

Μηχανισμοί εξάπλωσης ρύπων

Βασικό ερώτημα:

Πού θα πάει ο ρύπος, πώς θα
συμπεριφερθεί;

Πού θα πάει ο ρύπος, πώς θα συμπεριφερθεί;

- Τι είδους απάντηση μπορεί να είναι ικανοποιητική;
- Τι πρέπει να ξέρω για να απαντήσω αυτήν την ερώτηση;

Αντικείμενο σημερινής παρουσίασης

- **Μεταφορά διαλυμένου ρύπου = 0**
επίσημος όρος για την εξάπλωση/κίνηση του ρύπου
- Τρεις μηχανισμοί που εμπλέκονται στην εξάπλωση του ρύπου στο (υπόγειο) νερό: **διάχυση, μεταγωγή, διασπορά.**
- Εξοικείωση με γραφήματα εξισώσεων μεταφοράς
 - ποια η εξαρτημένη μεταβλητή;

ΔΙΑΧΥΣΗ!



~7:30 διαρροή ρύπου,
ανομοιόμορφη κατανομή
ρύπανσης – διαφορετική
συγκέντρωση ρύπου



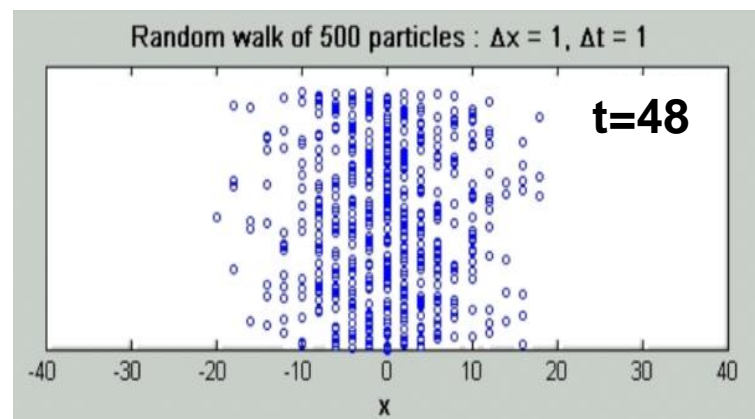
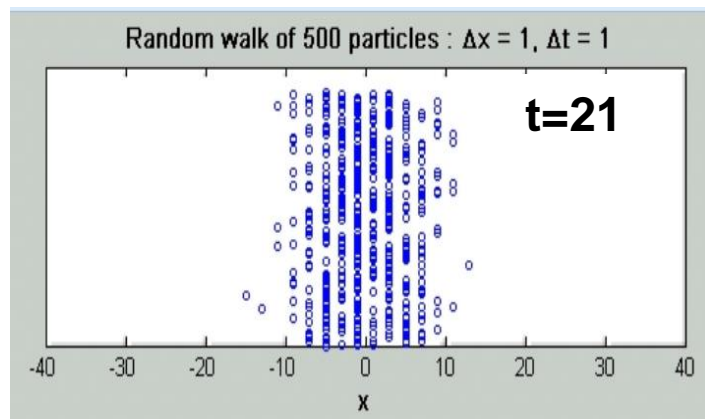
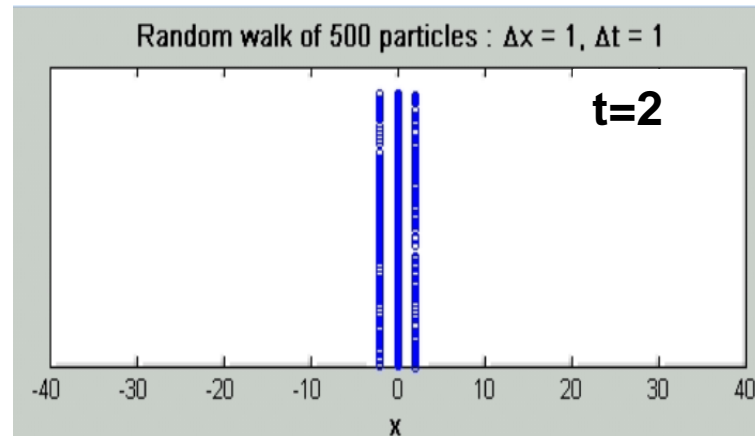
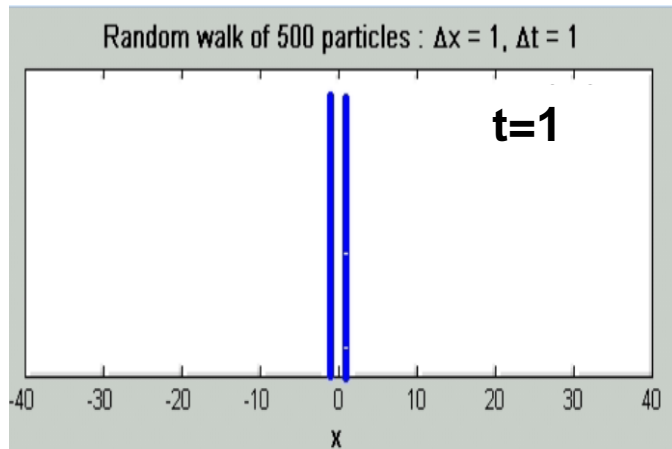
~9:05 ίδια συγκέντρωση
ρύπου παντού

Διάχυση

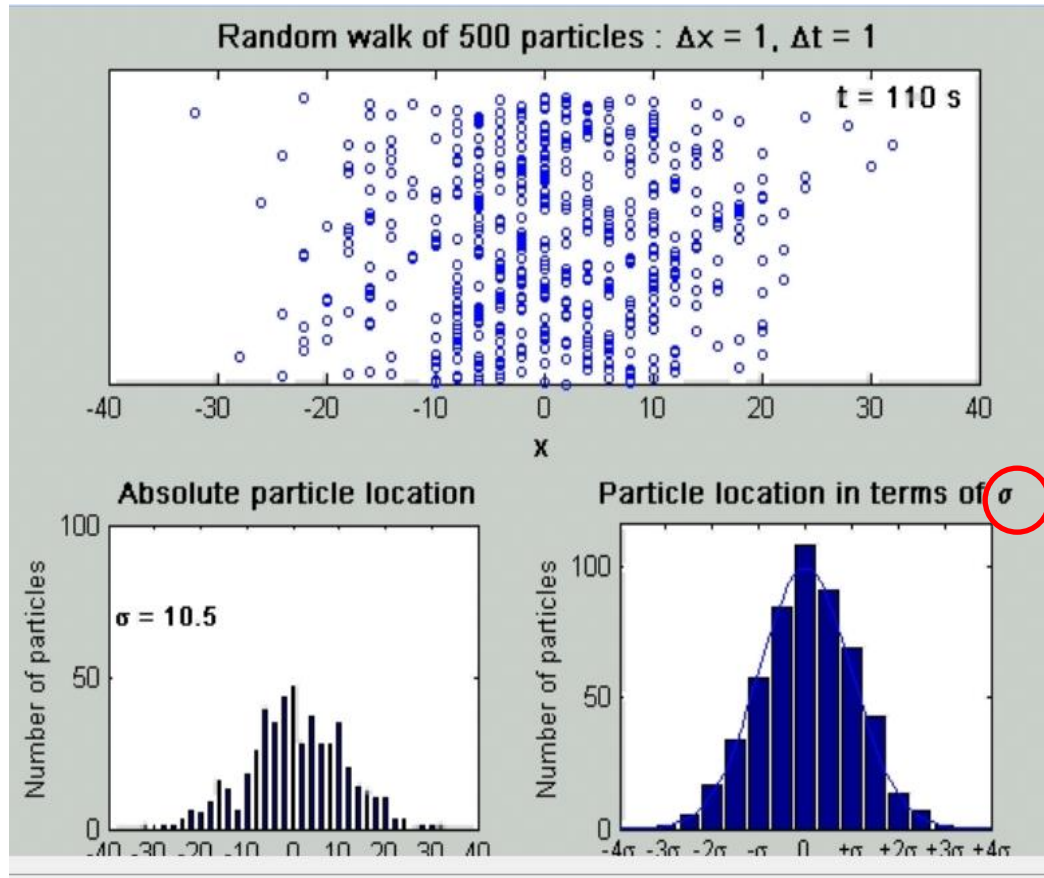
- **Μοριακό φαινόμενο**
 - Οφείλεται στην τυχαία κίνηση των μορίων του ρύπου μέσα στο διάλυμα
- **Μοντέλο** σε μία διάσταση: τυχαίος περίπατος (random walk)
 - για κάθε χρονικό βήμα Δt , ένα μόριο μπορεί να κινηθεί δεξιά ή αριστερά κατά Δx
 - για να δούμε τι κάνουν 500 μόρια
 - <https://ocw.mit.edu/courses/1-061-transport-processes-in-the-environment-fall-2008/pages/lecture-notes/1-anim/>

Τι είδαμε

Στον χρόνο $t=0$, εμφανίζονται 500 σωματίδια στο $x=0$



Τι είδαμε (συνέχεια)



σ συνάρτηση της
τετραγωνικής
ρίζας του χρόνου

Nepf, Heidi. *1.061 Transport Processes in the Environment, Fall 2008*. (MIT OpenCourseWare, <https://ocw.mit.edu/courses/1-061-transport-processes-in-the-environment-fall-2008/pages/lecture-notes/>)

Μηχανισμός διάχυσης

- Κίνηση κάθε μορίου: τυχαία
- Αθροιστικό αποτέλεσμα για πολλά μόρια: κίνηση από ψηλές συγκεντρώσεις σε χαμηλές συγκεντρώσεις

Αποτελέσματα διάχυσης

- Εξάπλωση της μάζας του ρύπου
- Αραίωση (μείωση υψηλών συγκεντρώσεων)
 - μείωση διαφορών συγκέντρωσης

Διάχυση σε ένα ποτήρι νερό (1/4)



7:27 καθαρό νερό



7:29 διαρροή ρύπου

Διάχυση σε ένα ποτήρι νερό (2/4)



7:29



7:30

Διάχυση σε ένα ποτήρι νερό (3/4)



7:35



7:45

Διάχυση σε ένα ποτήρι νερό (4/4)



8:37



9:06

Διάχυση (στον αέρα) στην καθημερινή ζωή: το άρωμα του διπλανού, η μυρωδιά του φαγητού που πάει στα άλλα δωμάτια από την κουζίνα

Ποια η φύση της ουσίας σε αέριο ή υδατικό διάλυμα;

- Προσοχή! η φυσική κατάσταση στερεό-υγρό-αέριο είναι μια αναδυόμενη ιδιότητα που δείχνει την σχέση ανάμεσα σε ομοειδή μόρια και όχι ιδιότητα του κάθε μορίου.



Νεσκαφέ: ταιριαστό μοντέλο για διάλυμα



Ελληνικός καφές: ατυχές μοντέλο για διάλυμα

ΜΕΤΑΓΩΓΗ!

όπως μας πάει το νερό που κινείται, γρήγορα...



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rafting_26.JPG

ΜΕΤΑΓΩΓΗ! (συνέχεια)

...ή αργά



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rogue_WSR_%2818947144518%29.jpg

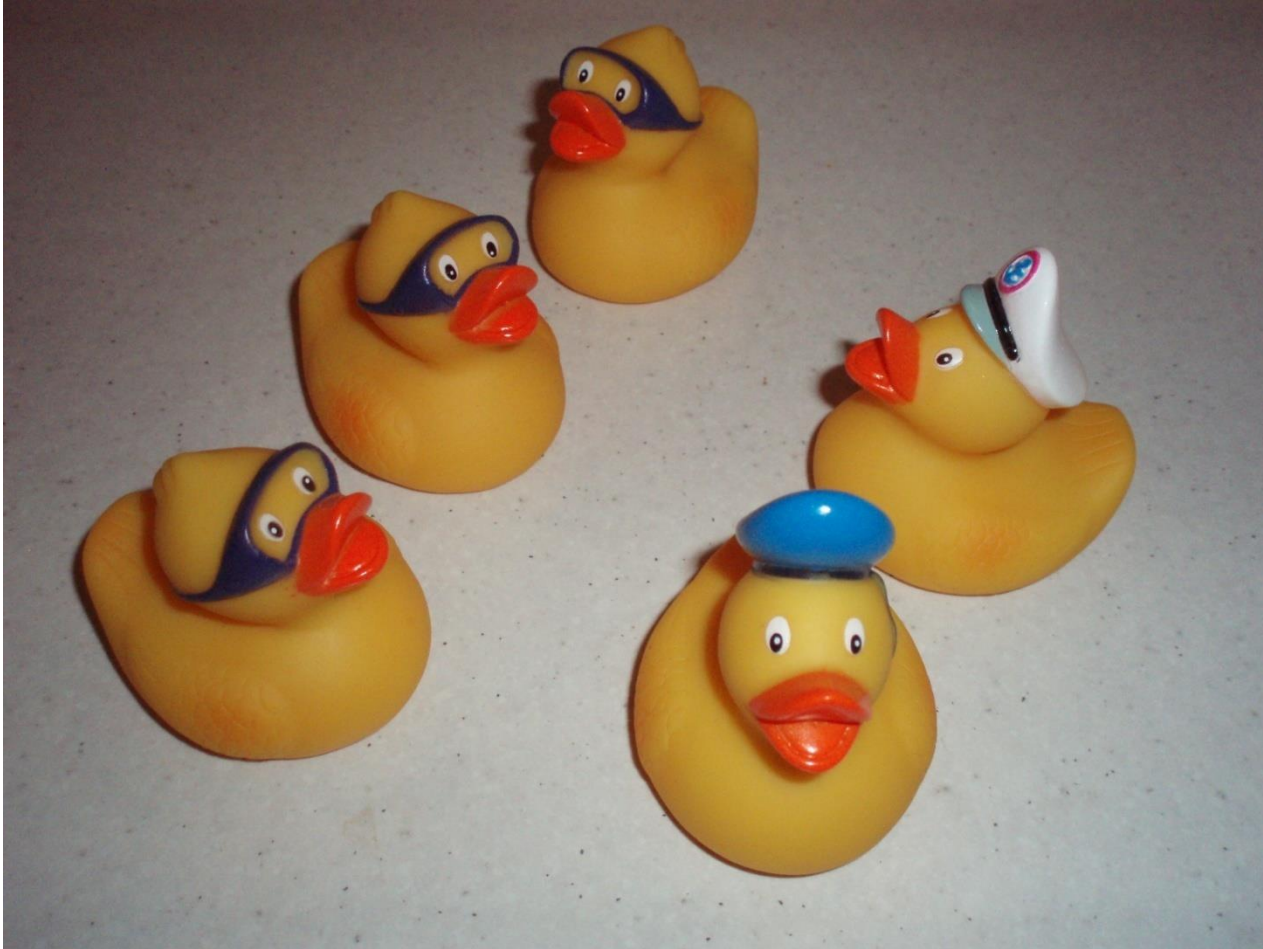
Μεταγωγή

- **Μηχανικό φαινόμενο**
 - Η κίνηση του ρύπου με την μέση ταχύτητα του νερού
- **Αναλογία** για την μεταγωγή: μια μπάλα που πέφτει στο ποτάμι και παρασέρνεται

Το αποτέλεσμα της μεταγωγής

- Ο ρύπος κινείται στην κατεύθυνση της κίνησης του υπόγειου νερού
- Δεν έχουμε αραίωση, ο ρύπος κινείται ως «πακέτο», ως «στερεό σώμα», αν η ταχύτητα έχει παντού την ίδια τιμή και την ίδια φορά
 - σαν να έχω βάλει τα μόρια του ρύπου πάνω σε μια σχεδία
- Προσοχή! πείραμα μόνο με μεταγωγή στην πράξη δεν μπορεί να γίνει

ΔΙΑΣΠΟΡΑ!



Αναζητήστε εικόνες για **rubber duck derby**

Πολλά παπάκια ξεκινούν μαζί...



https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Rubber_duck_races#/media/File:The_start_of_The_Manchester_Duck_Race_2014_at_Spinningfields,_Manchester_in_aid_of_children%27s_charity_Brainwave.jpg

... αλλά τι γίνεται στον δρόμο;



http://www.greenvilledailyphoto.com/wp-content/uploads/2010/05/20100502_ducks_4_900x600.jpg

Διασπορά

- **Μηχανικό φαινόμενο**

- Πρόκειται για μεταγωγή σε μικροκλίμακα, που παρακολουθεί τις διαφορές της ταχύτητας του νερού από σημείο σε σημείο (πλήρης όρος: μηχανική διασπορά)

- **Αναλογία**

- Πολλά σωματίδια πέφτουν την ίδια στιγμή σε ένα ποτάμι

Το αποτέλεσμα της διασποράς

- Ενώ το κέντρο βάρους της μάζας του ρύπου κινείται με την μέση ταχύτητα του νερού, κάποια μόρια κινούνται πιο αργά, άλλα πιο γρήγορα
- Όσο περνάει ο χρόνος, οι διαφορές μεγαλώνουν (όπως και στη διάχυση)
- Ίδια μάζα σε μεγαλύτερη έκταση → αραίωση (όπως και στη διάχυση)
- Λόγω της ομοιότητας των αποτελεσμάτων της διάχυσης και της διασποράς, στις εξισώσεις μεταφοράς περιγράφονται με έναν κοινό όρο

Ερώτηση κατανόησης No 1



11:36 διαρροή ρύπου



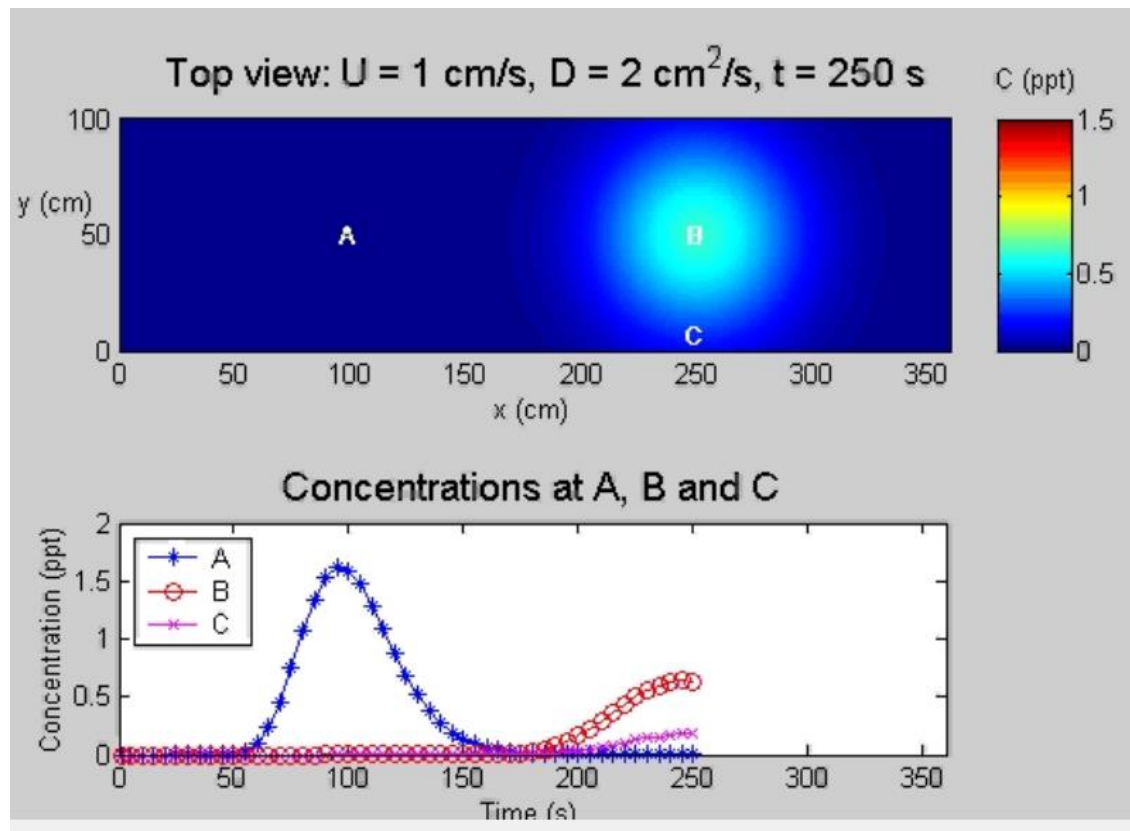
11:36+ ομοιόμορφη
συγκέντρωση “σε χρόνο dt ”!

♪ Τι το θες το κουταλάκι... ♪

Προσοχή! Σημαντική διαφορά ανάμεσα στην κίνηση του νερού που ανακατεύουμε με κουταλάκι στο ποτήρι και στην κίνηση του υπόγειου νερού το οποίο συνήθως κινείται πολύ αργά και η ροή του είναι στρωτή.

Αποτελέσματα τριών μηχανισμών μαζί: στιγμαιαία έκλυση μάζας στην πηγή

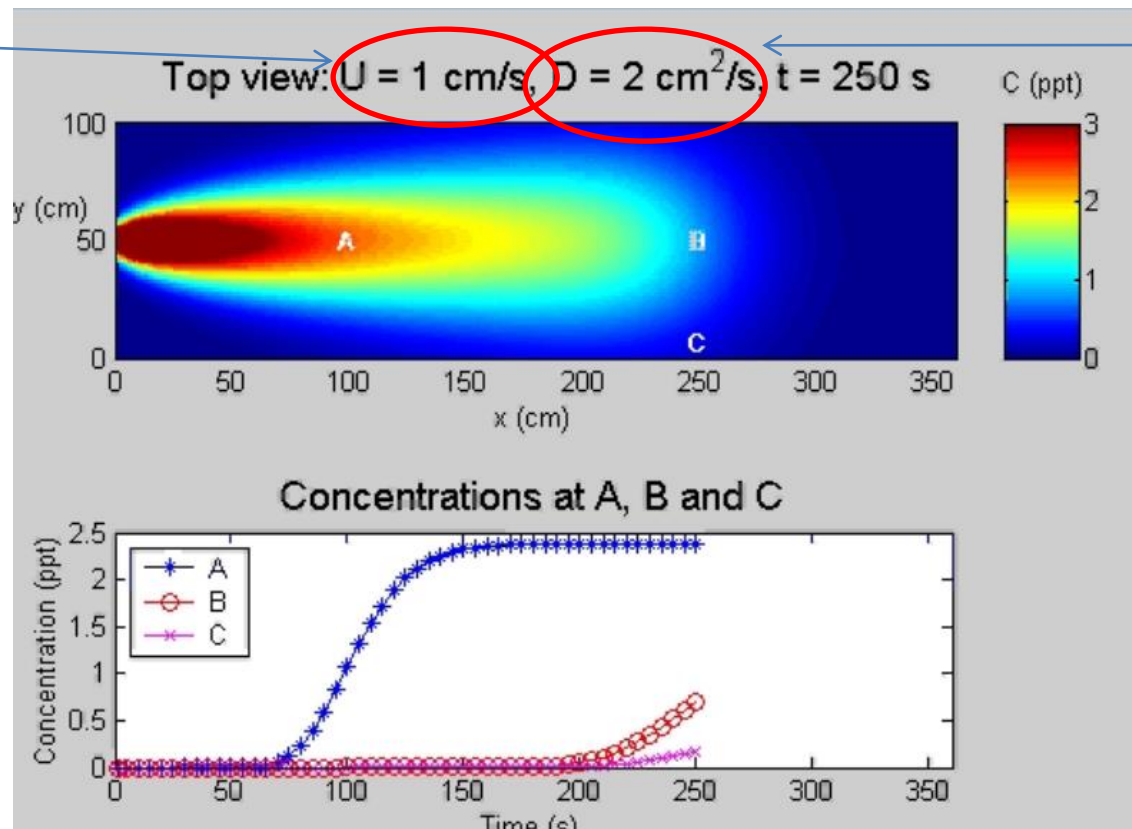
- <https://ocw.mit.edu/courses/1-061-transport-processes-in-the-environment-fall-2008/pages/lecture-notes/5-anim/>



Αποτελέσματα τριών μηχανισμών μαζί: πηγή σταθερής συγκέντρωσης

- <https://ocw.mit.edu/courses/1-061-transport-processes-in-the-environment-fall-2008/pages/lecture-notes/6-anim/>

σταθερή
ταχύτητα



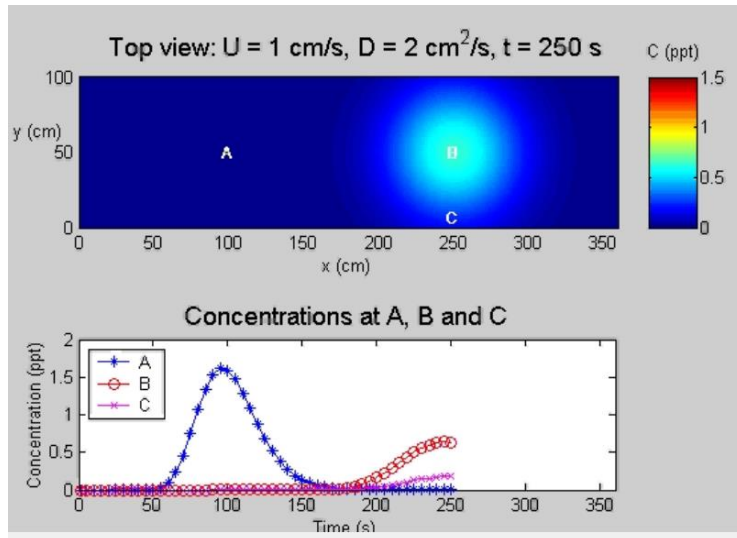
σταθερός
συντελεστής
διάχυσης-
διασποράς

Ερώτηση κατανόησης Νο 2

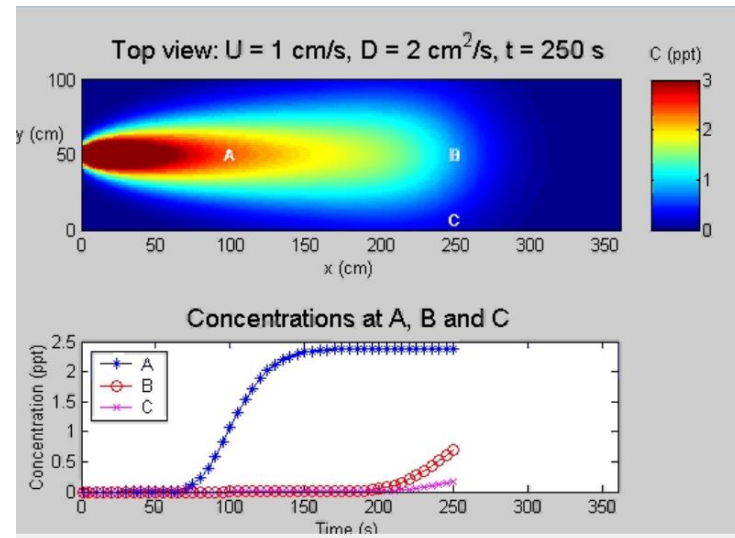
- Νοητικό πείραμα: πώς θα ήταν η εικόνα του βίντεο της εξάπλωσης του ρύπου στην προηγούμενη διαφάνεια αν δεν είχαμε διάχυση-διασπορά; Συμπληρώστε το γράφημα συγκέντρωσης-χρόνου για κάθε ένα από τα σημεία A, B και C.



Ποια θα επιλέγατε να περιγράψετε ως την πιο σημαντική διαφορά στο A;



στιγμαία έκλυση
μάζας στην πηγή
(παράδειγμα;)

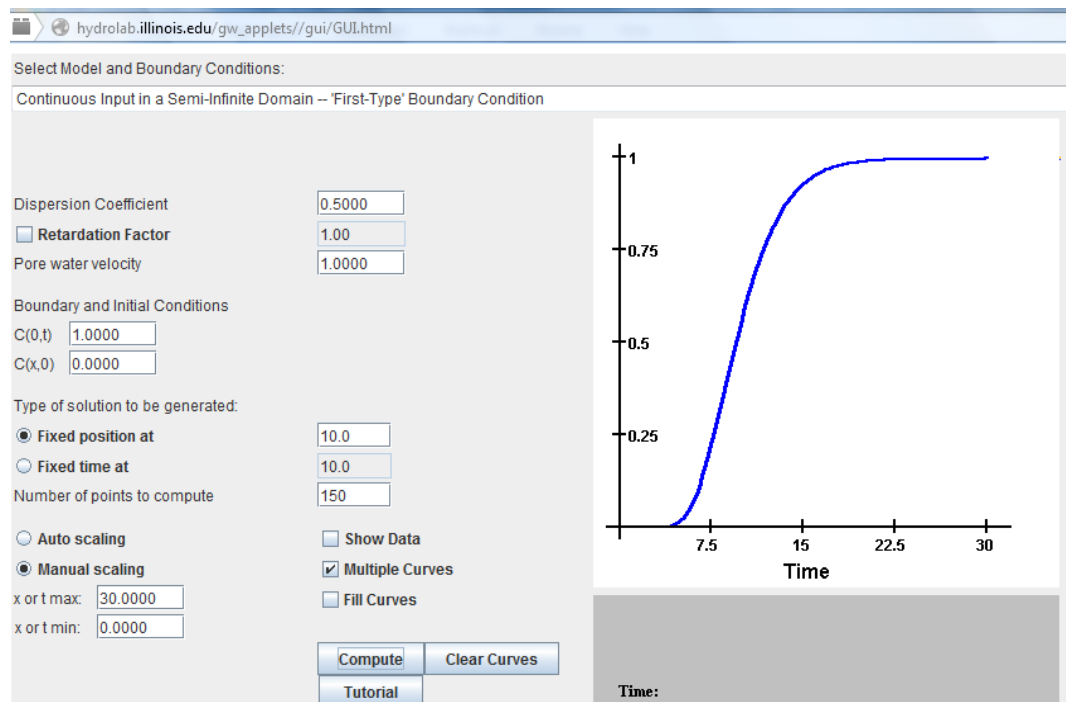


πηγή σταθερής
συγκέντρωσης
(παράδειγμα;)

Σχετική συμβολή φαινομένων, πηγή σταθερής συγκέντρωσης (1/4)

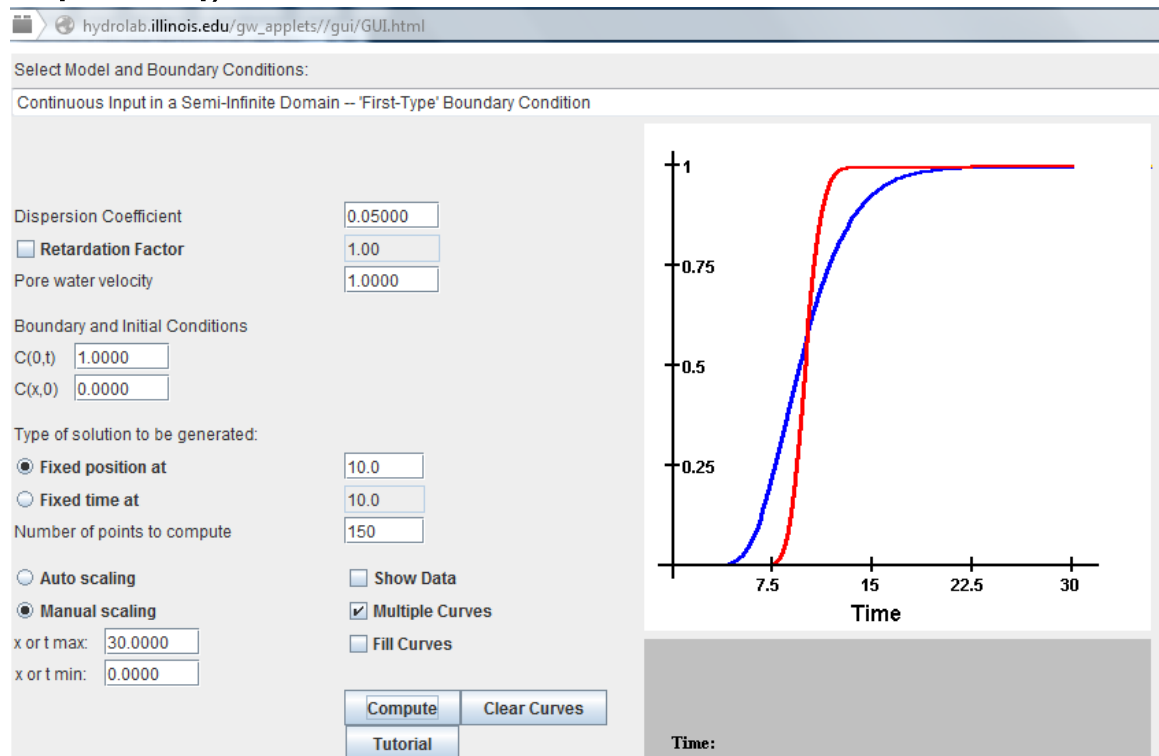
http://hydrolab.illinois.edu/gw_applets/

Ξεκινώ με τις default τιμές (μπλε καμπύλη), βλέπω τι γίνεται στον χρόνο σε συγκεκριμένη απόσταση από την πηγή



Σχετική συμβολή φαινομένων, πηγή σταθερής συγκέντρωσης (2/4)

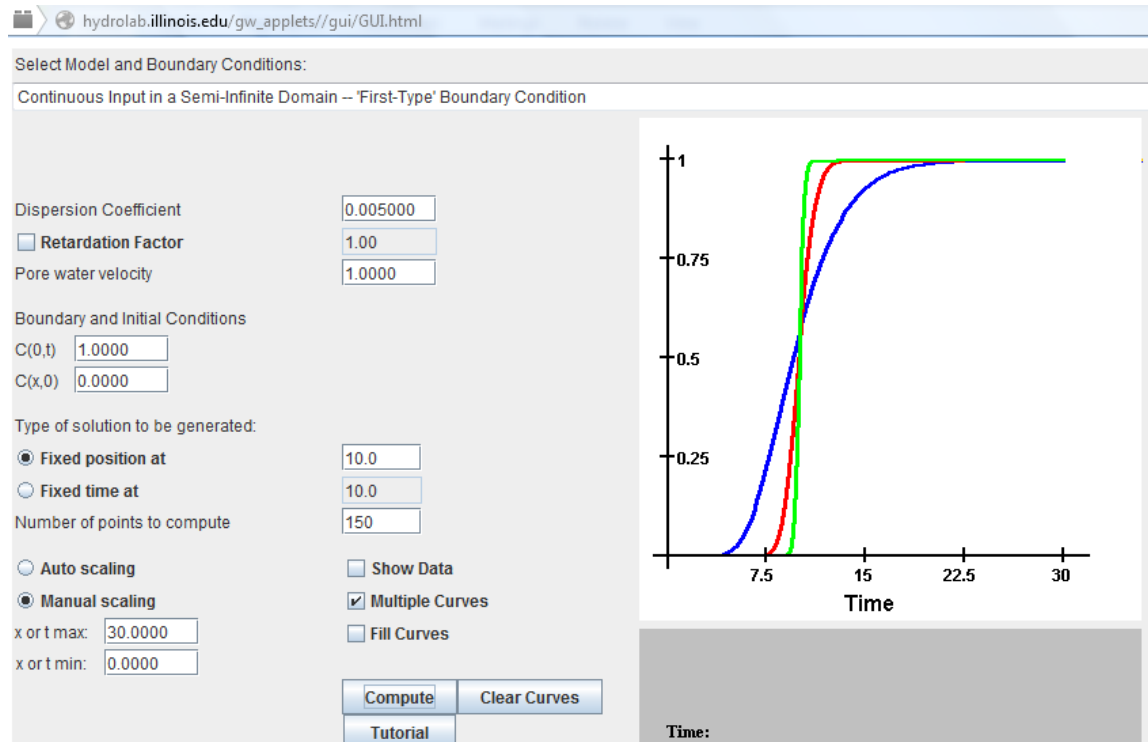
μειώνω τον συντελεστή διάχυσης-διασποράς κατά 10 φορές (κόκκινη καμπύλη)...



http://hydrolab.illinois.edu/gw_applets/

Σχετική συμβολή φαινομένων, πηγή σταθερής συγκέντρωσης (3/4)

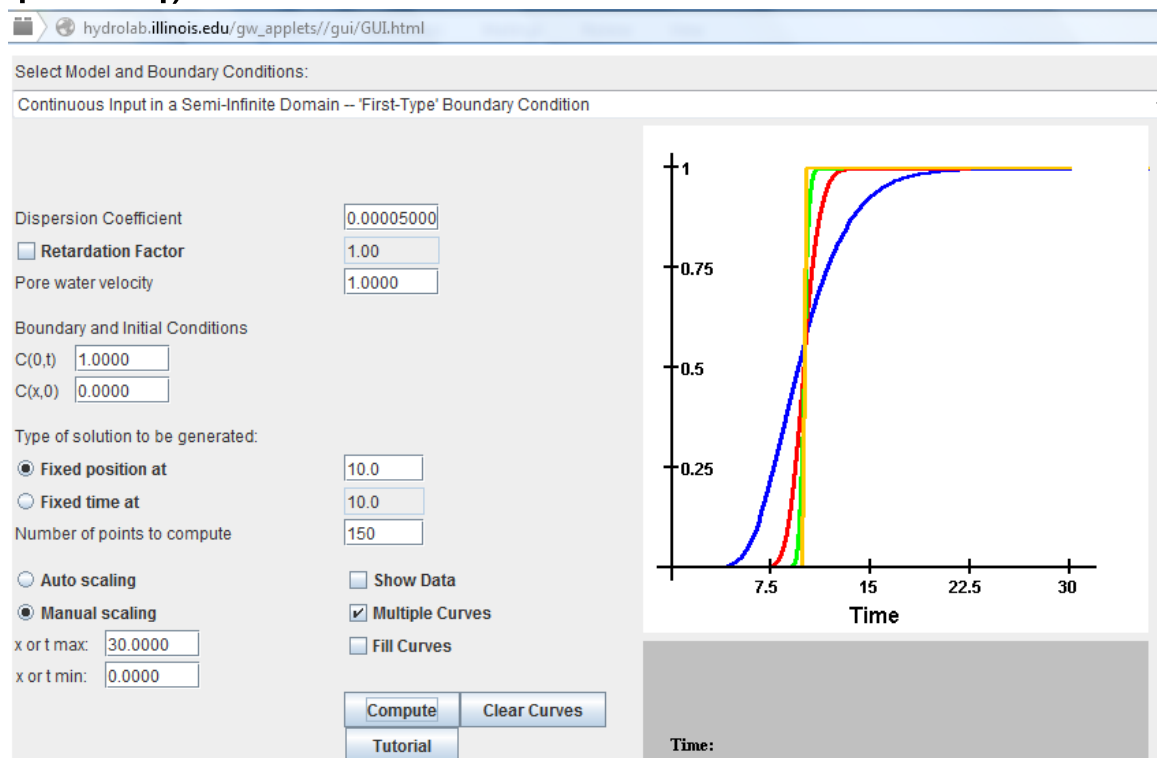
...μειώνω τον συντελεστή διάχυσης-διασποράς άλλες 10 φορές (πράσινη καμπύλη)...



http://hydrolab.illinois.edu/gw_applets/

Σχετική συμβολή φαινομένων, πηγή σταθερής συγκέντρωσης (4/4)

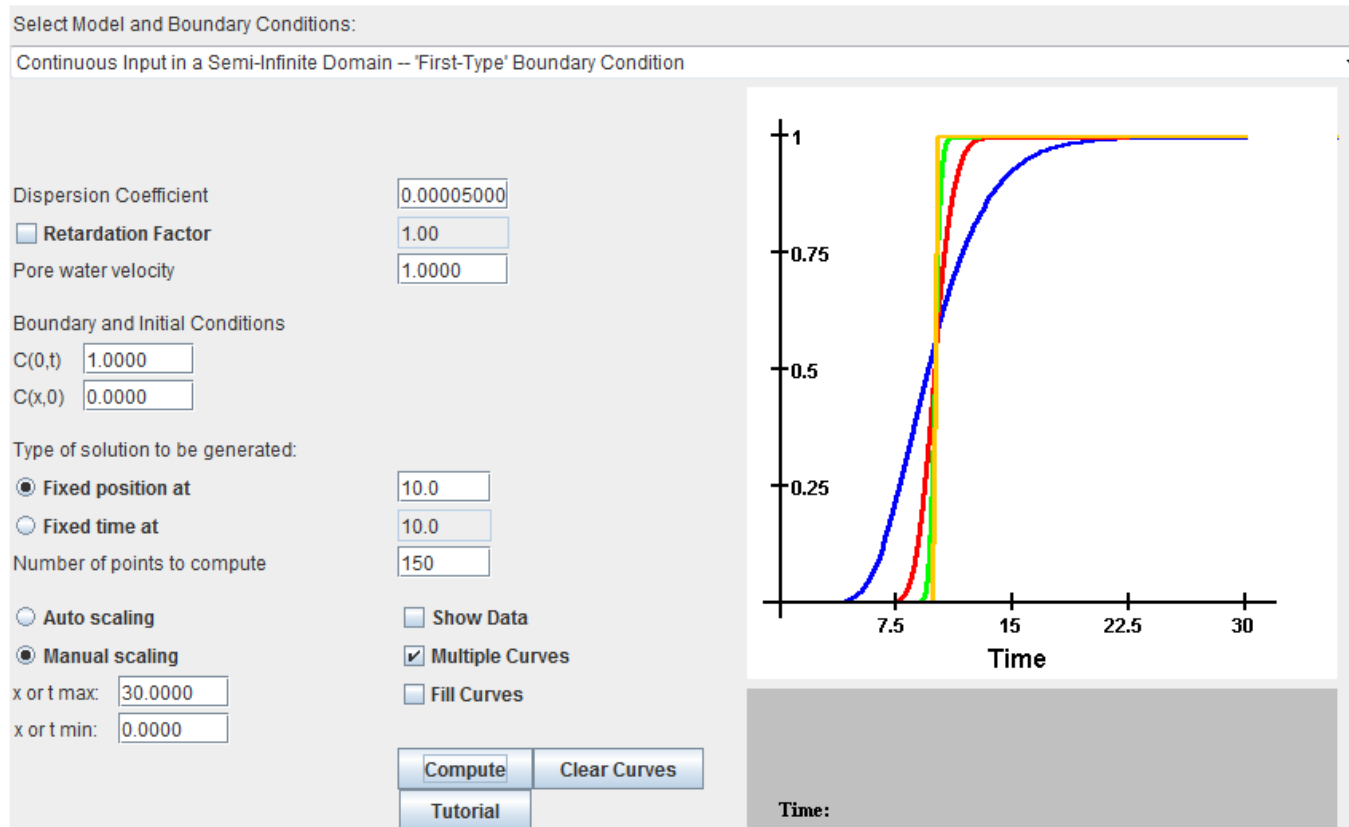
...μειώνω τον συντελεστή διάχυσης-διασποράς ακόμα 100 φορές (κίτρινη καμπύλη)



http://hydrolab.illinois.edu/gw_applets/

Τι κατάφερα με την κίτρινη καμπύλη;

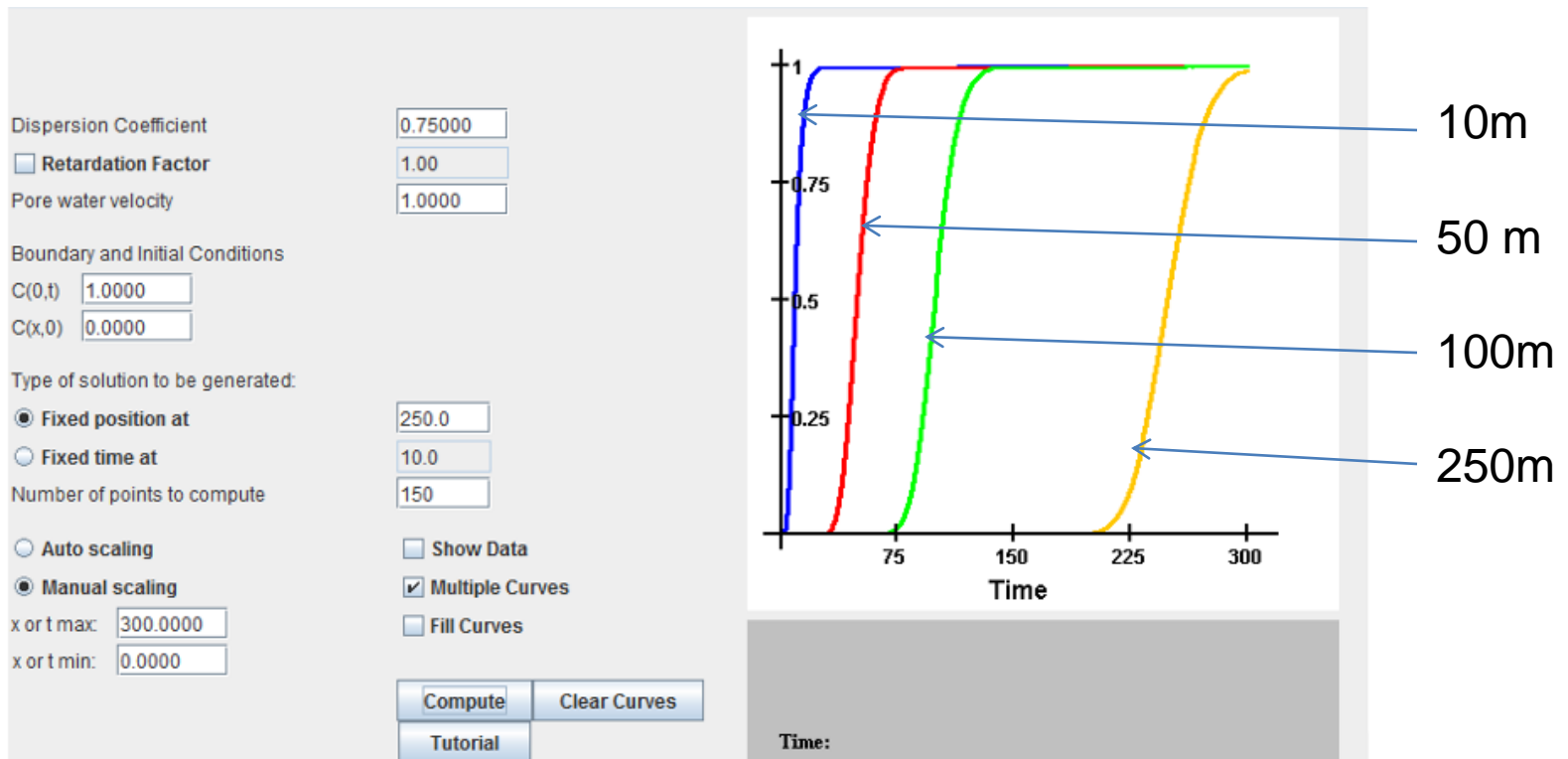
http://hydrolab.illinois.edu/gw_applets/



Να κάνω ένα αριθμητικό πείραμα μεταφοράς με σχεδόν μοναδικό μηχανισμό μεταφοράς τη μεταγωγή!

Επίδραση χρόνου στην εξέλιξη του φαινομένου

καμπύλες συγκέντρωσης σε διαφορετικές αποστάσεις από την πηγή



Συμπεράσματα για την επίδραση της ροής στην μεταφορά ρύπων

- Το μέτωπο του ρύπου (πηγή σταθερής συγκέντρωσης) ή το κέντρο βάρους της μάζας του ρύπου (στιγμιαία έκλυση μάζας & πηγή πεπερασμένης διάρκειας) θα κινηθεί με τη μέση ταχύτητα κίνησης του νερού = μεταγωγή
- Η μεταγωγή δίνει μια ικανοποιητική προσέγγιση της μεταφοράς:
 - όταν η συμβολή της διάχυσης-διασποράς είναι μικρή
 - όταν το φαινόμενο της μεταφοράς που ενδιαφέρει αφορά μικρές αποστάσεις - μικρούς χρόνους

Πηγές σχημάτων

Σημείωση: το μη πρωτογενές υλικό αυτής της παρουσίασης ή έχει αναρτηθεί στο διαδίκτυο με άδεια Creative Commons, ή είναι διαθέσιμο στο διαδίκτυο (πχ πρακτική των ΗΠΑ για μελέτες κλπ δημόσιων οργανισμών) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με κατάλληλη αναφορά (attribution), ή συνοδεύεται από άδεια από τον εκδότη.

Διαφάνειες 6, 7, 24, 25, 27. Nepf, Heidi. 1.061 Transport Processes in the Environment, Fall 2008. (MIT OpenCourseWare: Massachusetts Institute of Technology), <https://ocw.mit.edu/courses/1-061-transport-processes-in-the-environment-fall-2008/pages/lecture-notes/> (Ημερομηνία πρόσβασης 3 Αυγ. 2022). License: Creative Commons BY-NC-SA 4.0

Διαφάνεια 14. Waynestock (Own work), License: Creative Commons BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rafting_26.JPG

Διαφάνεια 15. Bureau of Land Management (Rogue WSR), License: Creative Commons BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rogue_WSR_%2818947144518%29.jpg

Διαφάνεια 19. Billh35 (Own work), License: Creative Commons BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Rubber_duck_races#/media/File:The_start_of_The_Manchester_Duck_Race_2014_at_Spinningfields,_Manchester_in_aid_of_children%27s_charity_Brainwave.jpg

Διαφάνεια 20. Χρησιμοποιείται με άδεια από τον φωτογράφο Denton Harryman, http://www.greenvilledailyphoto.com/wp-content/uploads/2010/05/20100502_ducks_4_900x600.jpg

Διαφάνειες 28-33. Αποτελέσματα της εκπαιδευτικής εφαρμογής των Valocchi, A. J., C. J. Werth, J. J. Decker, G. Hammond, P. Zhou & M. Hafiz, 2014, Interactive Models for Groundwater Flow and Solute Transport, http://hydrolab.illinois.edu/gw_applets//?q=gw_applets/ (Ημερομηνία πρόσβασης 3 Αυγ. 2022).