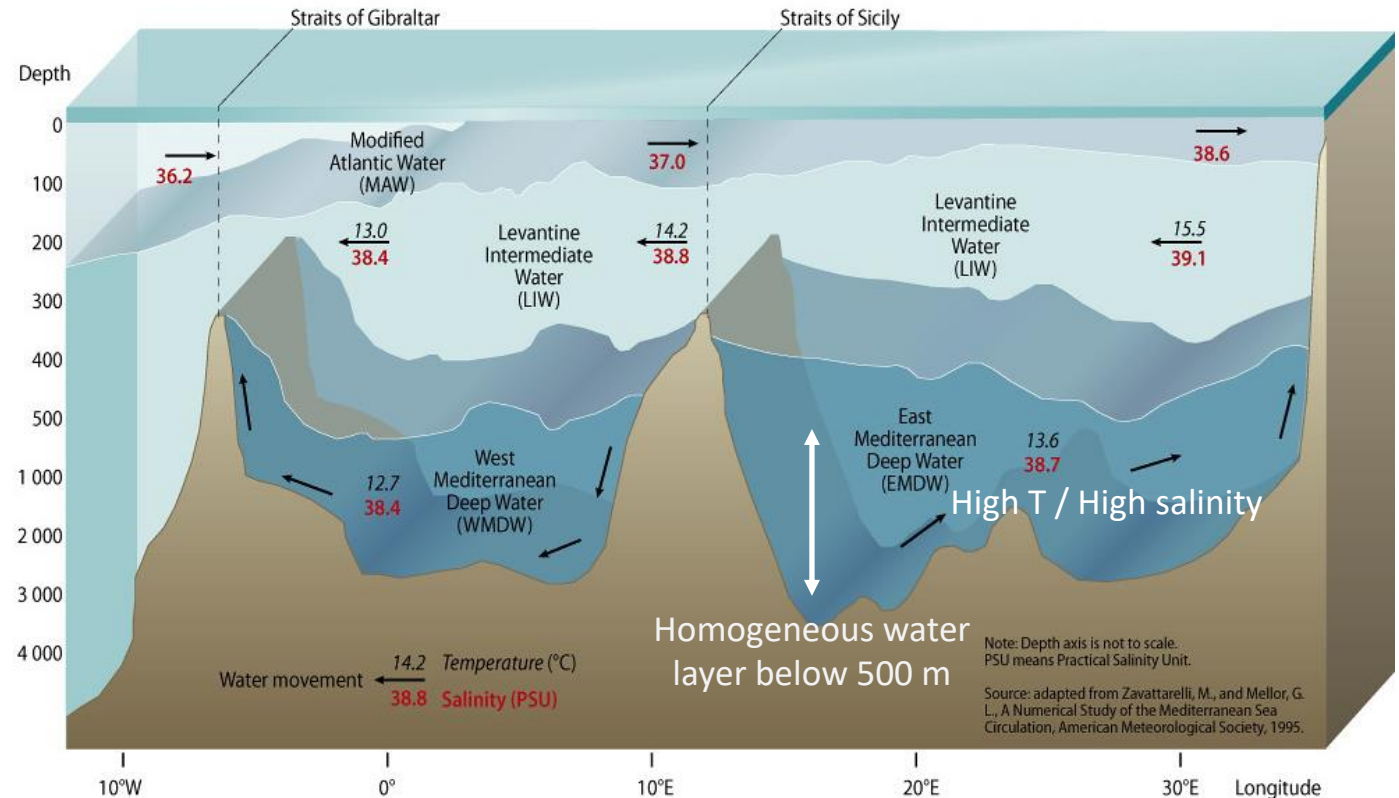
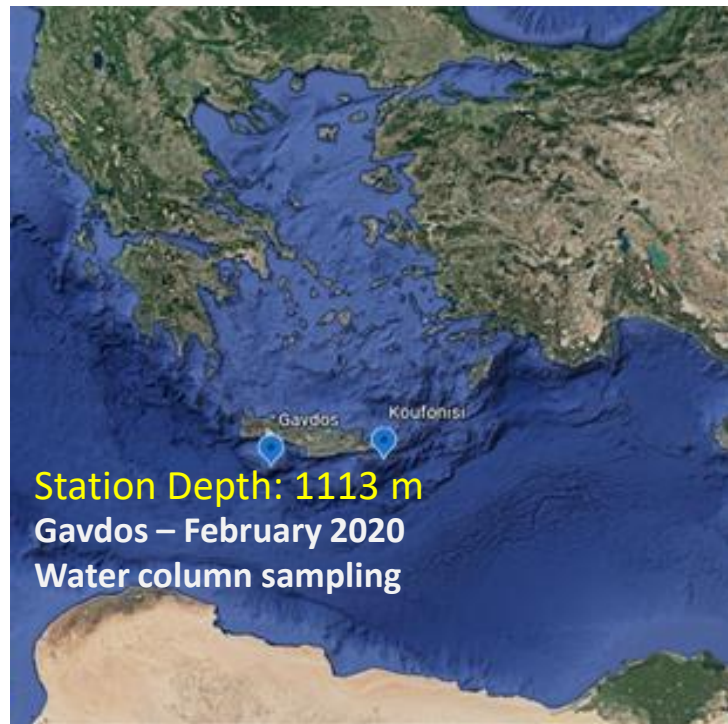


Πειραματισμός σε υψηλή πίεση

Βιοεξυγίανση

- ✓ Εφαρμογή ή όχι διασκορπιστικού τύπου COREXIT σε μεγάλο βάθος?
- ✓ Εναλλακτικές λύσεις – βιοεπιφανειοδραστικές ουσίες (biosurfactants)
 - Ποιοι μικροοργανισμοί τις παράγουν?
 - Είναι το ίδιο αποτελεσματικές?
- ✓ Εναλλακτικές λύσεις – προσθήκη θρεπτικών συστατικών
 - Αποτελεσματικότητα
 - Κατάλληλο μέσο

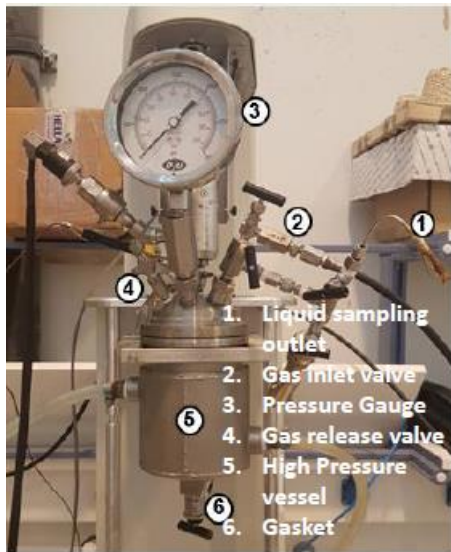
Πειράματα προσομοίωσης πλουμίου σε 1000 μ στην Ανατολική Μεσόγειο



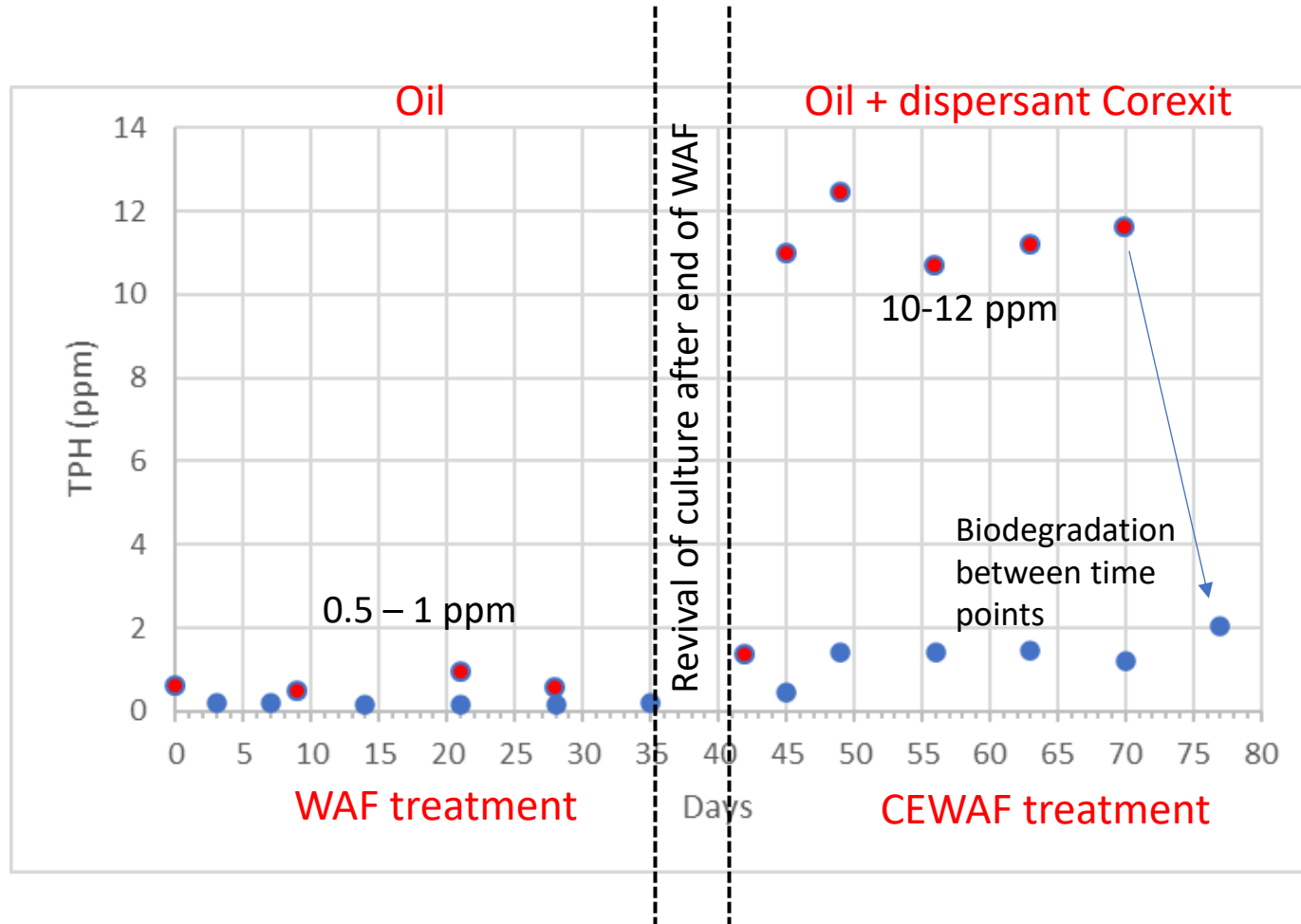
Η μικροβιακή απόκριση και ο ρυθμός αποικοδόμησης είναι χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής

Πειράματα προσομοίωσης πλουμίου σε 1000 μ στην Ανατολική Μεσόγειο

Bioreactor experiments



10 MPa

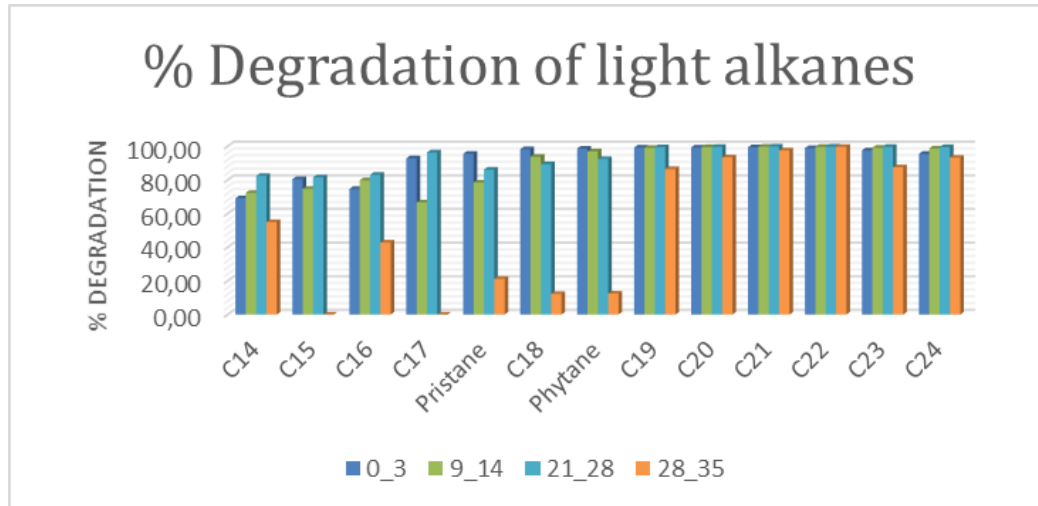


● Oil addition

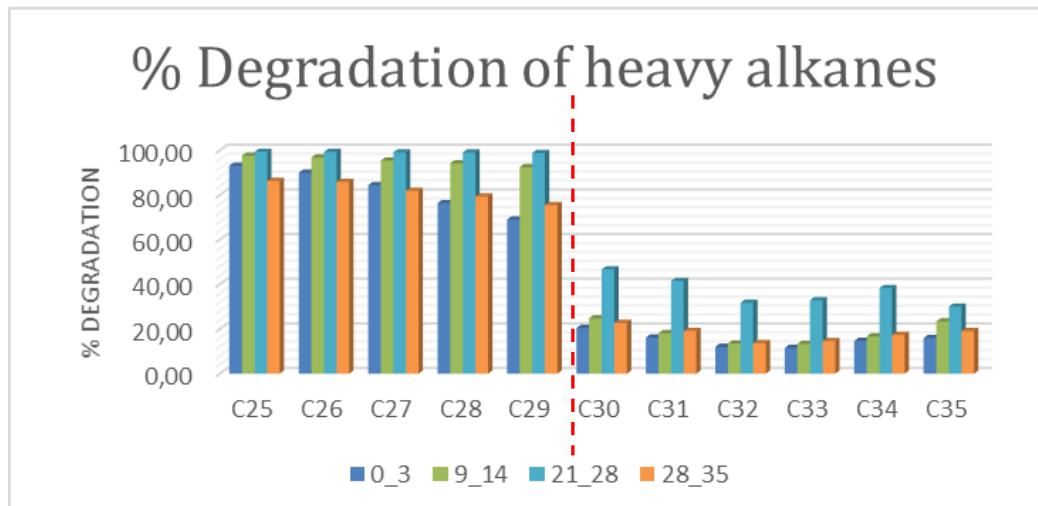
● Sampling

- ✓ 77 ημέρες
- ✓ Πρώτη φάση (0 - 35 μέρες) – χωρίς διασκορπιστικό
- ✓ Δεύτερη φάση (42 – 77 μέρες) – με διασκορπιστικό
- ✓ Ανανέωση θρεπτικών και πετρελαίου

Πειράματα προσομοίωσης πλουμίου σε 1000 μ στην Ανατολική Μεσόγειο



- ✓ Υψηλή αποικοδόμηση αλκανίων < C29 ακόμα και χωρίς διασκορπιστικό
- ✓ Αποικοδόμηση αλκανίων > C30 και πολυκυκλικών αρωματικών υδρογονανθράκων επιτυγχάνεται μόνο με διασκορπιστικό
- ✓ Θετική επίδραση του διασκορπιστικού στην βιοαποικοδόμηση



Σύγχρονες τεχνολογίες πειραματισμού στο ΙΤΕ/ΙΠΕ

Μέρα 3:

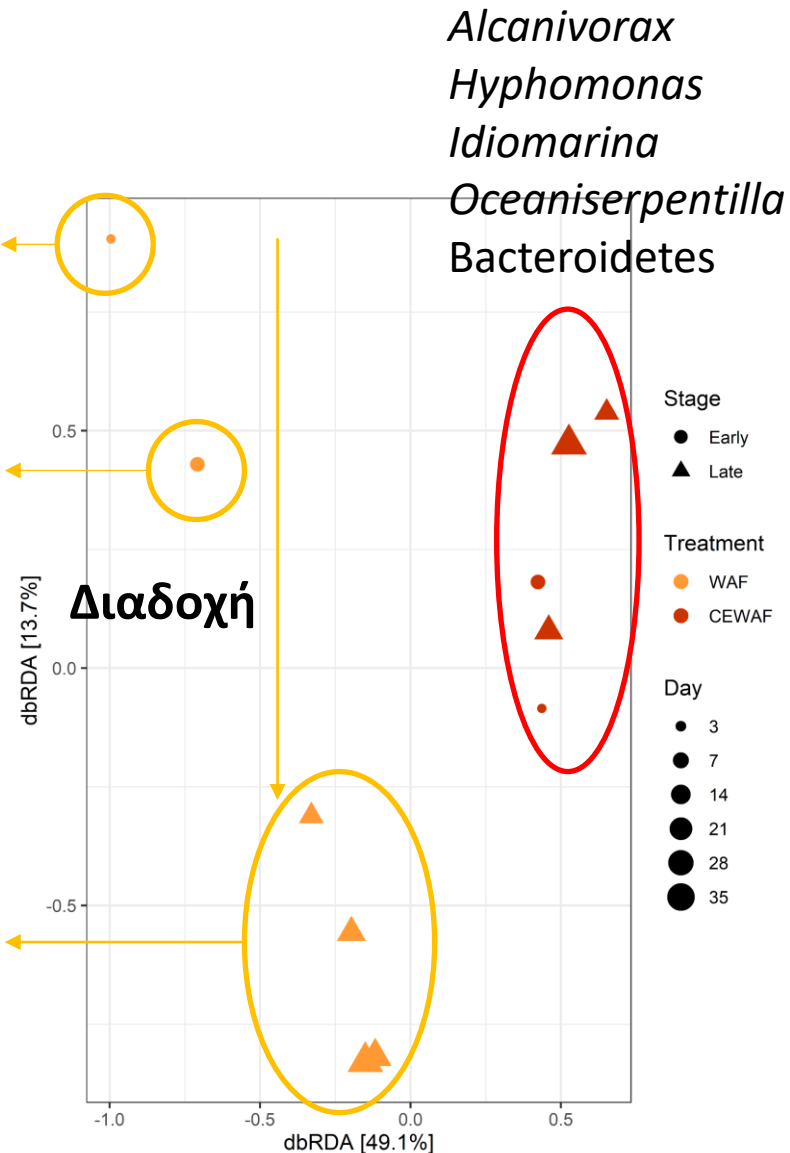
Oleispira
Thalassomonas
Thalassotalea
Ralstonia

Μέρα 7:

Alcanivorax
Methylophaga

Μέρα 14 - 35:

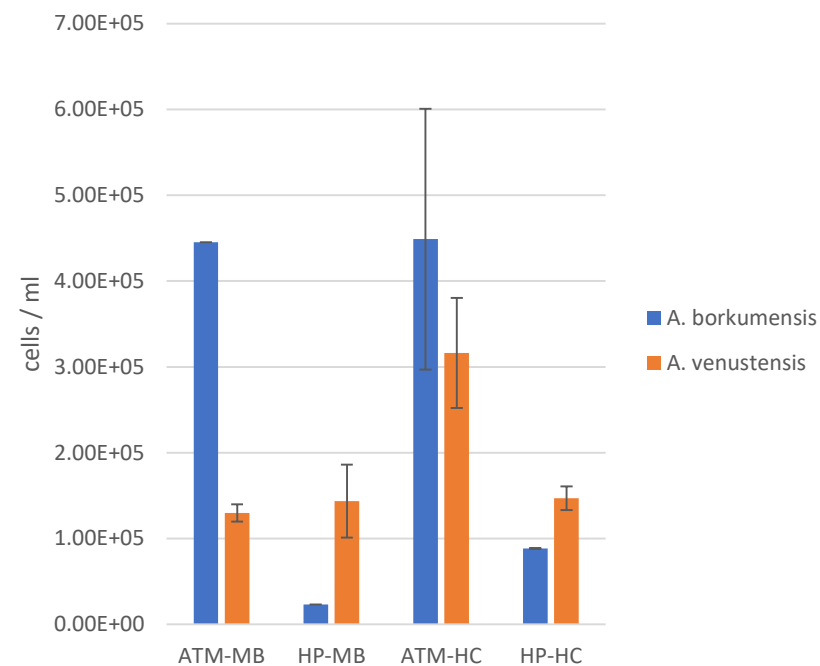
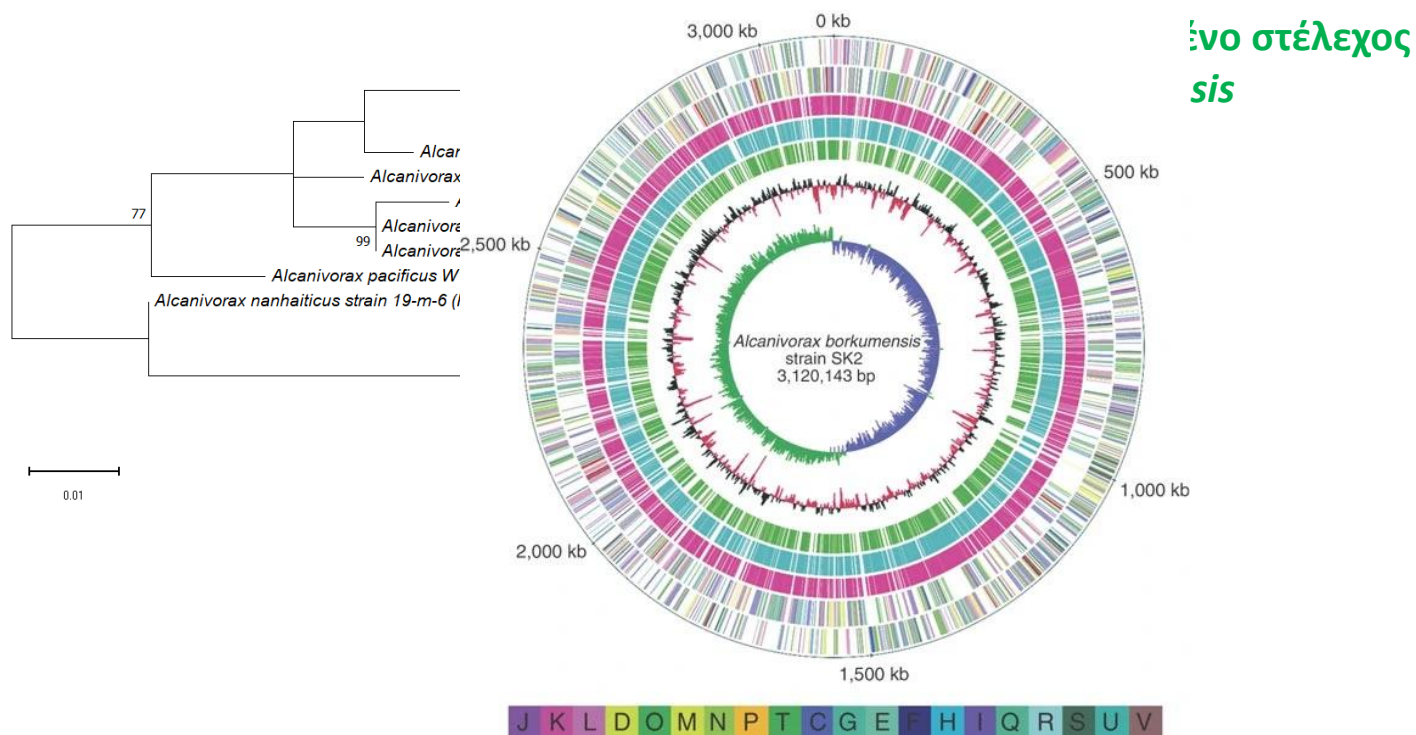
Thalassospira
Marinobacter



- ✓ Κοινά χαρακτηριστικά με τη διαδοχή στο πλούμιο DWH
- ✓ Επιτυχής προσομοίωση πλουμίου σε πειραματικές συνθήκες
- ✓ Παρατήρηση της διαδοχής και συνεργατικών σχέσεων
- ✓ Σύνδεση αποικοδόμησης PAH με συγκεκριμένα είδη βακτηρίων

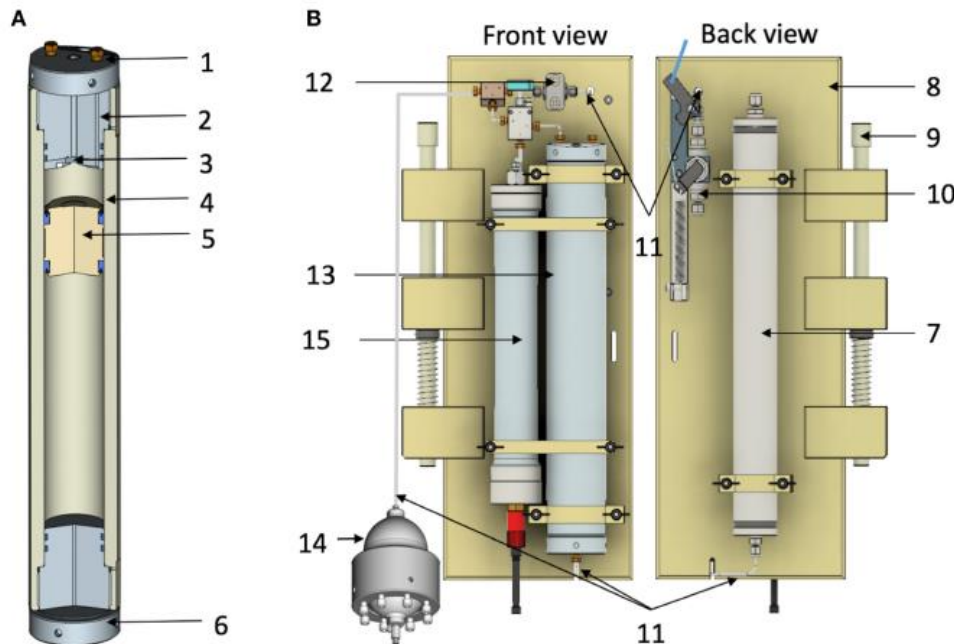
Σύγχρονες τεχνολογίες πειραματισμού στο ΙΤΕ/ΙΠΕ

- ✓ Πρώτη αναφορά σημαντικής παρουσίας του *Alcanivorax* σε βαθιά νερά
- ✓ Διαφορά σε σχέση με το πλούμιο DWH
- ✓ *Alcanivorax* σε επιφανειακά νερά – παγκόσμια γεωγραφική κατανομή
- ✓ *Alcanivorax* σε βαθιά νερά της Μεσογείου – πιεζοανθεκτικό στέλεχος
- ✓ Παραγωγή βιοεπιφανειοδραστικών ουσιών

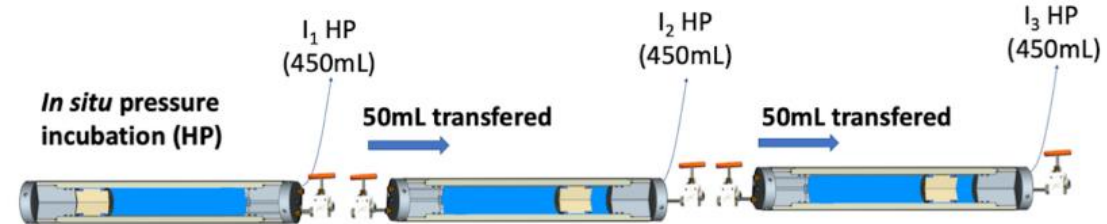


Αλληλούχιση γενώματος = ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ

Δειγματολήπτης πολύ υψηλής πίεσης 50MPa



Πειραματικά δοχεία υψηλής πίεσης



- ✓ Δυνατότητα συλλογής δείγματος νερού από 5000 μ υπό πίεση
- ✓ Κάλυψη όλης της στήλης νερού στη Μεσόγειο

- **Baseline and pre-spill planning** → **Σχεδόν αδύνατη η μελέτη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων χωρίς baseline**

Παραδείγματα baseline

- Εύρος και δυναμική της ιζηματοπόθεσης υπό φυσιολογικές συνθήκες (sediment traps)
- Επιφανειακά και βαθιά ρεύματα
- Χαρτογράφηση και χαρακτηριστικά φυσικών διαρροών
- Δυναμική πελαγικών και βενθικών βιοκοινοτήτων σε όλο το εύρος του τροφικού πλέγματος
- Ευαίσθητα οικοσυστήματα
- Δυνατότητα αυτόχθονων μικροβιακών κοινοτήτων για αποικοδόμηση

- **Προληπτική επιστήμη (anticipatory science)** →
 - Υπάρχουσα τεχνογνωσία και τεχνολογία
 - Πειραματικά δεδομένα σε πραγματικές περιβαλλοντικές συνθήκες
 - Μελέτες προσομοίωσης – μοντέλα βασισμένα σε ρεαλιστικά δεδομένα

Η Ομάδα

- Καθ. Νικόλαος Καλογεράκης
- Δρ. Ελευθερία Αντωνίου
- Δρ. Δημήτρης Μαρινάκης
- Διδακτορικοί φοιτητές
Γεωργία Χαραλάμπους
Ευσέβια Φράγκου

Χρηματοδότηση

- **HEALMED** project: Hellenic Foundation for Research and Innovation (HFRI), grant number 1874 (2018 – 2021)
- **DEEPSEA** project: Hellenic Foundation for Research and Innovation (HFRI), grant number 1510 (2018 – 2021)
- **X-PRESS** project: Hellenic Foundation for Research and Innovation (HFRI), 2021 - 2024

Ευχαριστίες

ΕΛΚΕΘΕ, πλήρωμα και επιστήμονες στις δειγματοληψίες MSFD 2019, 2020

Acknowledgements



The **Institute of Petroleum Research**- Foundation for Research and Technology – Hellas, would like to express its acknowledgements to

the **Hellenic Petroleum** (HELPE)

➤ *for a 5-Year support of its activities, through a sponsorship Agreement in place between HELPE and the IPR-FORTH.*

IPR-FORTH is Sponsored by > 
**HELLENIC
PETROLEUM**

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!