

# Η πολυπλοκότητα της Ατμόσφαιρας και οι δυσκολίες στην Πρόγνωση του Καιρού



**ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ**

**Δρ Γ. Σακελλαρίδης**

**Υποδιοικητής ΕΜΥ**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

- Περιγραφή της πολυπλοκότητας που εμφανίζεται στο σύστημα των εξισώσεων κίνησης της ατμόσφαιρας και περιληπτική παρουσίαση ενός μοντέλου πρόγνωσης του καιρού.
- Προβλήματα που εισάγονται στα μοντέλα πρόγνωσης από το αραιό δίκτυο παρατήρησης του καιρού.
- Προβλήματα που εισάγονται στα μοντέλα πρόγνωσης του καιρού από την λύση των εξισώσεων σε ένα διακριτό πλέγμα σημείων.
- Η πρόοδος της επιστήμης στην πρόγνωση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων μεσοπρόθεσμων, μηνιαίων και εποχιακών προγνώσεων.



## Πρώτο πρόβλημα:

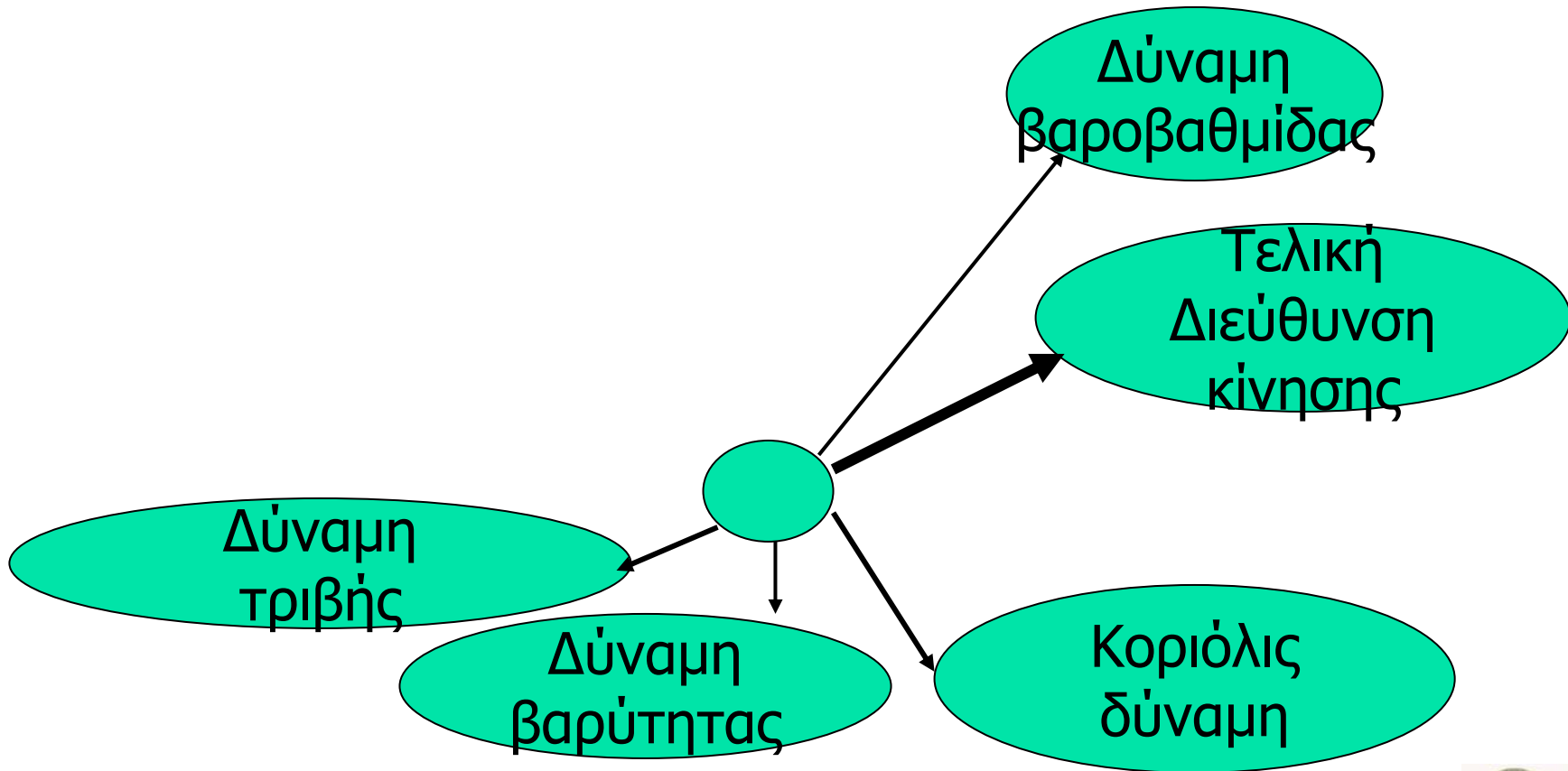
Η πολυπλοκότητα του συστήματος των διαφορικών εξισώσεων που καθορίζουν την τρισδιάστατη ροή της ατμόσφαιρας

1. Η κίνηση ενός στοιχειώδους όγκου αέρα δεν είναι τυχαία και ακολουθεί τον 2ον Νόμο του Νεύτωνα, όπως εκφράζεται με την παρακάτω εξίσωση που εφαρμόζεται σε ένα περιστρεφόμενο σύστημα.

$$\frac{D \bar{V}}{Dt} + 2 ( \bar{\Omega} \times \bar{V} ) = - \frac{1}{\rho} \bar{\nabla} P + \bar{F} + \bar{G}$$
$$\bar{G} = \bar{G}' - \bar{\Omega} \times ( \bar{\Omega} \times \bar{R} )$$



# Δυνάμεις που ενεργούν σε ένα στοιχειώδη όγκο του αέρα



- Εξίσωση συνέχειας

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \overline{\nabla} \cdot (\rho \overline{V}) = 0$$

- Καταστατική εξίσωση

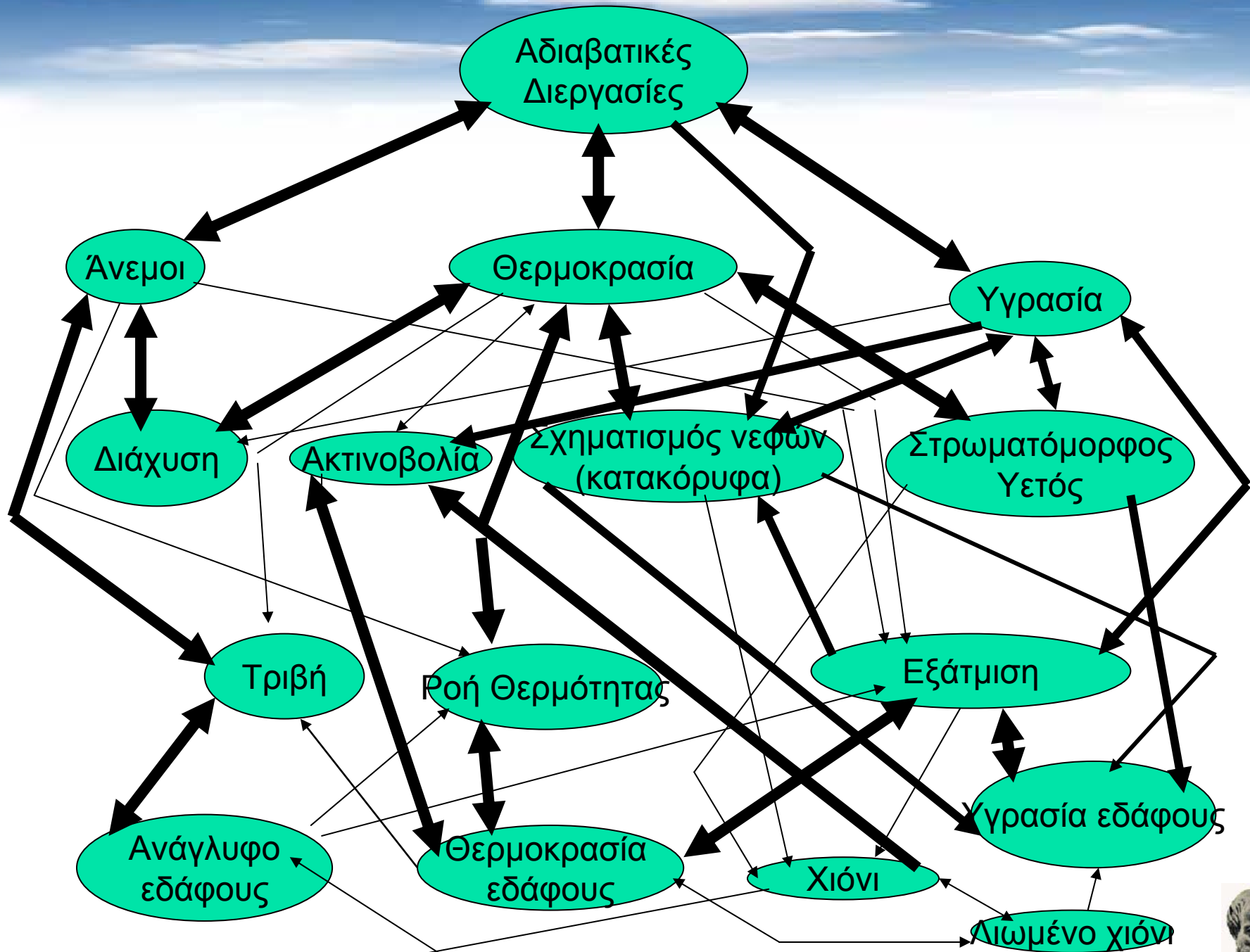
$$P = \rho RT$$

- Πρώτος θερμοδυναμικό αξίωμα

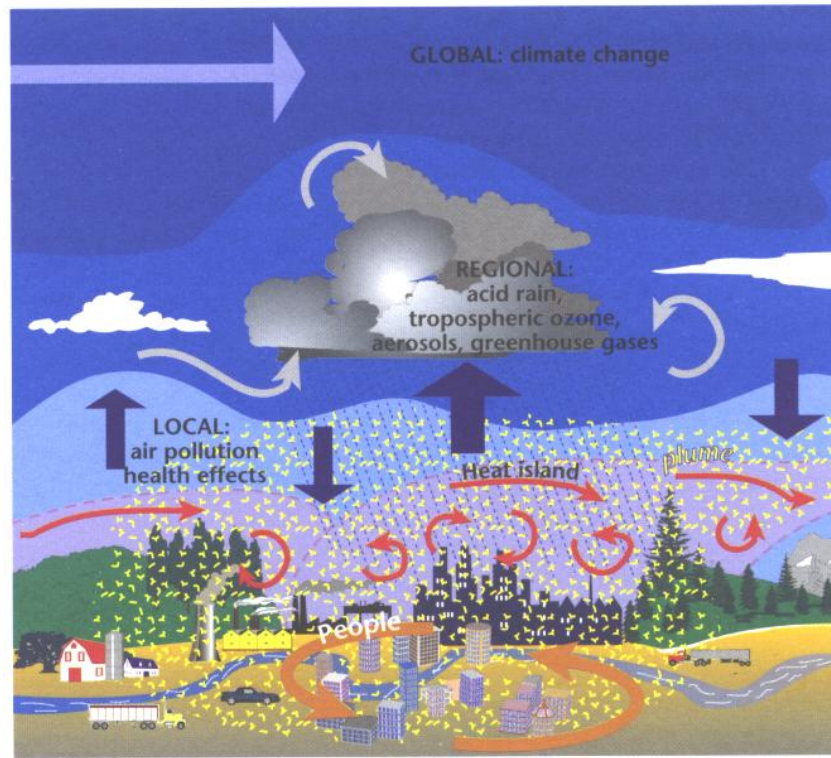
$$\frac{\delta Q}{\delta t} = c_v \frac{dT}{dt} + p \frac{d\alpha}{dt}$$

- Εξίσωση συνέχειας υγρασίας

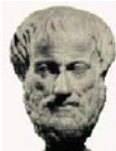
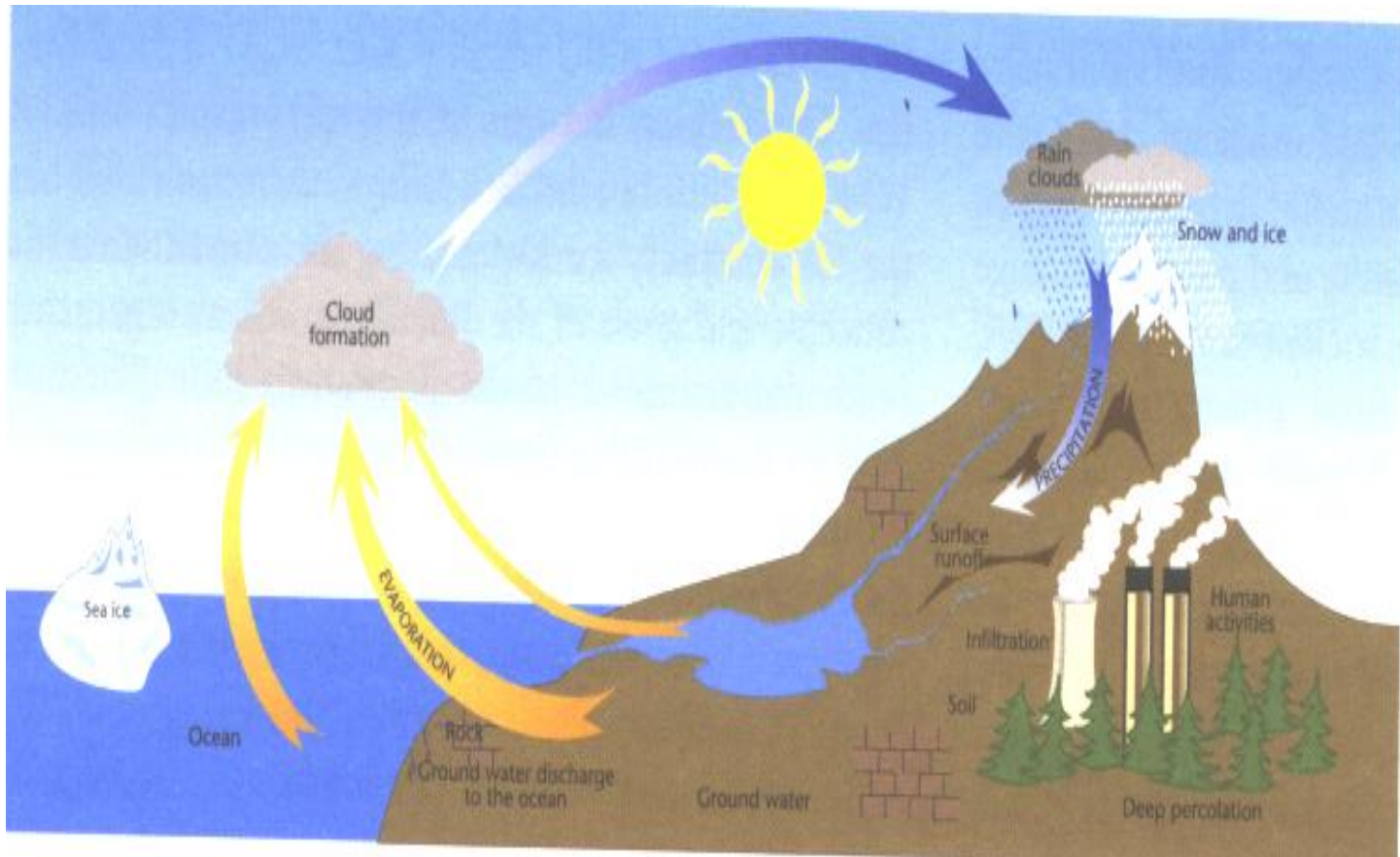




- Η πολυπλοκότητα της ατμοσφαιρικής ροής στο στρώμα τριβής

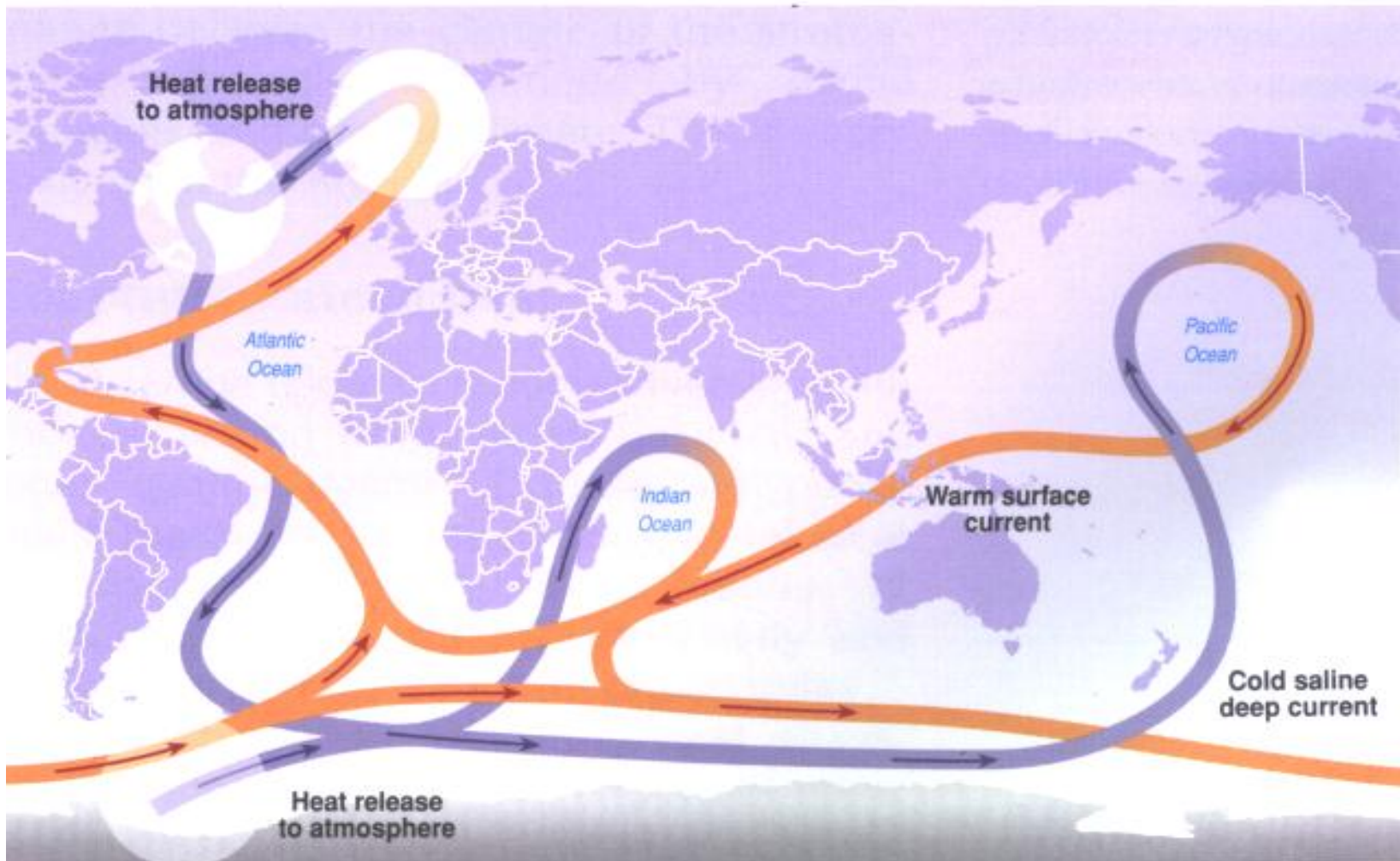


- Η πολυπλοκότητα στις αλλαγές της φάσης του νερού και ο κύκλος αυτού.

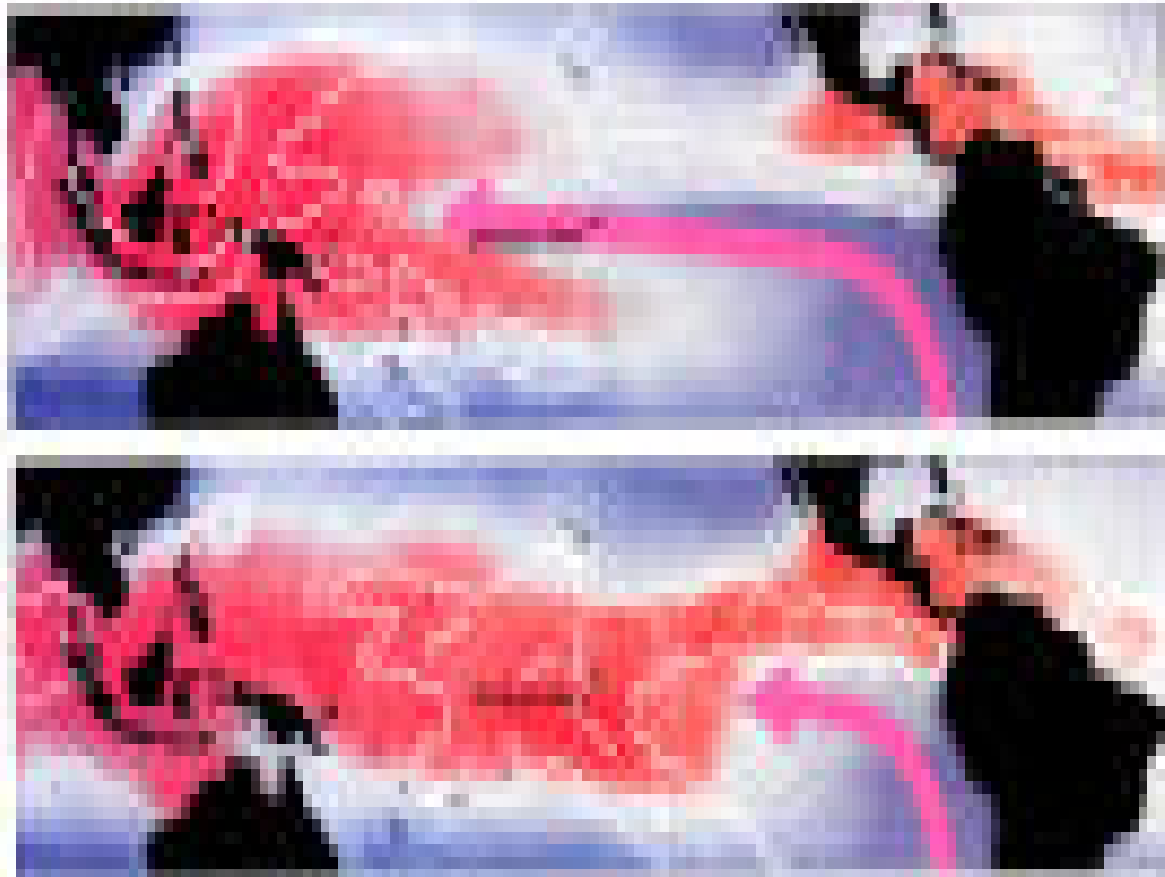




## Η πολυπλοκότητα της αλληλοεπίδρασης ατμόσφαιρας και θάλασσας.



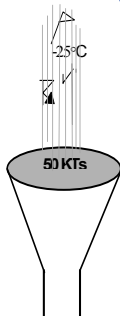
## El Nino and La Nina



# Τι είναι αριθμητικό μοντέλο καιρού



Εισαγωγή  
δεδομένων



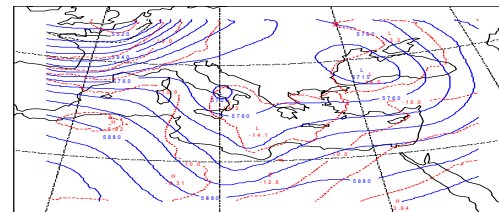
$$\frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial \rho}{\partial \eta} \right) + \nabla_{\eta} \left( \frac{\partial \rho}{\partial \eta} \mathbf{V} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left( \frac{\partial \rho}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial \rho}{\partial \eta} (\mathbf{f} \times \mathbf{V}) + \nabla_{\eta} \Phi + \frac{R_d T}{p} \nabla_{\eta} p + F_{FR} = 0$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \frac{kT\omega}{p} + T' + \frac{g}{C} \frac{\partial R}{\partial \eta} / \frac{\partial p}{\partial \eta} = 0$$

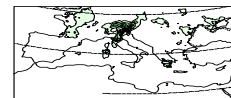
$$\frac{\partial \phi}{\partial \eta} = - \frac{R_d T}{p} \frac{\partial p}{\partial \eta}$$

Οι εξισώσεις του  
Μοντέλου πρόγνωσης

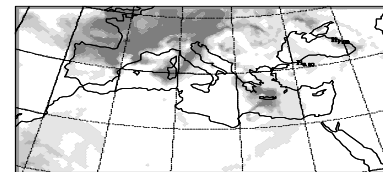
χάρτης 500 hPa



χάρτης νετού



χάρτης νεφοκάλυψης



ΕΞΟΔΟΣ  
ΜΟΝΤΕΛΟΥ



## Δεύτερο πρόβλημα : Αραιό Δίκτυο Παρατήρησης

- Το αραιό δίκτυο της παρατήρησης του καιρού προκαλεί εισαγωγή εσφαλμένων στοιχείων στα μοντέλα πρόγνωσης, με αποτέλεσμα η λύση του συστήματος των εξισώσεων του μοντέλου να αποκλίνει από την πραγματική εξέλιξη του καιρού.



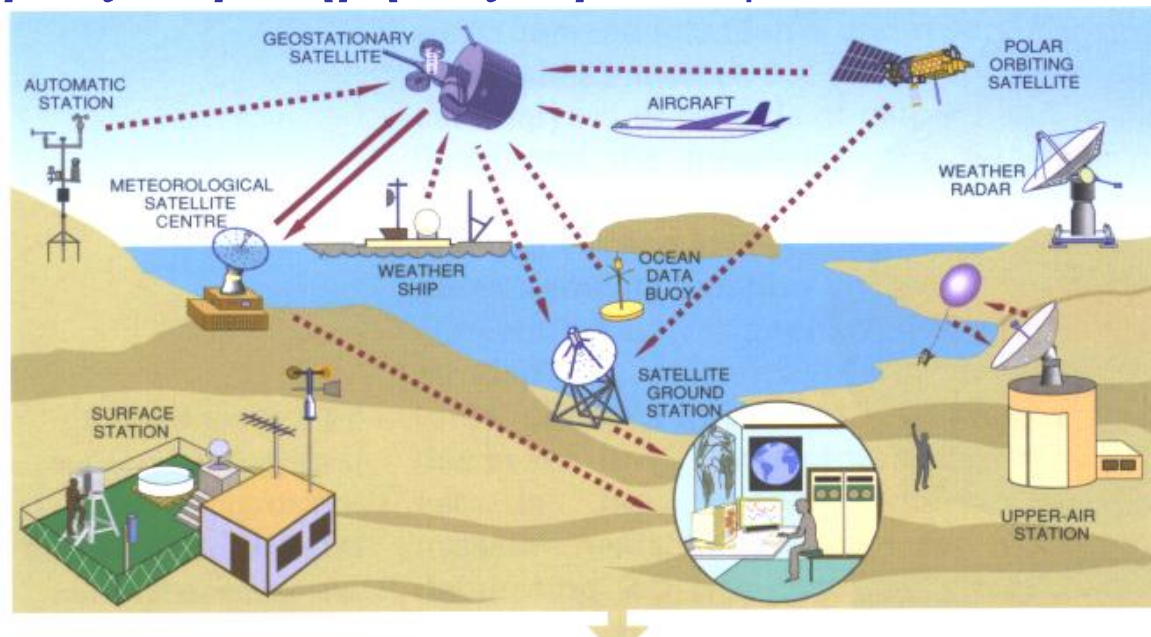
**Υπό την αιγίδα του Παγκόσμιου  
Μετεωρολογικού Οργανισμού(WMO)  
λειτουργούν τα συστήματα:**

**α. Παρατήρησης (WWW) και  
β. Διακίνησης(GTS) των Πληροφοριών  
του καιρού.**

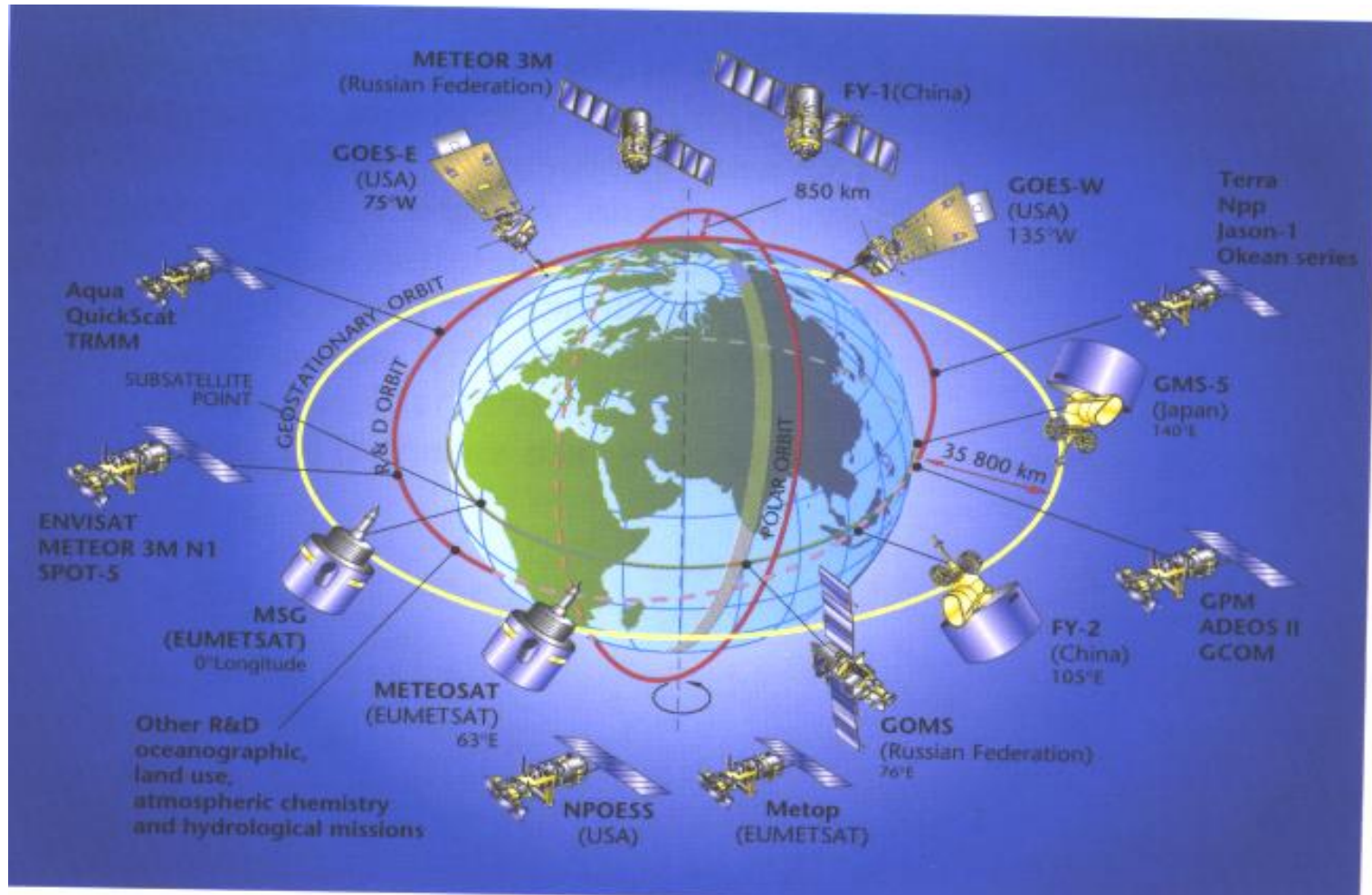


## Παγκόσμιο Δίκτυο Παρατήρησης

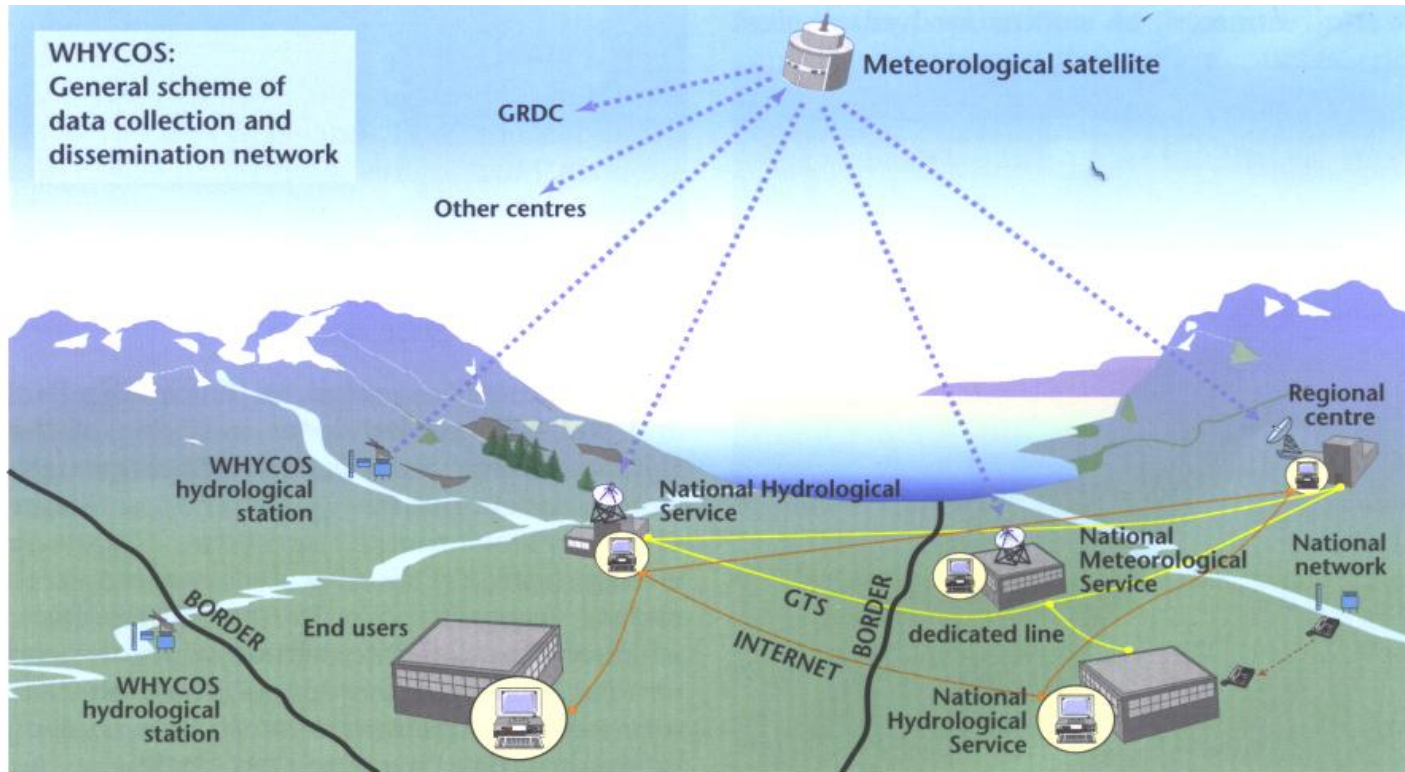
Το Παγκόσμιο δίκτυο Παρατήρησης του Καιρού WWW, από το οποίο γίνεται εισαγωγή στα Μοντέλα Πρόγνωσης, είναι αραιό και αποτελείται από συμβατικούς ή αυτόματους Μετεωρολογικούς σταθμούς (επιφάνειας ή/και ανώτερης ατμόσφαιρας). Συμπληρωματικά χρησιμοποιείται κάθε μορφής πληροφορία που λαμβάνεται από RADAR καιρού, Μετεωρολογικούς Δορυφόρους, παρατηρήσεις αεροσκαφών κ.λ.π.



# Το Σύστημα των Μετεωρολογικών Δορυφόρων



Διακίνηση των πληροφοριών γίνεται με το Παγκόσμιο Μετεωρολογικό τηλεπικοινωνιακό Δίκτυο GTS, όπου χρησιμοποιούνται και δορυφόροι για να φτάσουν στις Μετεωρολογικές Υπηρεσίες



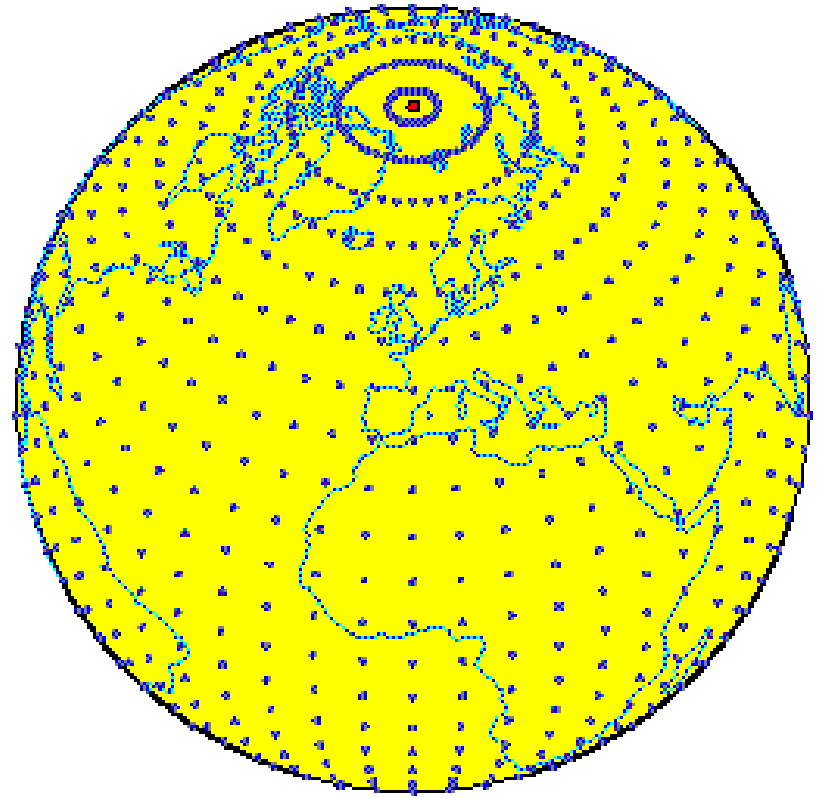


## Τρίτο πρόβλημα: Η λύση των εξισώσεων σε ένα διακριτό πλέγμα σημείων

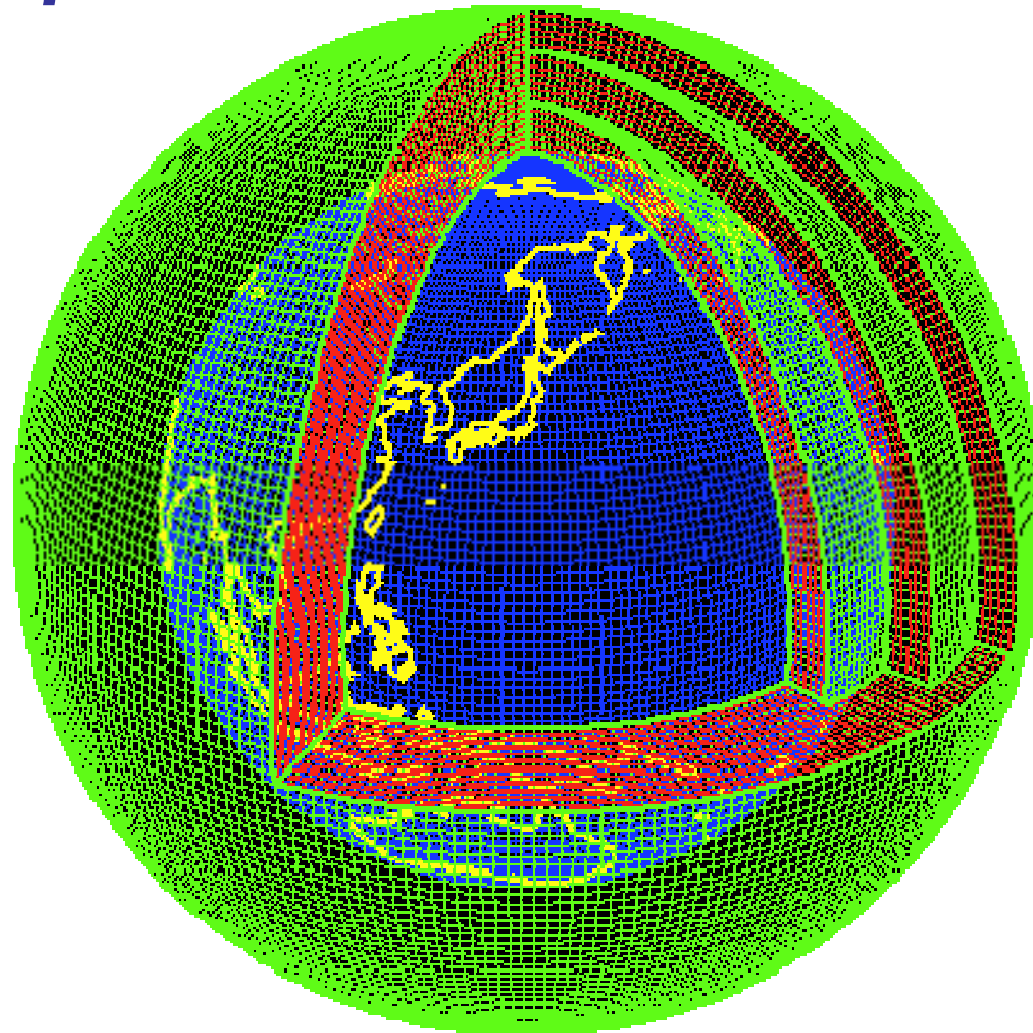
- Στην ατμόσφαιρα οι εξισώσεις «λύνονται» σε κάθε σημείο του χώρου, ενώ στην ατμόσφαιρα του μοντέλου η λύση γίνεται σε ένα διακριτό πλέγμα σημείων.
- Το πλήθος των διακριτών σημείων είναι ανάλογο της διατιθέμενης ισχύος του ηλεκτρονικού Υπολογιστή.
- Η διακριτική ικανότητα του μοντέλου καθορίζεται από την απόσταση δύο γειτονικών διακριτών σημείων.

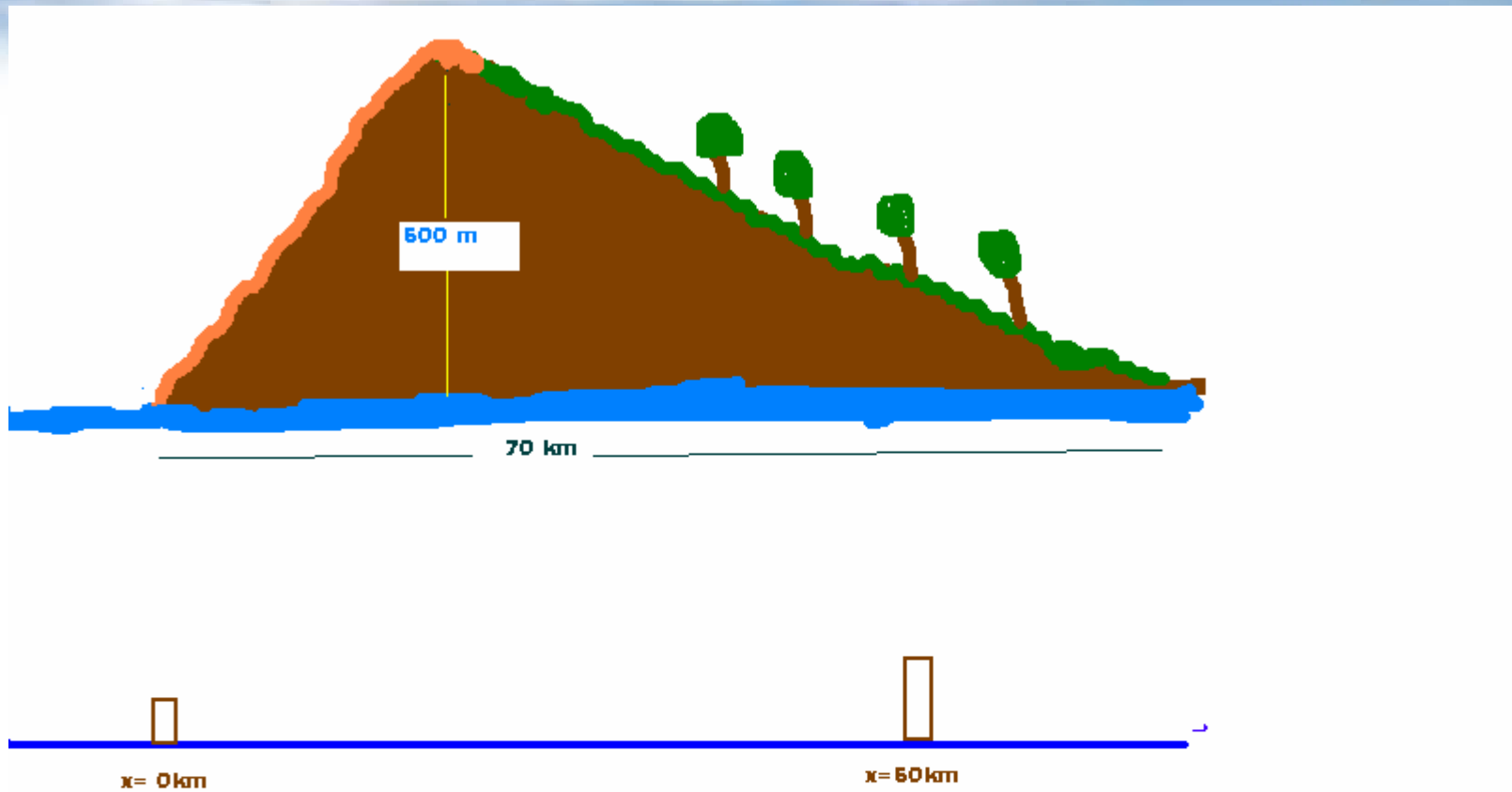


# Πλέγμα Διακριτών σημείων στην επιφάνεια της Γης

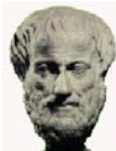


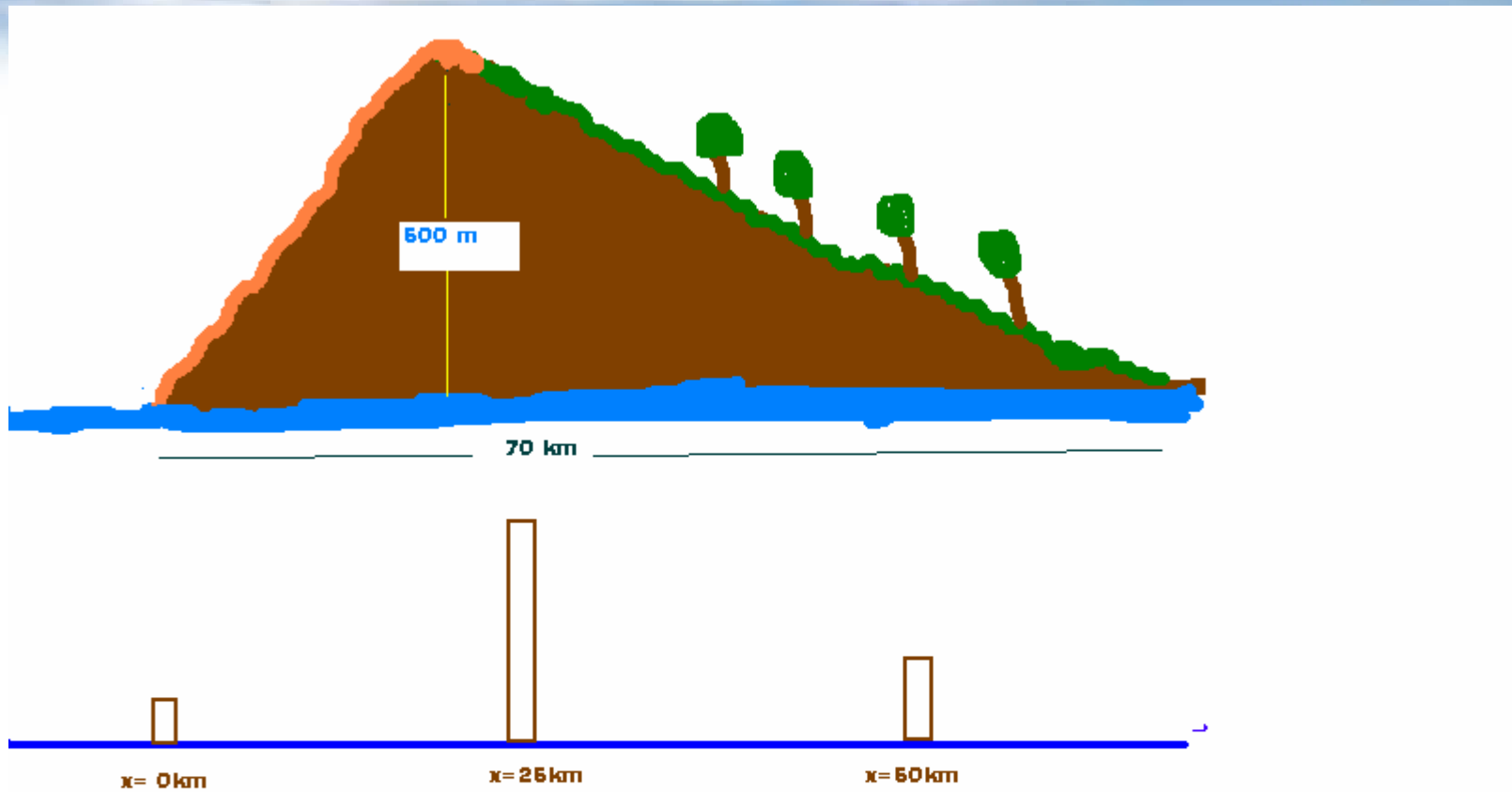
# Το τρισδιάστατο πλέγμα σημείων στο χώρο.





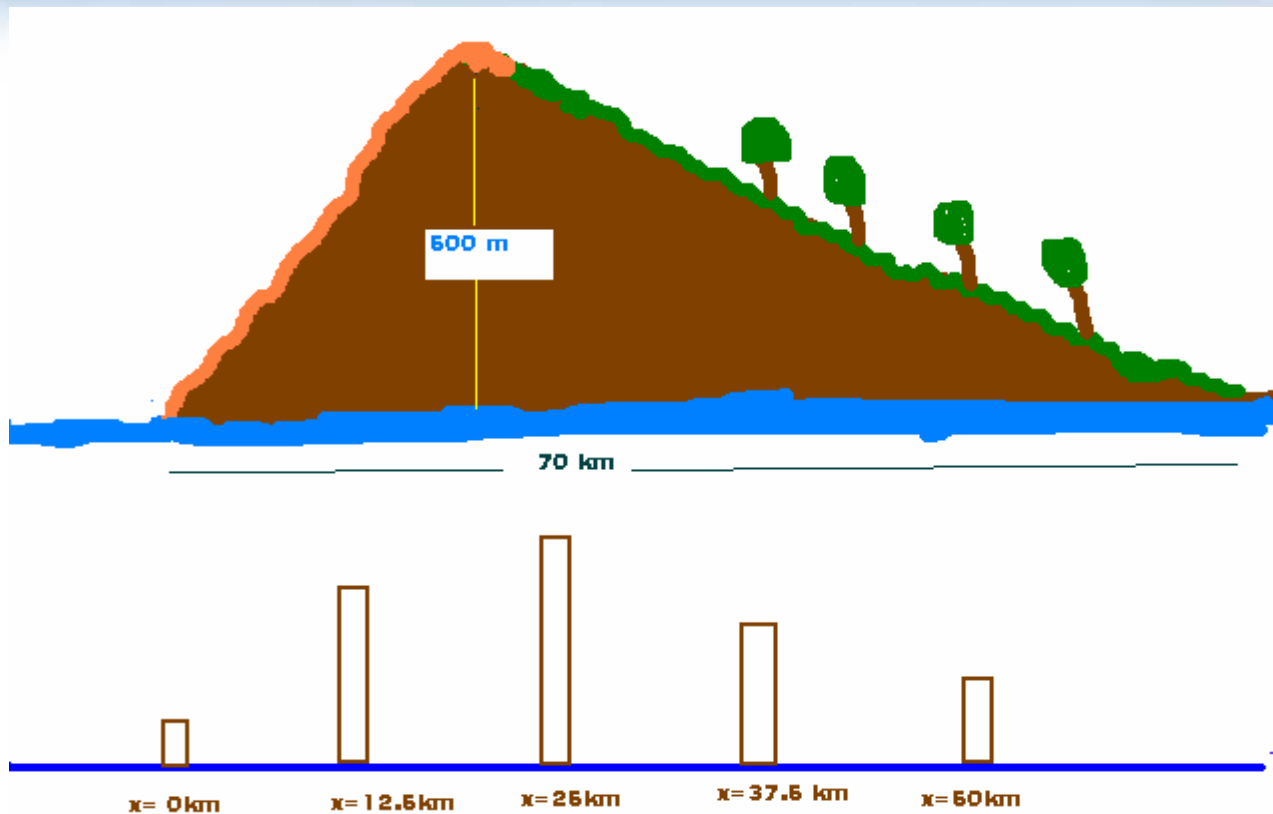
Προσομοίωση ορεινού όγκου χρησιμοποιώντας  
απόσταση σημείων πλέγματος 50 km.





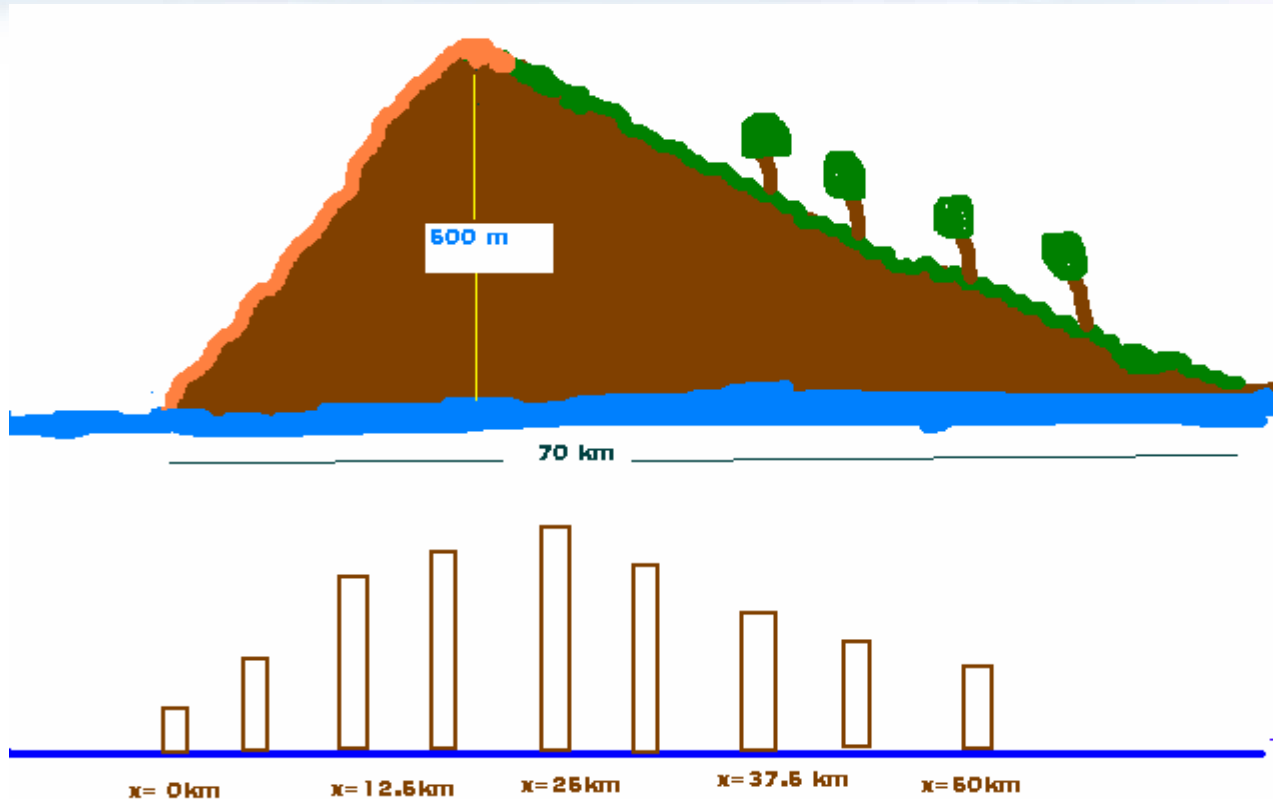
Προσομοίωση ορεινού όγκου χρησιμοποιώντας  
απόσταση σημείων πλέγματος 25 km.





Προσομοίωση ορεινού όγκου χρησιμοποιώντας  
απόσταση σημείων πλέγματος 12.5 km.





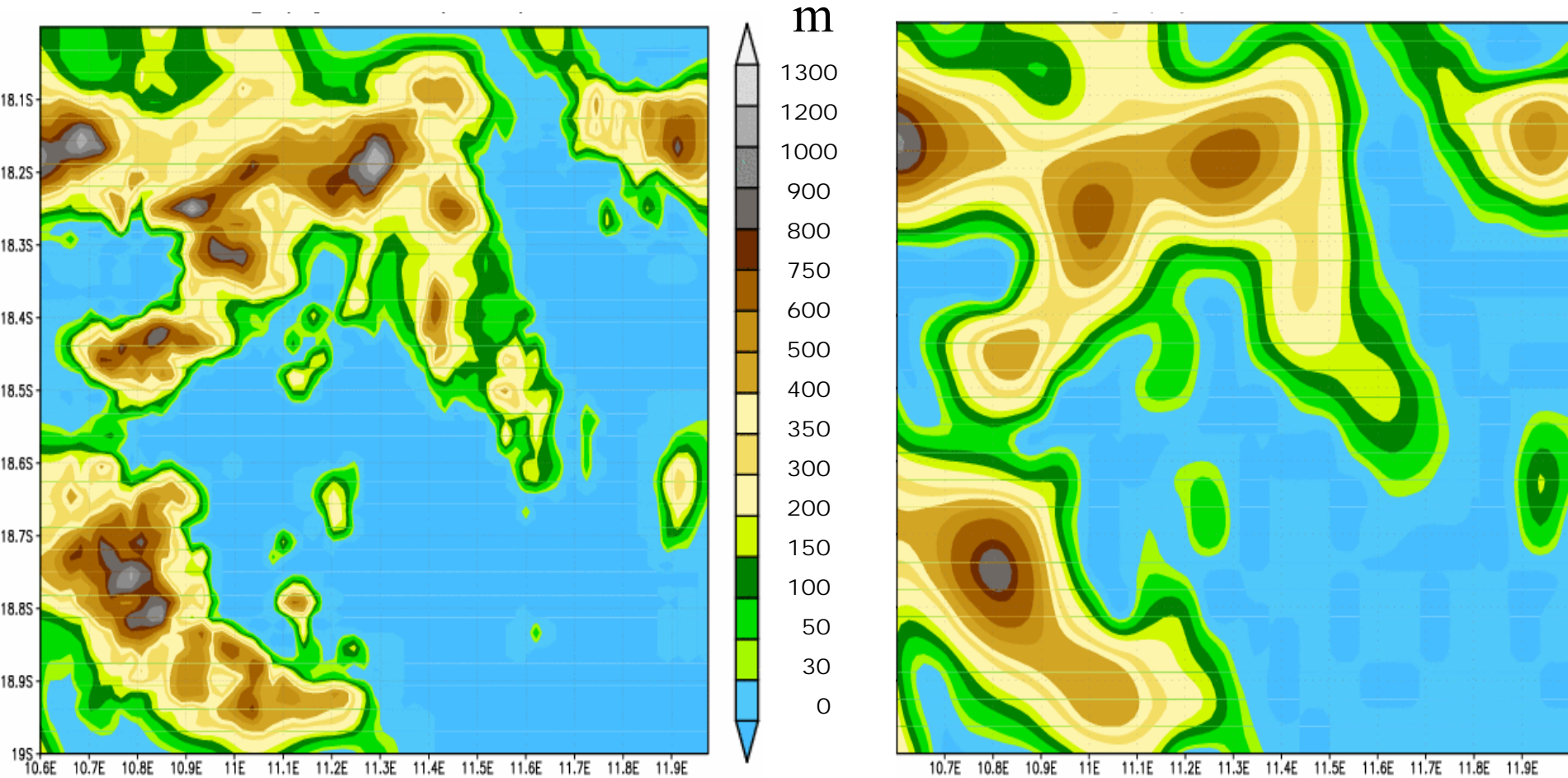
Προσομοίωση ορεινού όγκου χρησιμοποιώντας  
απόσταση σημείων πλέγματος 6.25 km.



# Διακριτική ικανότητα στην εισαγωγή του ανάγλυφου στην περιοχή της Αττικής

2.3km

7km





# Προσαρμογή αποτελεσμάτων μοντέλων σε τοπικό καιρό

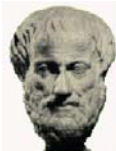
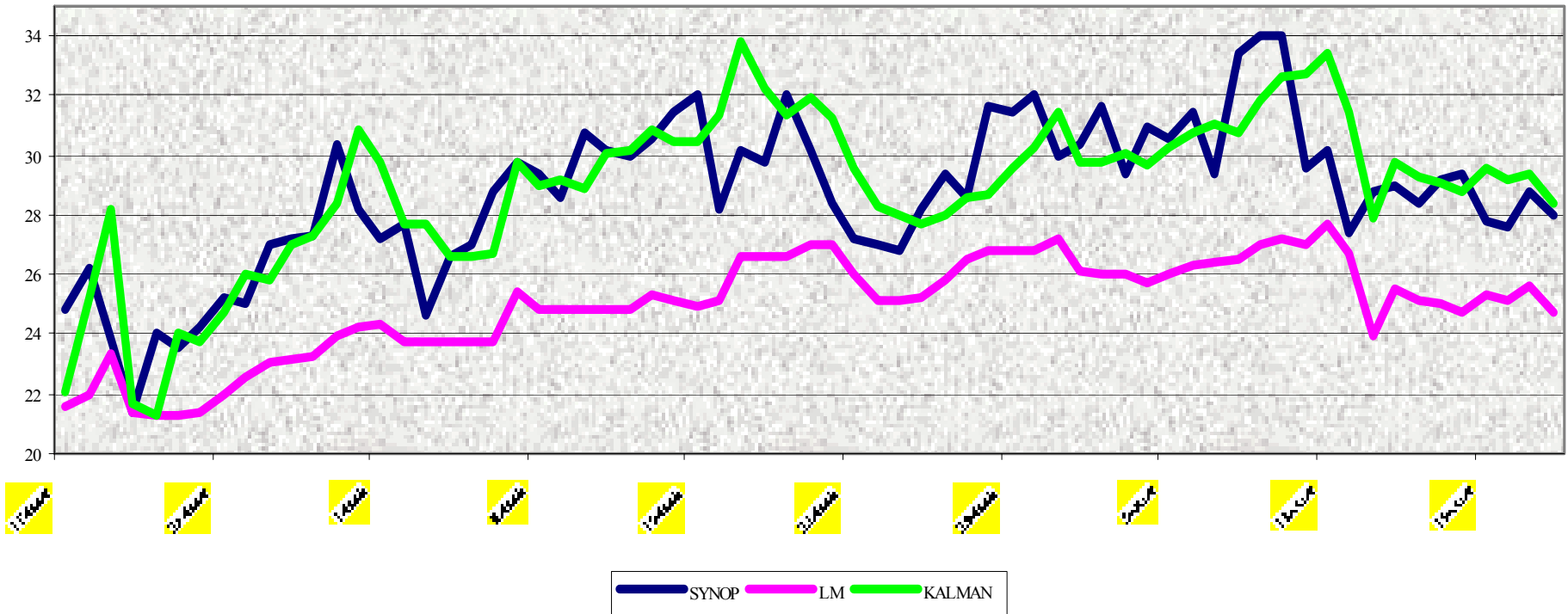
Τα αποτελέσματα των μοντέλων πρόγνωσης πρέπει να διορθωθούν προς την κατεύθυνση της παρατήρησης για να μειωθούν οι επιδράσεις στην πρόγνωση από σφάλματα:

- στα δεδομένα εισόδου.
- που εισάγονται από κλίμακες μικρότερες από αυτές που μπορούν να αναλυθούν στο χρησιμοποιούμενο μοντέλο.
- Κατά την προσομοίωση του ανάγλυφου - ορογραφίας

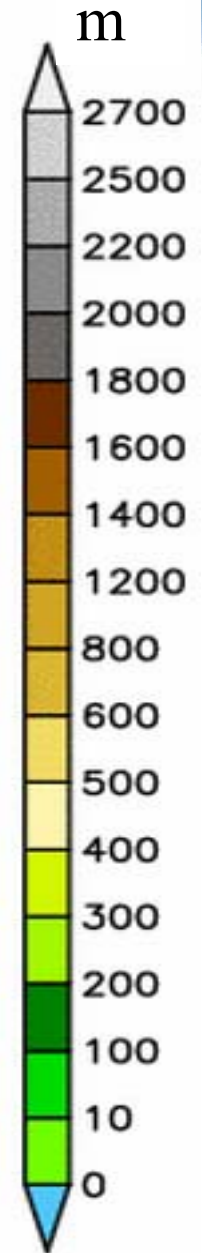
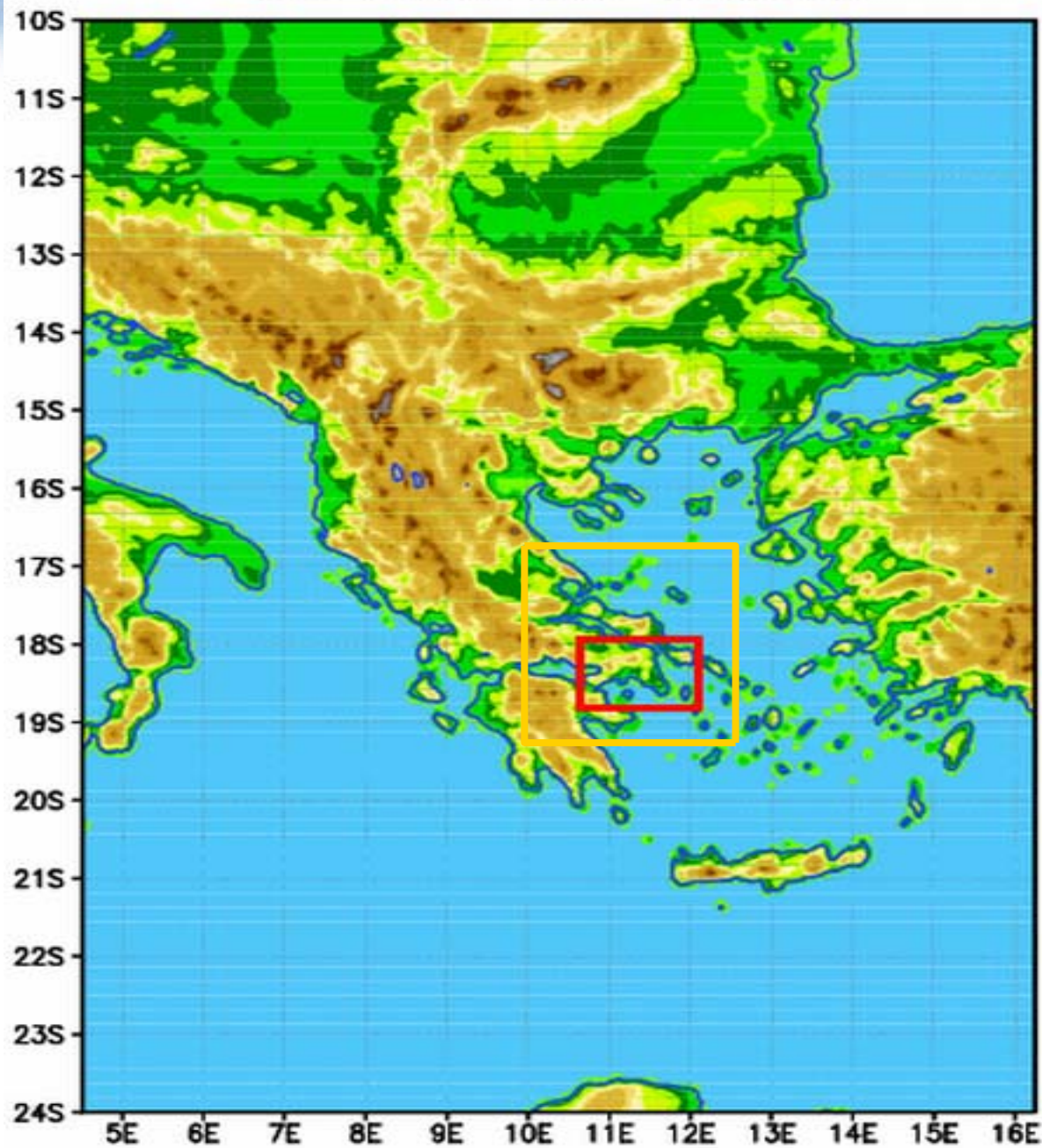
Διορθώσεις μπορούν να γίνουν με στατιστικές ή/και άλλες μεθόδους (χρήση KALMAN filtering).



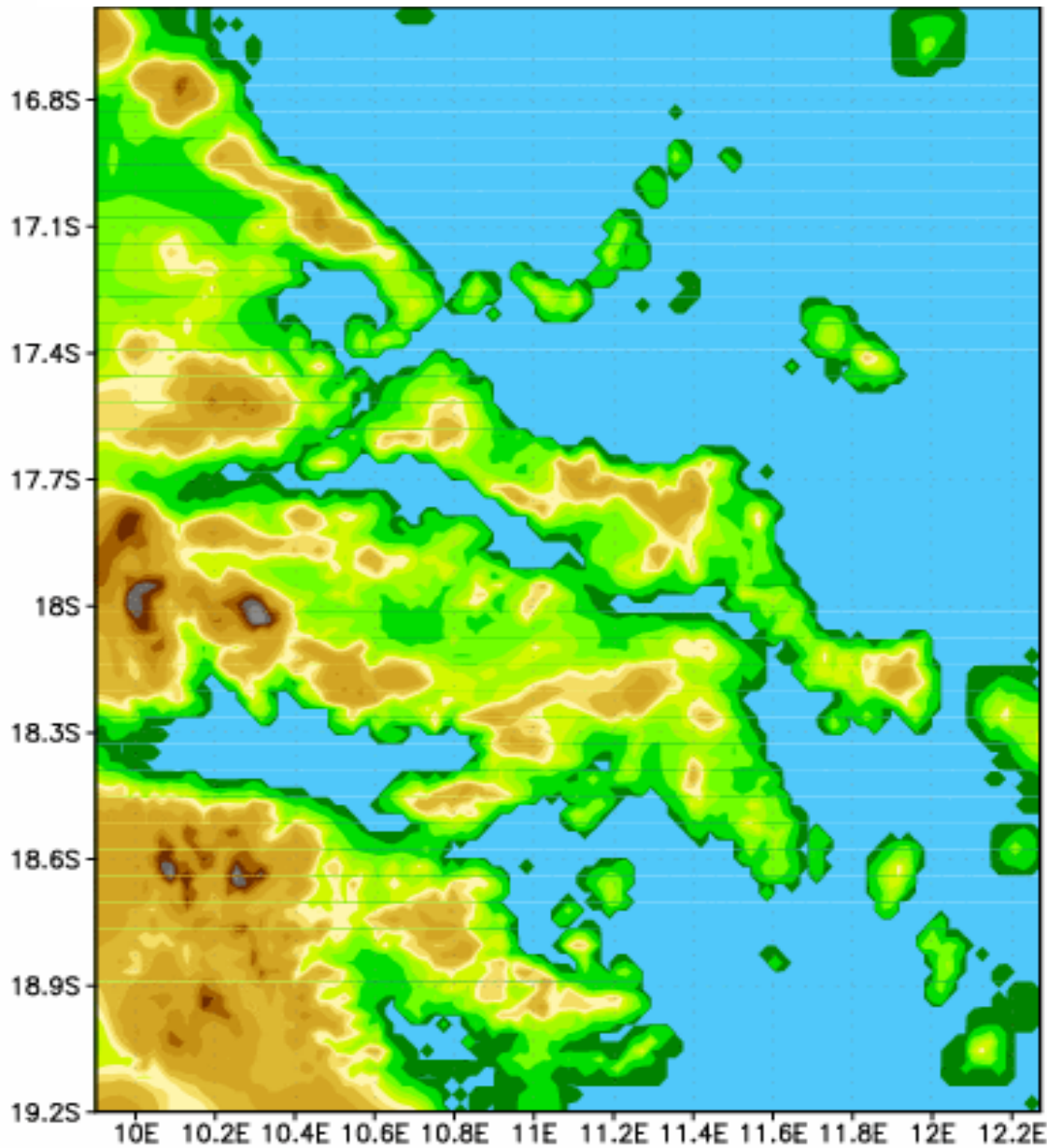
# Athen's Temperature (18 UTC)



# Main Domain for Greece (7km)

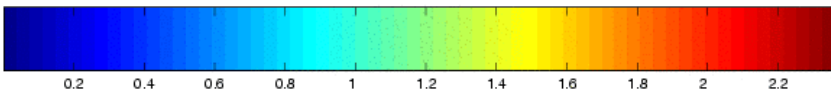
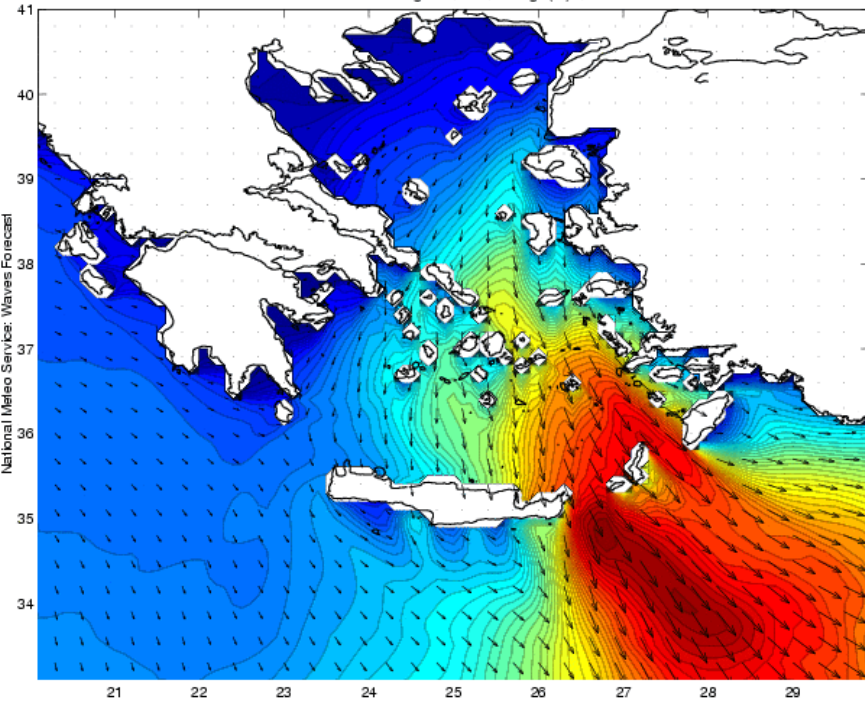


# Topography of the Nest Domain (2.3Km)

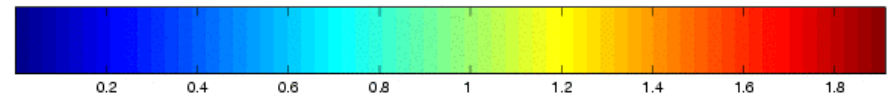
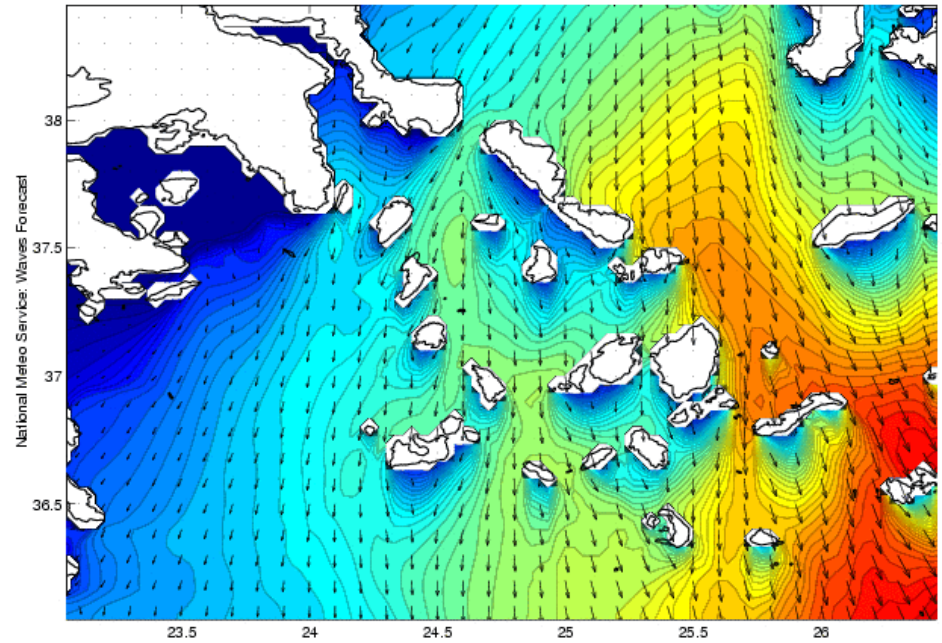


# Νηρέας-WAM

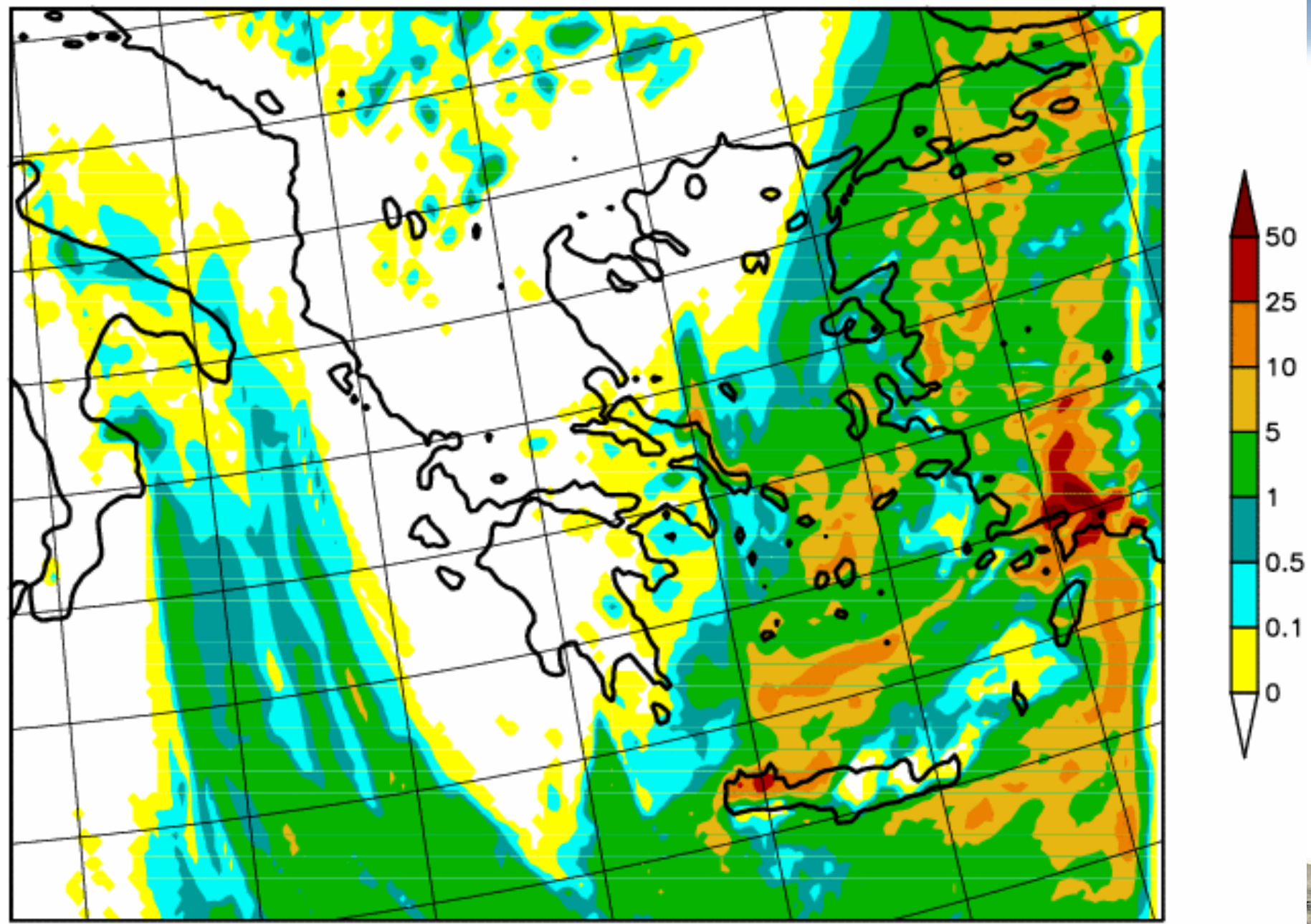
28/06/02 09:00 UTC : Significant wave height(m) and direction



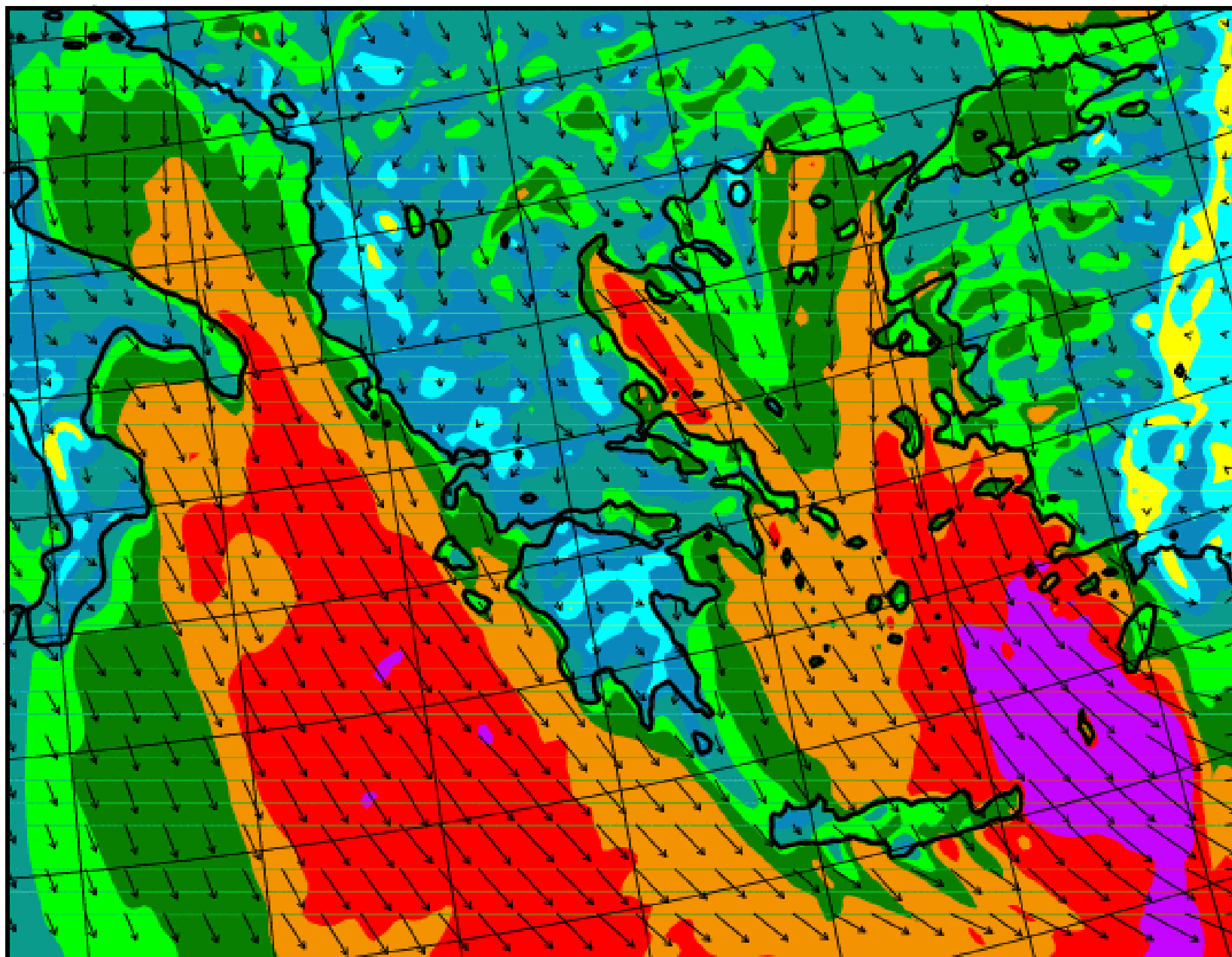
28/06/02 09:00 UTC : Significant wave height(m) and direction



Precipitation 33–36 UTC (mm)



Wind\_10m 42 UTC (knots)



# ECMWF Monthly Forecasting System

## Prob(Surf. Temp. anom gt 0)

Forecast start reference is 16-06-2005

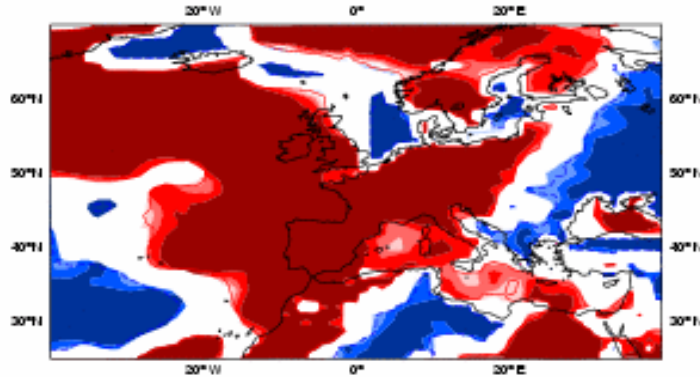
ensemble size = 51, climate size = 60

Shaded areas above 90% significance

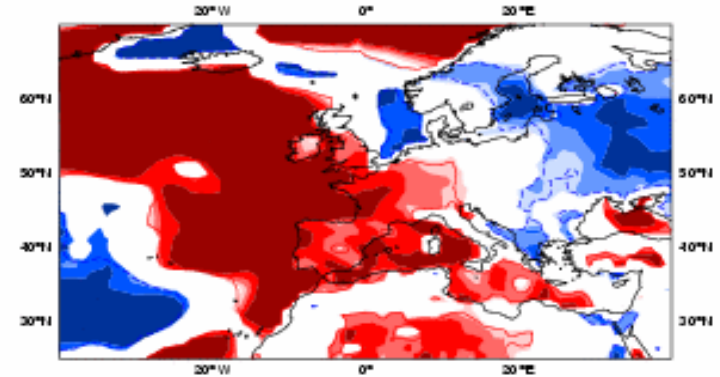
Solid contour at 95% significance



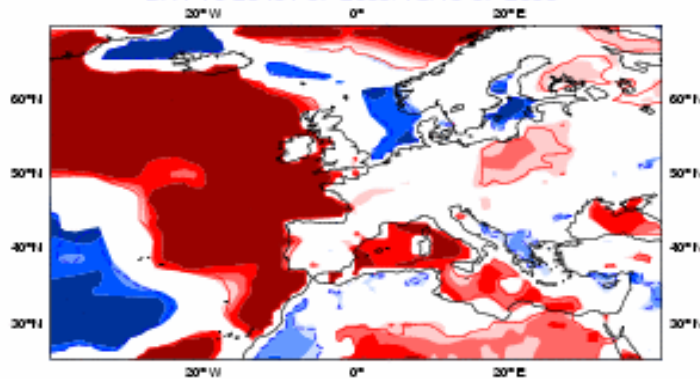
DAY 5-11 : 20-06-2005/TO/26-06-2005



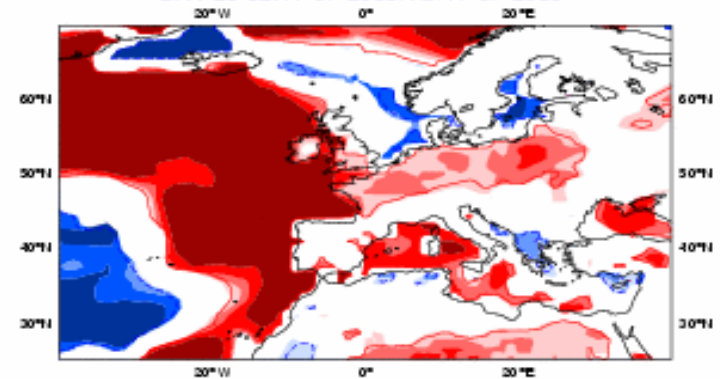
DAY 12-18 : 27-06-2005/TO/03-07-2005



DAY 19-25 : 04-07-2005/TO/10-07-2005



DAY 26-32 : 11-07-2005/TO/17-07-2005





# ECMWF Monthly Forecasting System

Prob(Precip anom gt 0)

Forecast start reference is 16-06-2005

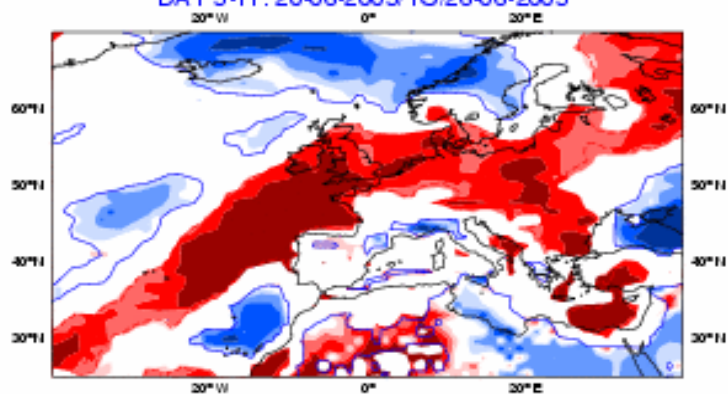
ensemble size = 51, climate size = 60

Shaded areas above 90% significance

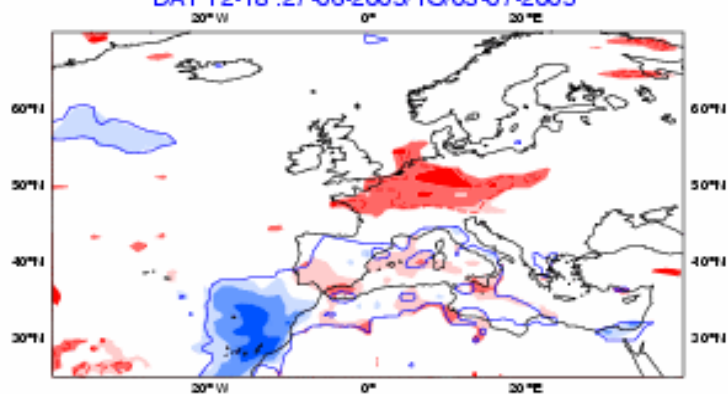
Solid contour at 95% significance



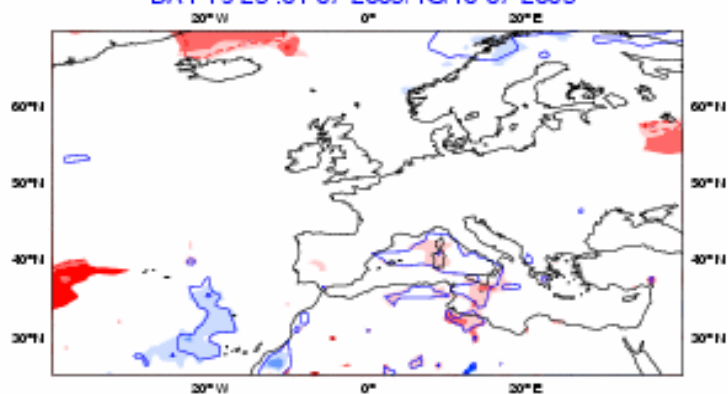
DAY 5-11 : 20-06-2005/TO/26-06-2005



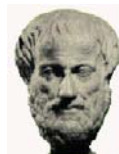
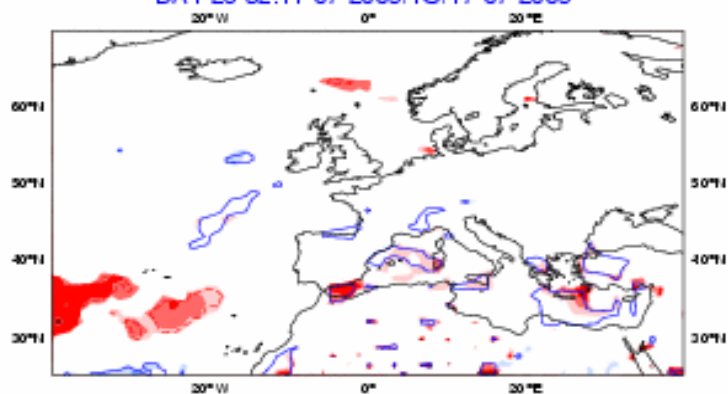
DAY 12-18 : 27-06-2005/TO/03-07-2005



DAY 19-25 : 04-07-2005/TO/10-07-2005



DAY 26-32 : 11-07-2005/TO/17-07-2005



# ECMWF Monthly Forecasting System

## Prob(2-meter Temp. anom gt 0)

Forecast start reference is 16-06-2005

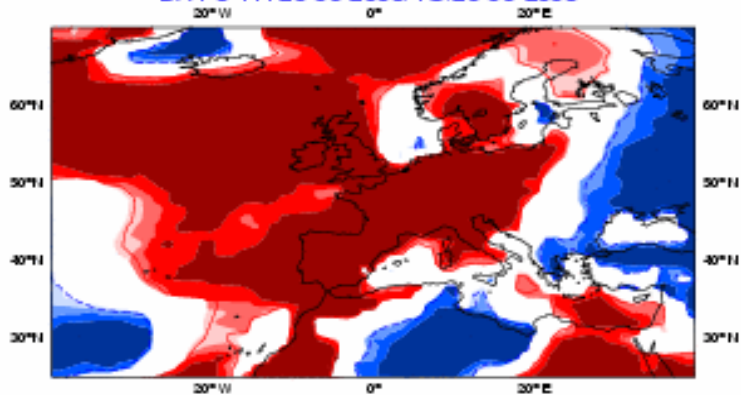
ensemble size = 51, climate size = 60

Shaded areas above 90% significance

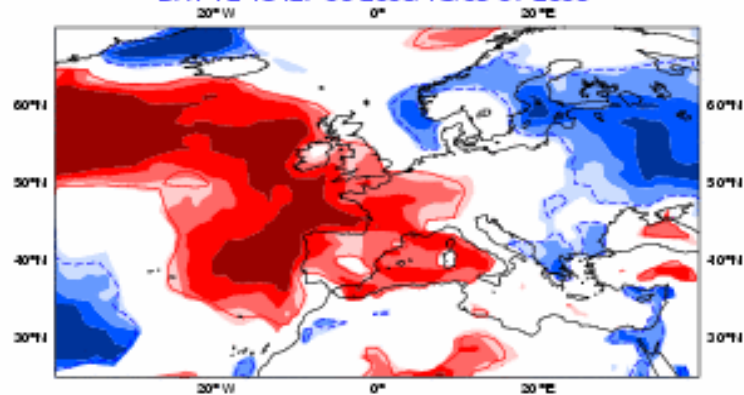
Solid contour at 95% significance



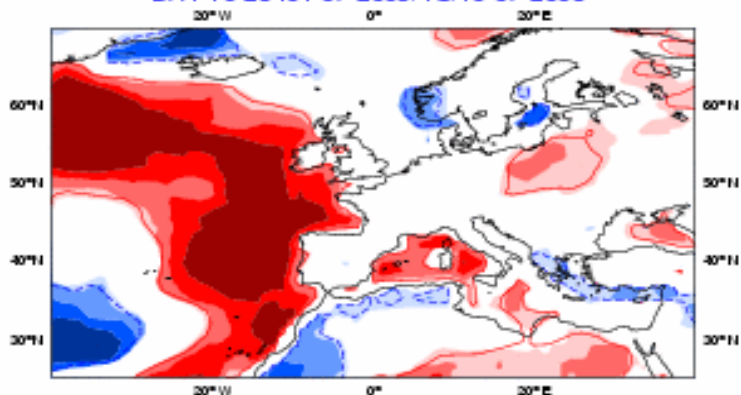
DAY 5-11 : 20-06-2005/TO/26-06-2005



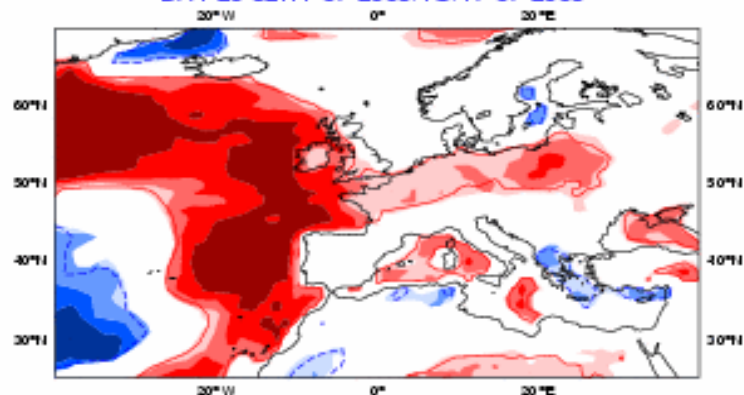
DAY 12-18 : 27-06-2005/TO/03-07-2005



DAY 19-25 : 04-07-2005/TO/10-07-2005



DAY 26-32 : 11-07-2005/TO/17-07-2005

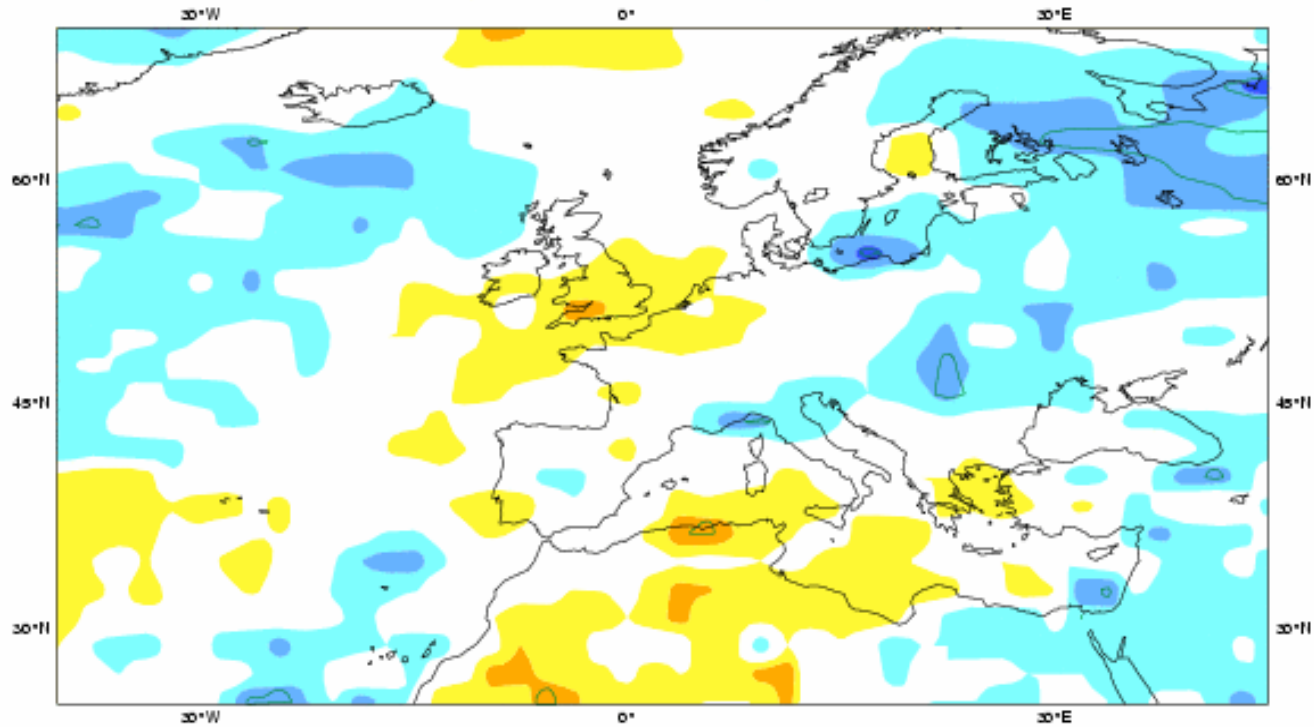


ECMWF Seasonal Forecast  
Prob (precipitation > median)

Forecast start reference is 01.06.05  
Ensemble size = 40, climate size = 75

System 2  
JAS 2005

Solid contour at 1% significance level



Forecast production date: 14.06/2005

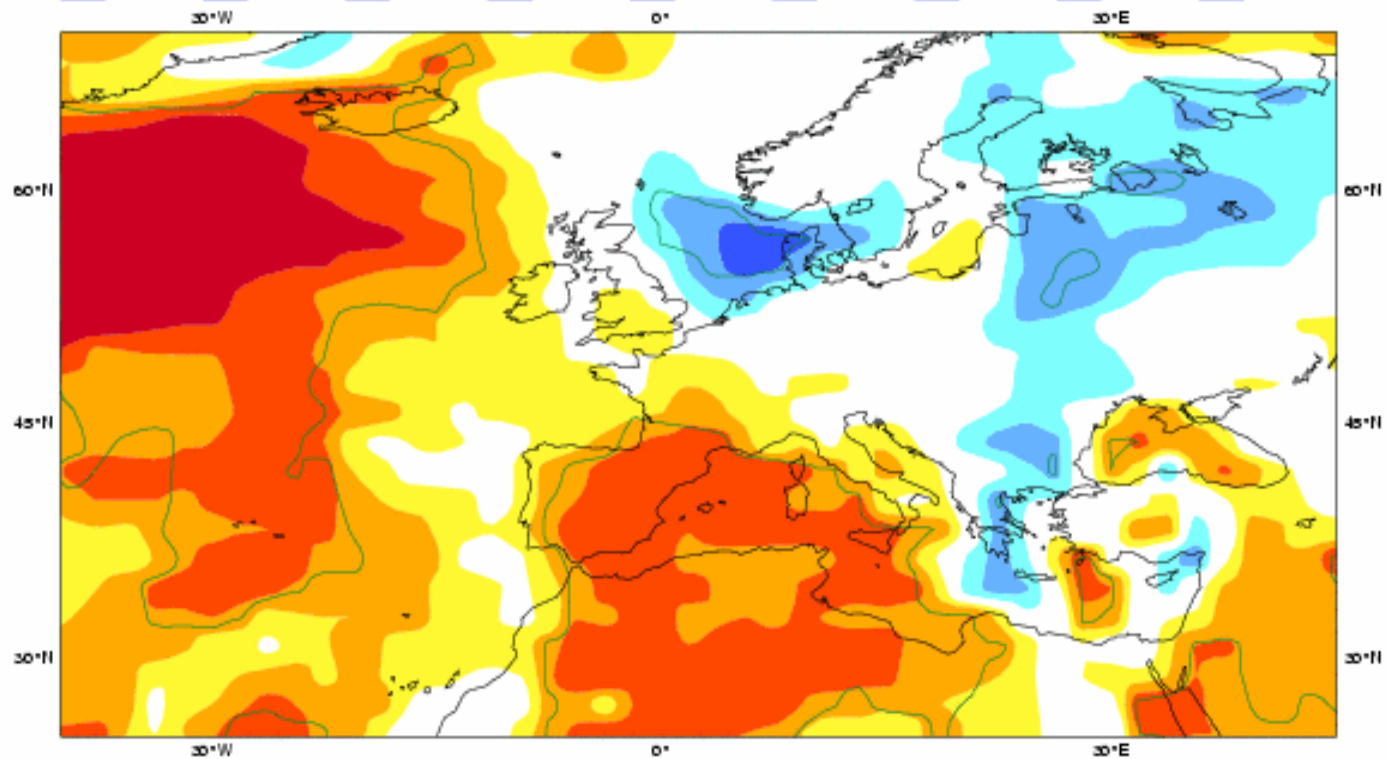


# ECMWF Seasonal Forecast Prob (2m temperature > median)

Forecast start reference is 01.06.05  
Ensemble size = 40, climate size = 75

System 2  
JAS 2005

Solid contour at 1% significance level

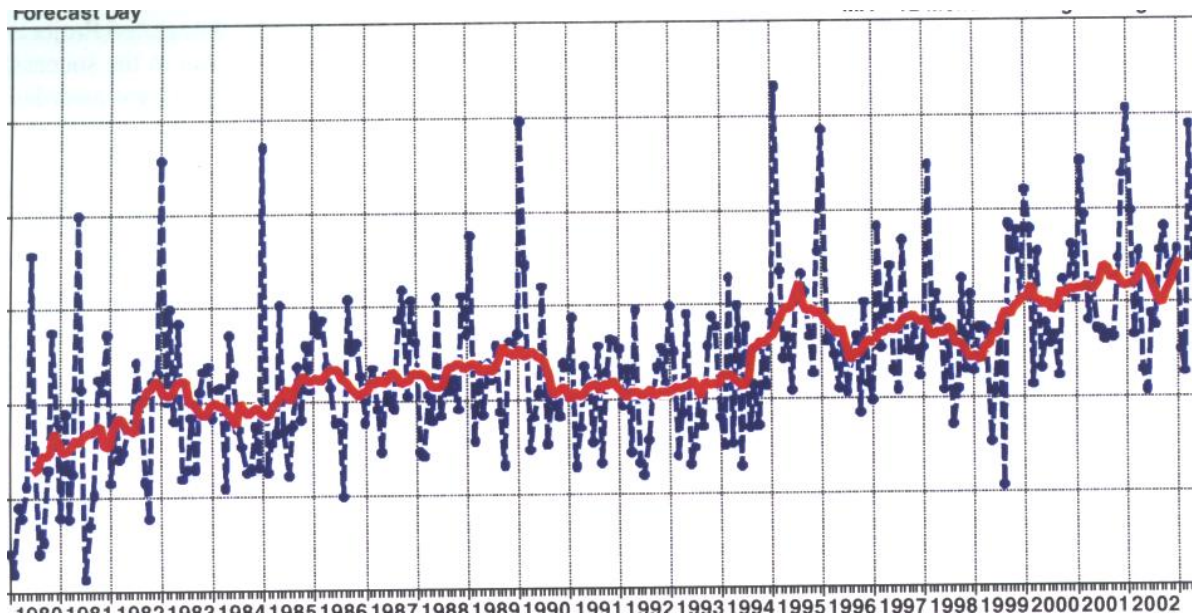


Forecast production date: 14.06/2005



Παρά την πολυπλοκότητα της ατμόσφαιρας το συνολικό αποτέλεσμα είναι η συνεχής βελτίωση της λύσης των εξισώσεων κίνησης με αριθμητικές μεθόδους πρόγνωσης.

Σαν αποτέλεσμα, η πρόγνωση των πέντε (5) ημερών σήμερα είναι τόσο καλή, όπως ήταν η πρόγνωση των δύο (2) ημερών είκοσι (20) χρόνια πριν.



Τελειώνοντας θα ήθελα να σας ευχαριστήσω και να τονίσω ότι παρά την πολυπλοκότητα των νόμων της ατμοσφαιρικής ροής, η πρόοδος των επιστημών της Μετεωρολογίας και Υδρολογίας έχουν συνεισφέρει σημαντικά στην αειφόρο κοινωνική-οικονομική ανάπτυξη, στην προστασία του περιβάλλοντος, και στην προστασία της ζωής και της περιουσίας του πολίτη από επερχόμενες φυσικές καταστροφές.



➤ ΤΕΛΟΣ



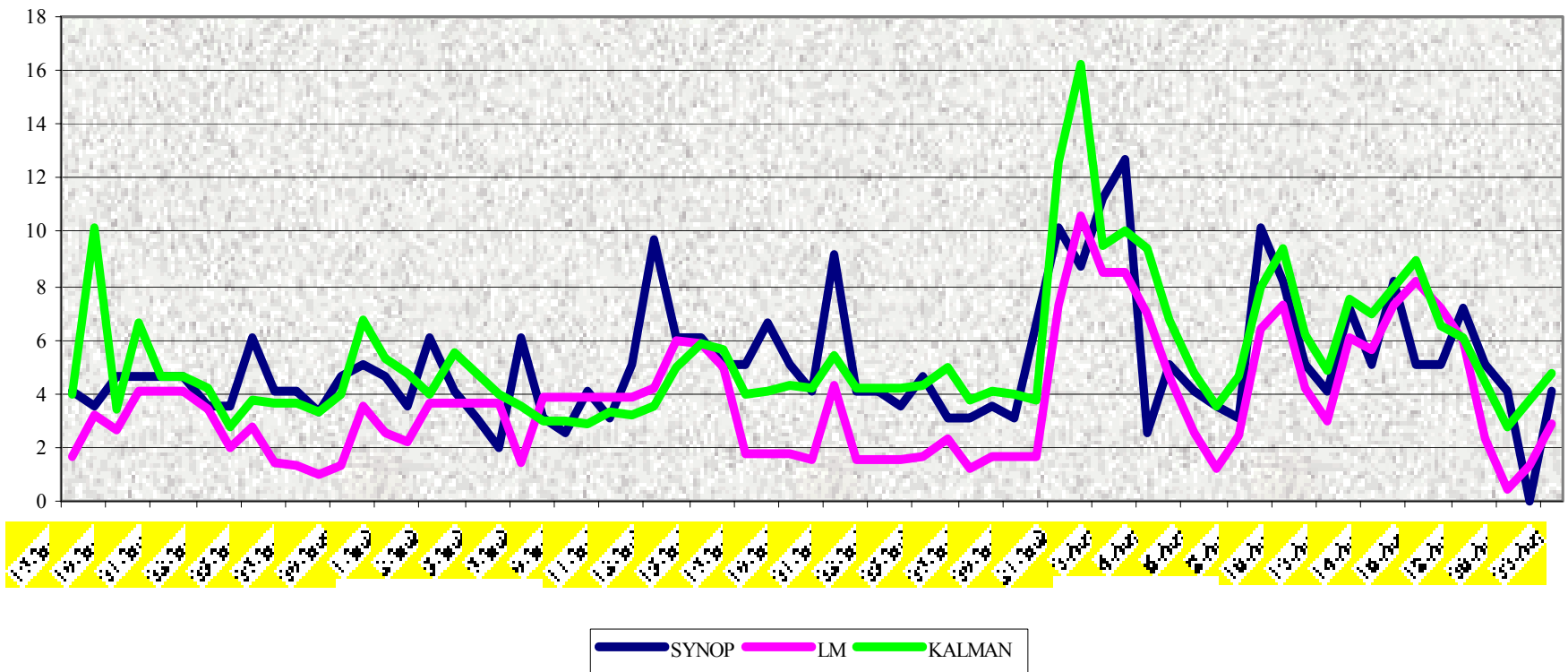
Η Μετεωρολογική Υπηρεσία μπορεί να δώσει Μετεωρολογική Υποστήριξη και να καλύψει πόλους τομείς της οικονομίας, όπως η υγεία, μεταφορές, πολεοδομικούς σχεδιασμούς, ασφάλεια τροφών, διαχείριση υδατίνων πόρων, ενέργειας, τουρισμό κλπ., ενώ συγχρόνως με έγκαιρες προγνώσεις μπορεί να ελαχιστοποιήσει τα αποτελέσματα των ακραίων φαινομένων της ερημοποίησης ως και άλλες απειλές που μπορούν να προκληθούν από τις κλιματικές αλλαγές, από την ελάττωση του στρώματος του όζοντος, από την αύξηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

7





## Athen's Wind's Speed(12 UTC)



- Στην πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό.



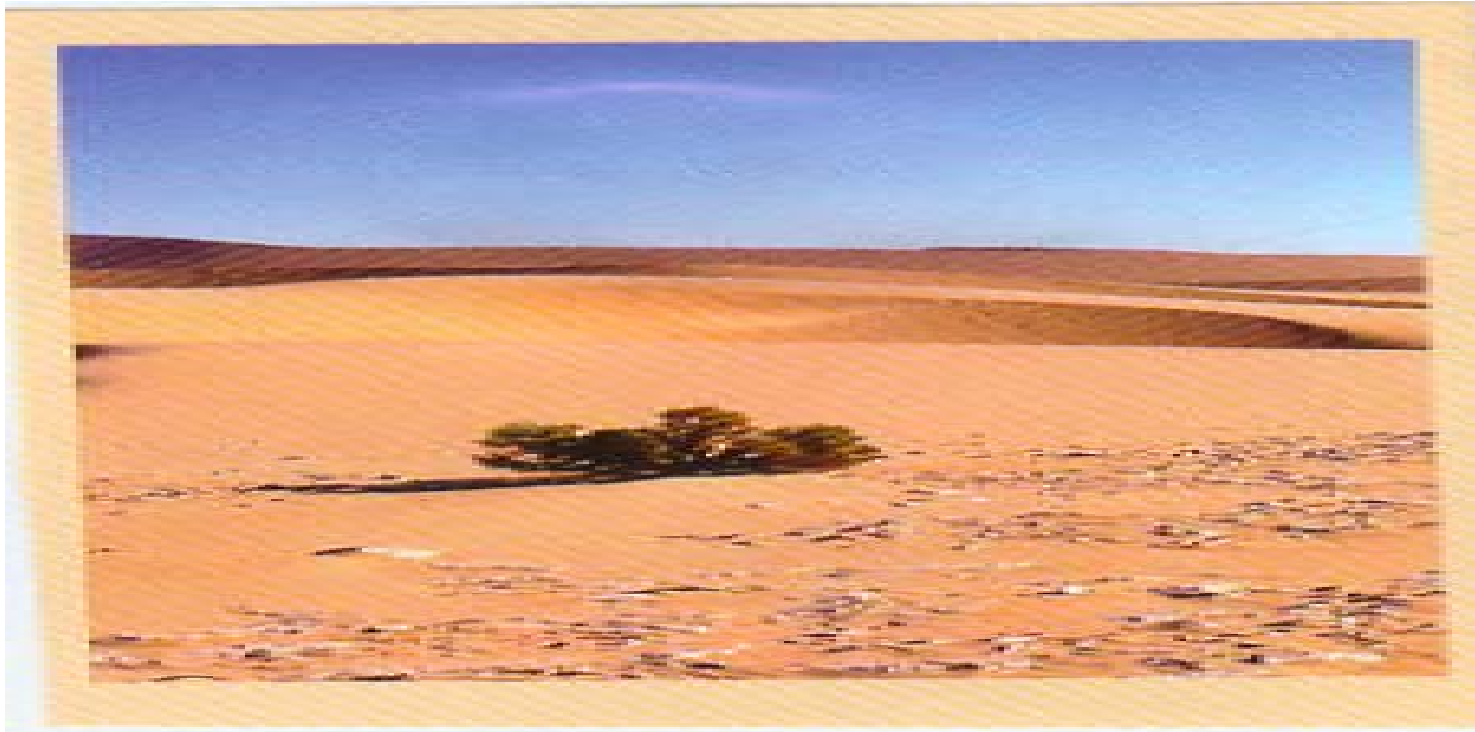
FAO



Στην προστασία από φυσικές καταστροφές



Η Μετεωρολογική Υπηρεσία μπορεί να βοηθήσει στην έρευνα για την προστασία του στρώματος του όζοντος, για τις κλιματικές αλλαγές, για την ερημοποίηση, τη βιοποικιλία, την ασφάλεια τροφής, η χρήση ήπιων μορφών ενέργειας κ.λ.π.

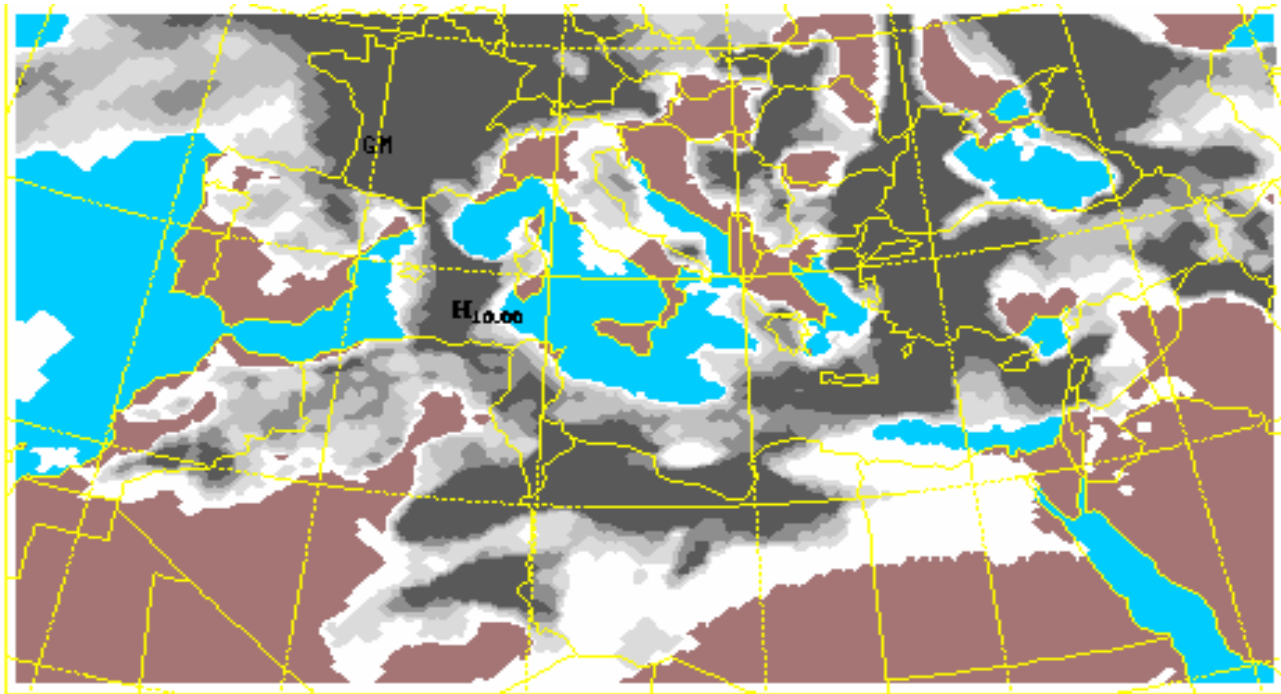


Στη χρήση καθαρών μορφών ενέργειας



# ΜΟΝΤΕΛΟ SKIRON

## ΠΡΟΙΟΝΤΑ ΜΕΓΑΛΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

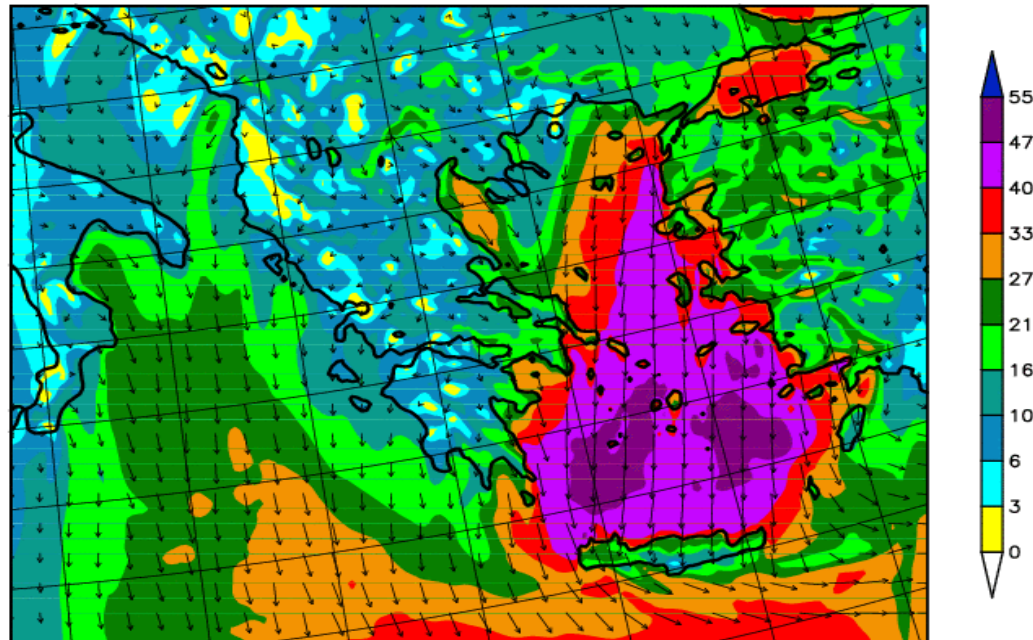


Πρόγνωση για νεφοκάλυψη στην  
περιοχή ολοκλήρωσης



4. Η δημιουργία του ΠΜΟ χάραξε μια νέα εποχή στην πρόοδο των επιστημών του περιβάλλοντος και στη διεθνή συνεργασία των χωρών που οδήγησαν αφενός στη δημιουργία του παγκόσμιου συστήματος παρατήρησης και αφετέρου στην εφαρμογή νέων τεχνολογιών που μας επιτρέπουν πλέον να καταλάβουμε, να χειριστούμε και να κάνουμε επιτυχείς επιχειρησιακές και ακόμη κλιματολογικές προγνώσεις της εξέλιξης του συστήματος ατμόσφαιρα-ωκεανού .

Wind\_10m 24 UTC (knots)



# Νηρέας-RAMS

