

COURS DISPONIBLE SUR INTERNET

Serveur step.ipgp.jussieu.fr

→ TICE

→ Serveur de Cours

PLAN

1°) Energie et températures dans la Terre

2°) Eléments de dynamique

3°) Champ de pesanteur

4°) Mesure de la déformation

5°) Sismologie et tremblements de terre

6°) Chimie des roches

Chapitre 4

Mesure de la déformation

Objectifs

1. Déplacements et vitesses de déplacement
2. Déformation (et contraintes tectoniques)

Trois grandes catégories de mesure

(1) Station sol - station sol

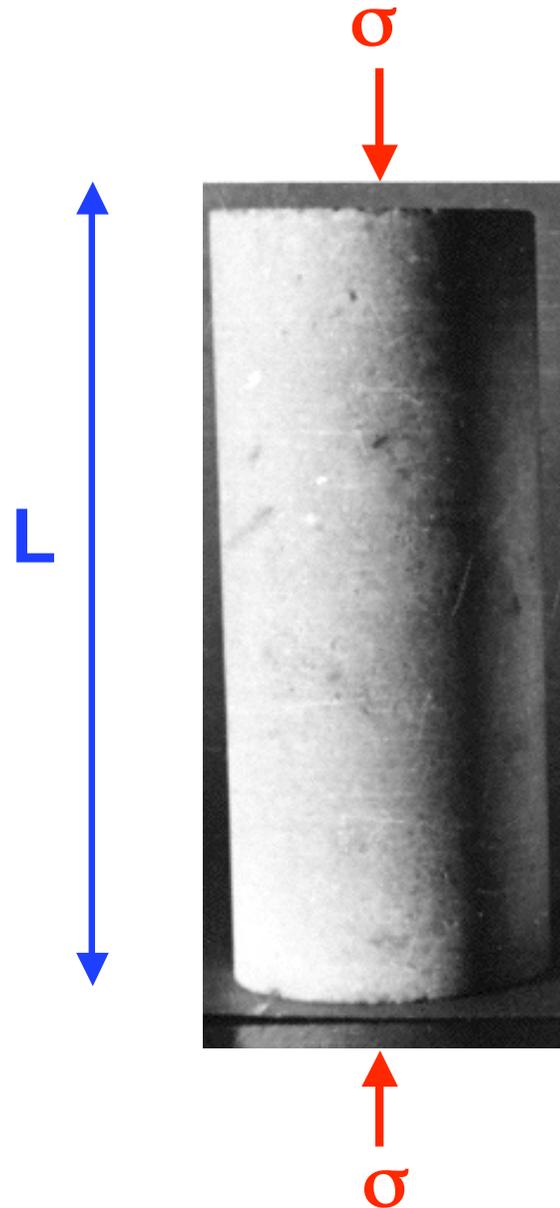
Réseau géodésique

Réseau laser grande maille (VLBS)

(2) Satellite - station sol : GPS

(3) Satellite -satellite : interférométrie SAR

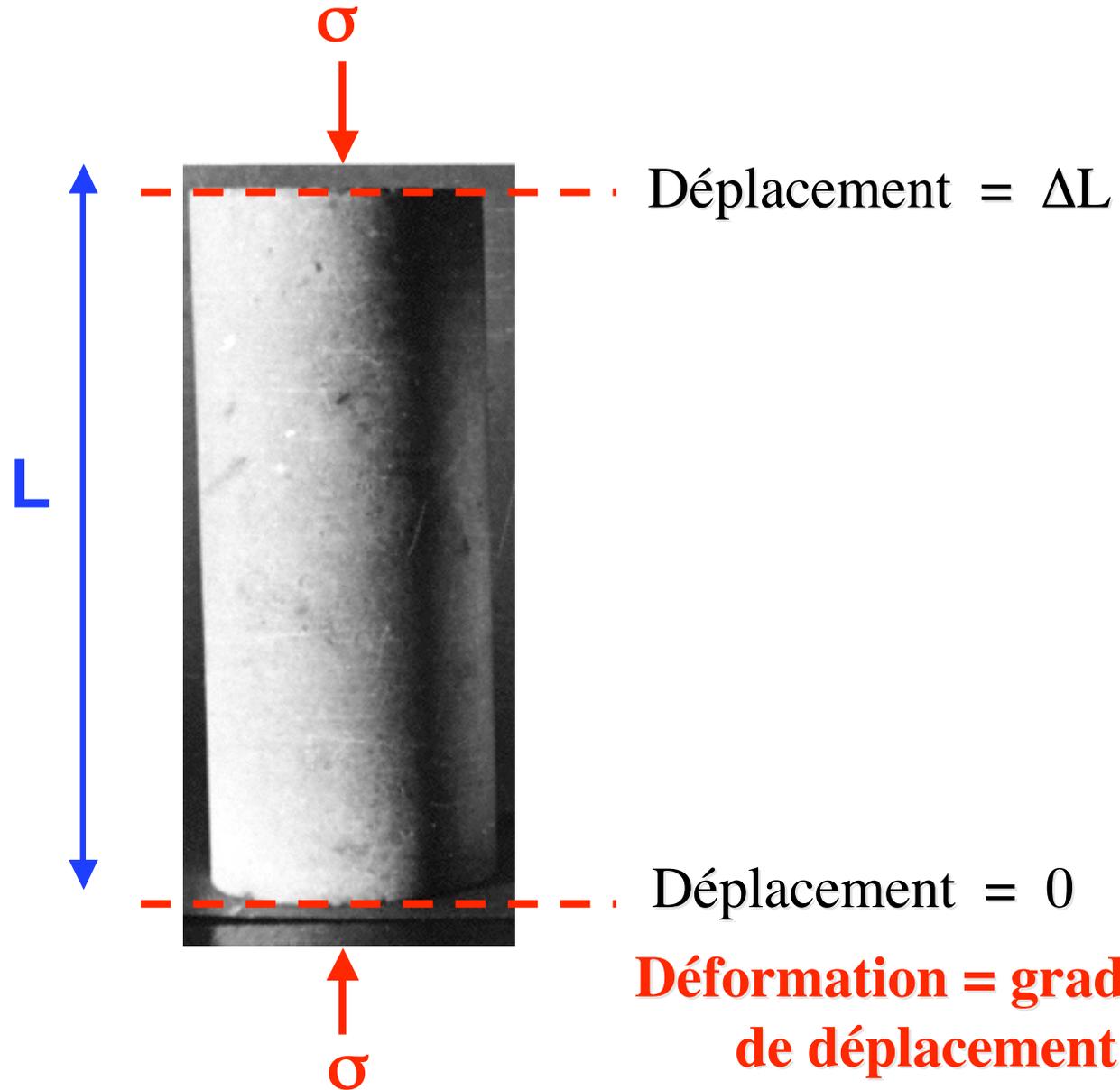
Déformation



$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Relation
entre σ et ε

Déformation $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$

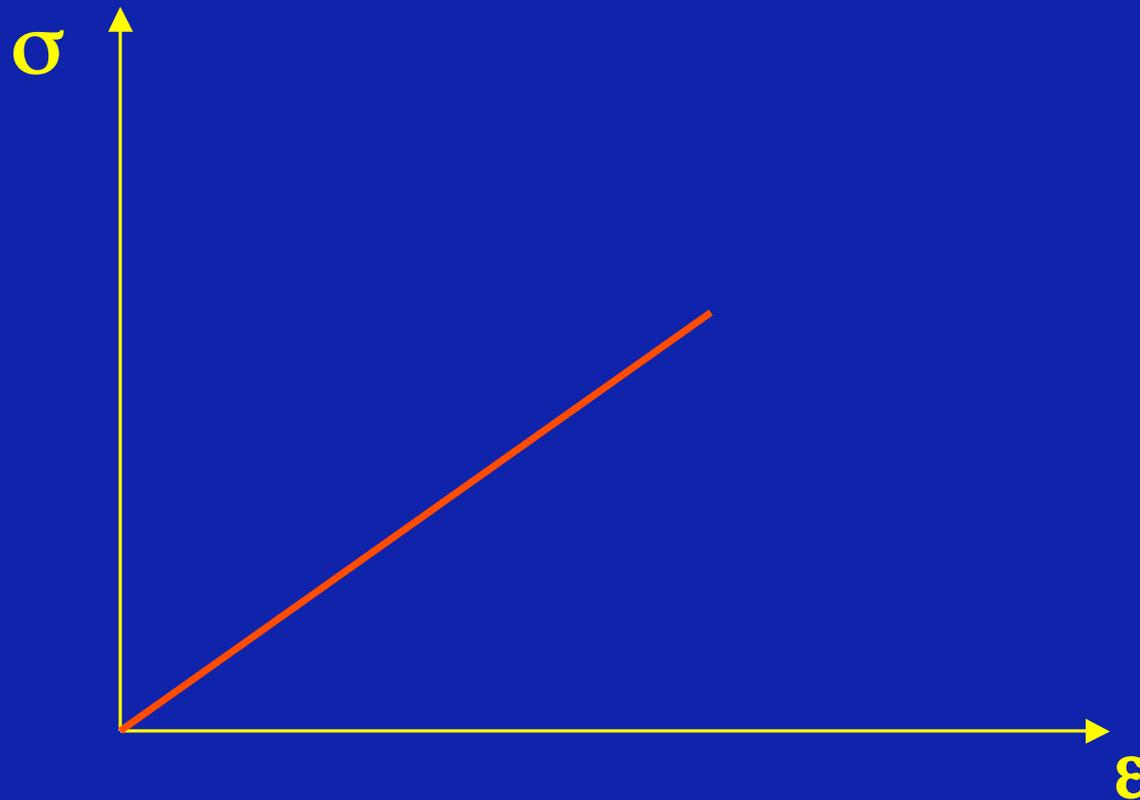


Déplacement = 0

**Déformation = gradient
de déplacement**

Régime élastique

(comme un ressort)



ε proportionnelle à σ :
 $\sigma = \lambda \varepsilon$, λ module "élastique"

$$\sigma = \lambda \varepsilon, \quad \lambda \text{ module "élastique"}$$

Unités :

$$\sigma = \text{contrainte} = \text{Pa (N/m}^2\text{)}$$

$$\varepsilon = \text{déformation} = \text{sans dimension}$$

$$\lambda = \text{module} = \text{Pa (N/m}^2\text{)}$$

Pour les roches

$$\lambda \approx 10^{10} \text{ Pa}$$

Contraintes ??

Mesure de la déformation  mesure de la contrainte

Réseau géodésique

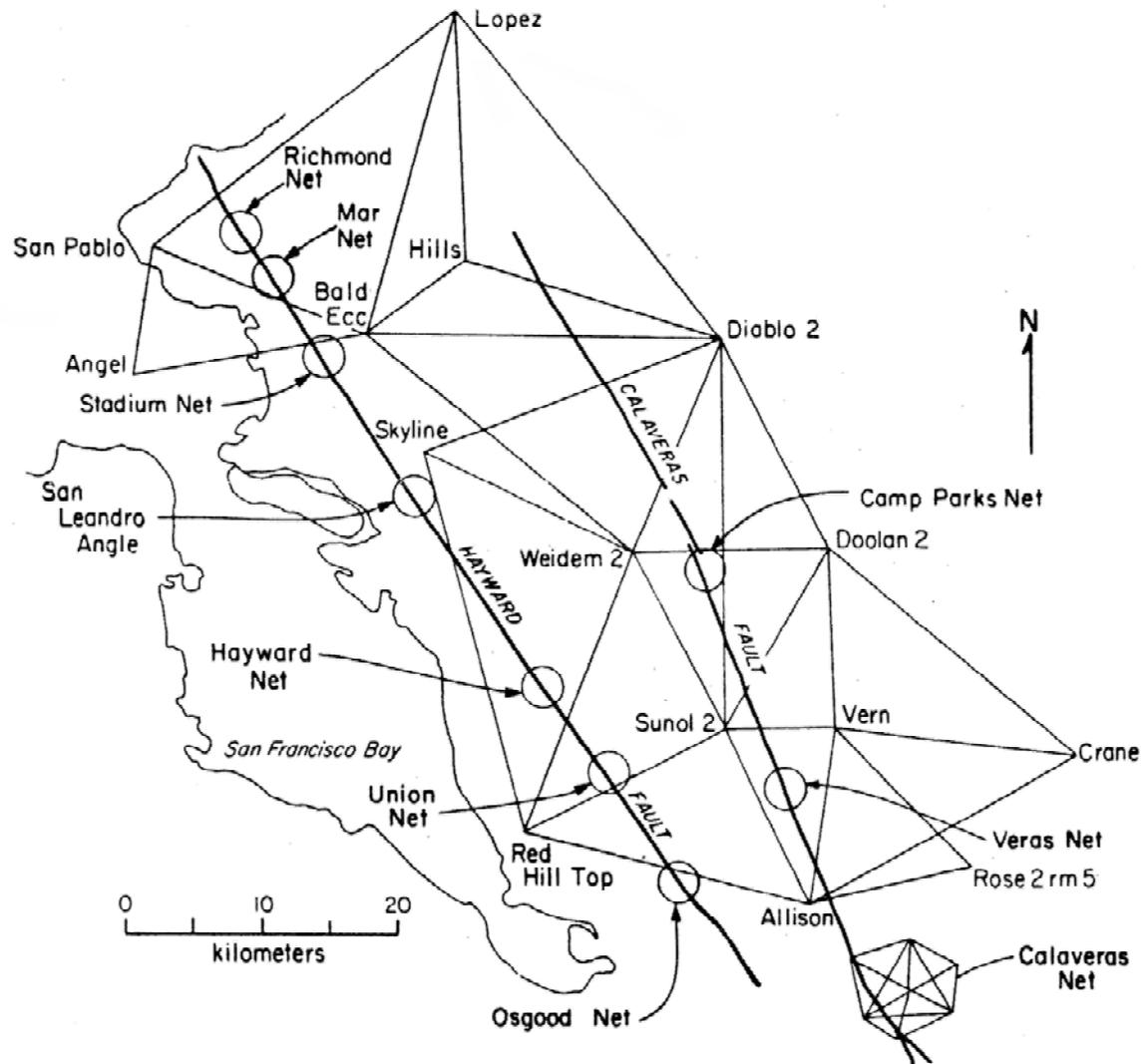


Mesure de L en fonction du temps

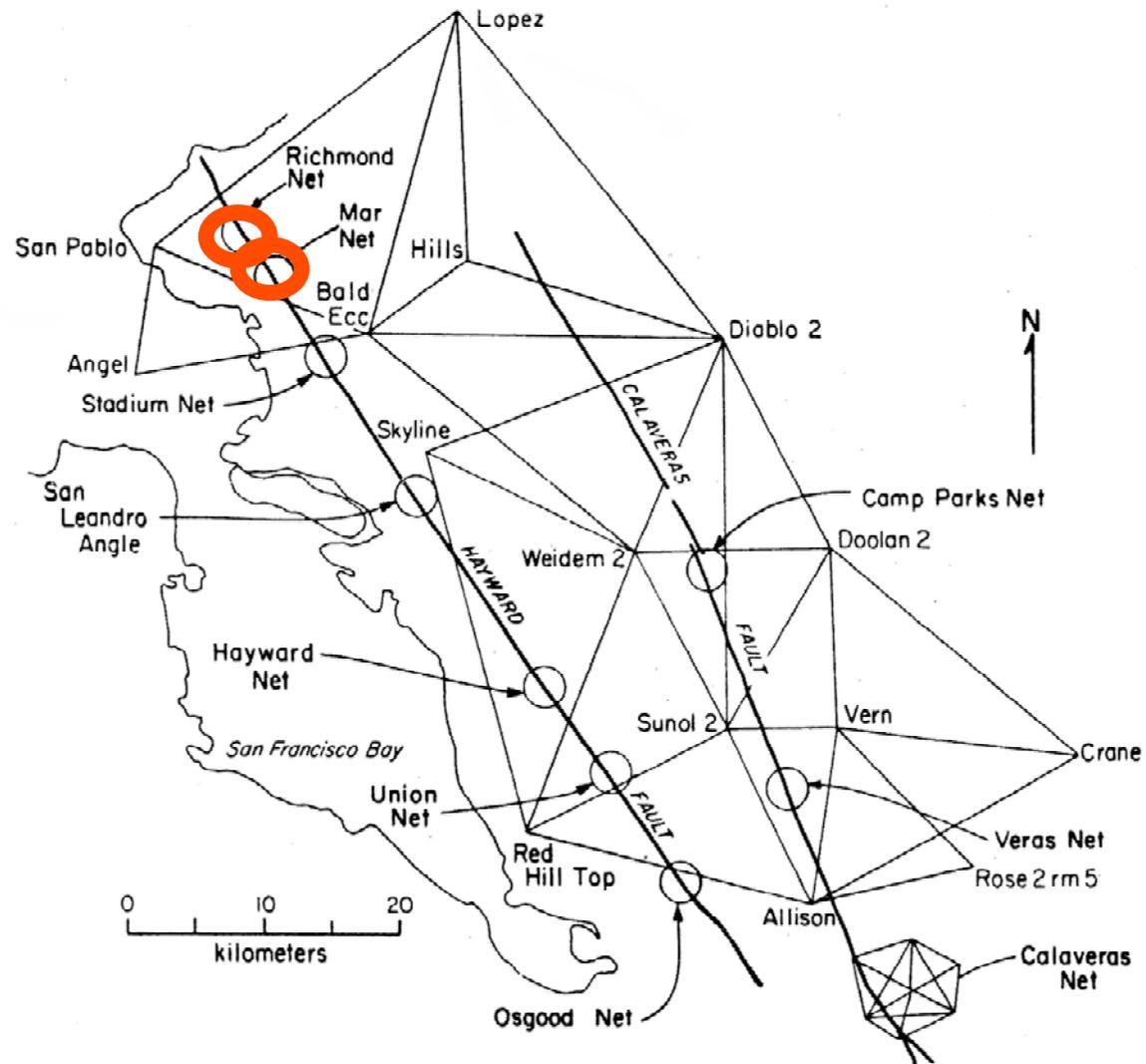
Déplacement relatif (par rapport à un point de référence)

Déformation

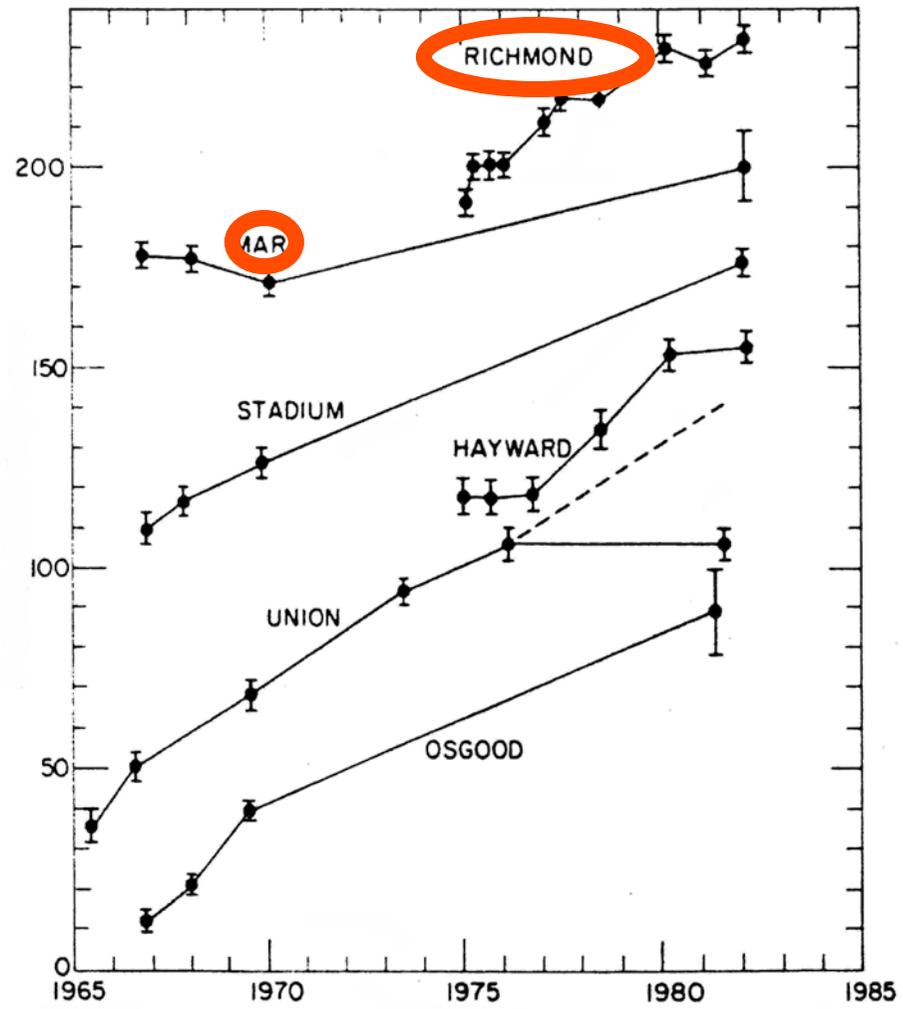
Réseau géodésique de Californie



Réseau géodésique de Californie



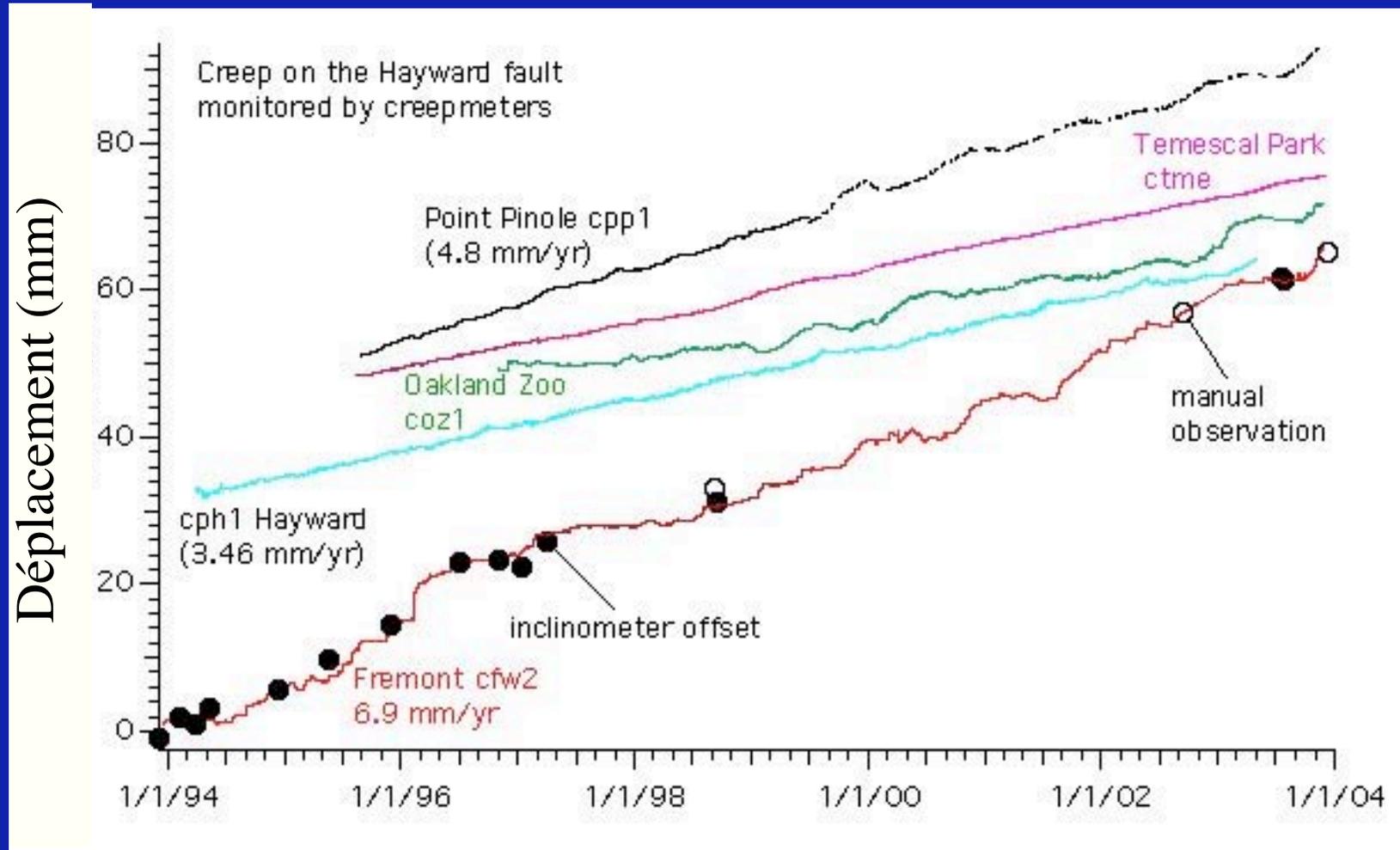
Déplacement (mm)

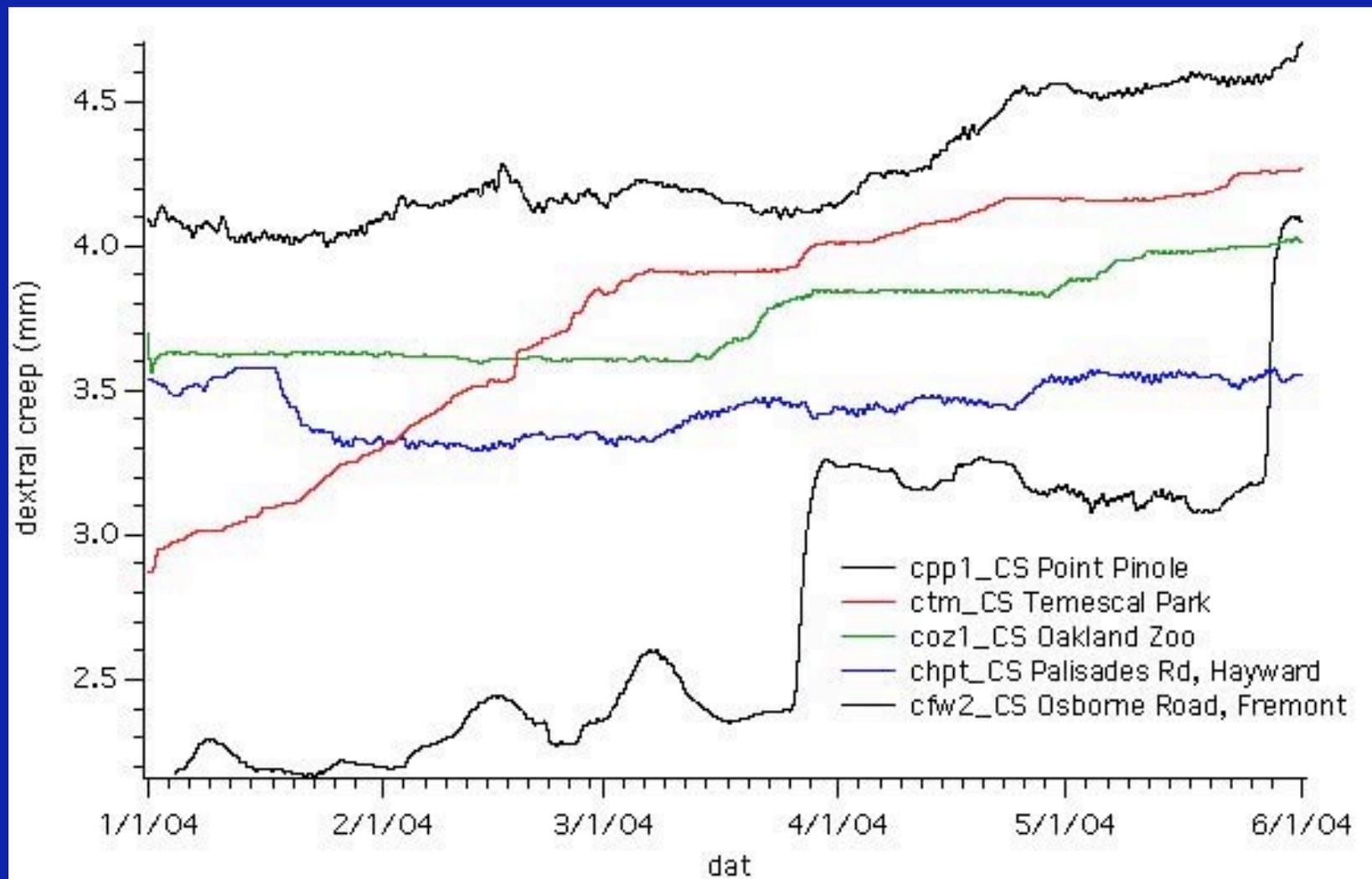


Faille de Hayward (San Francisco)

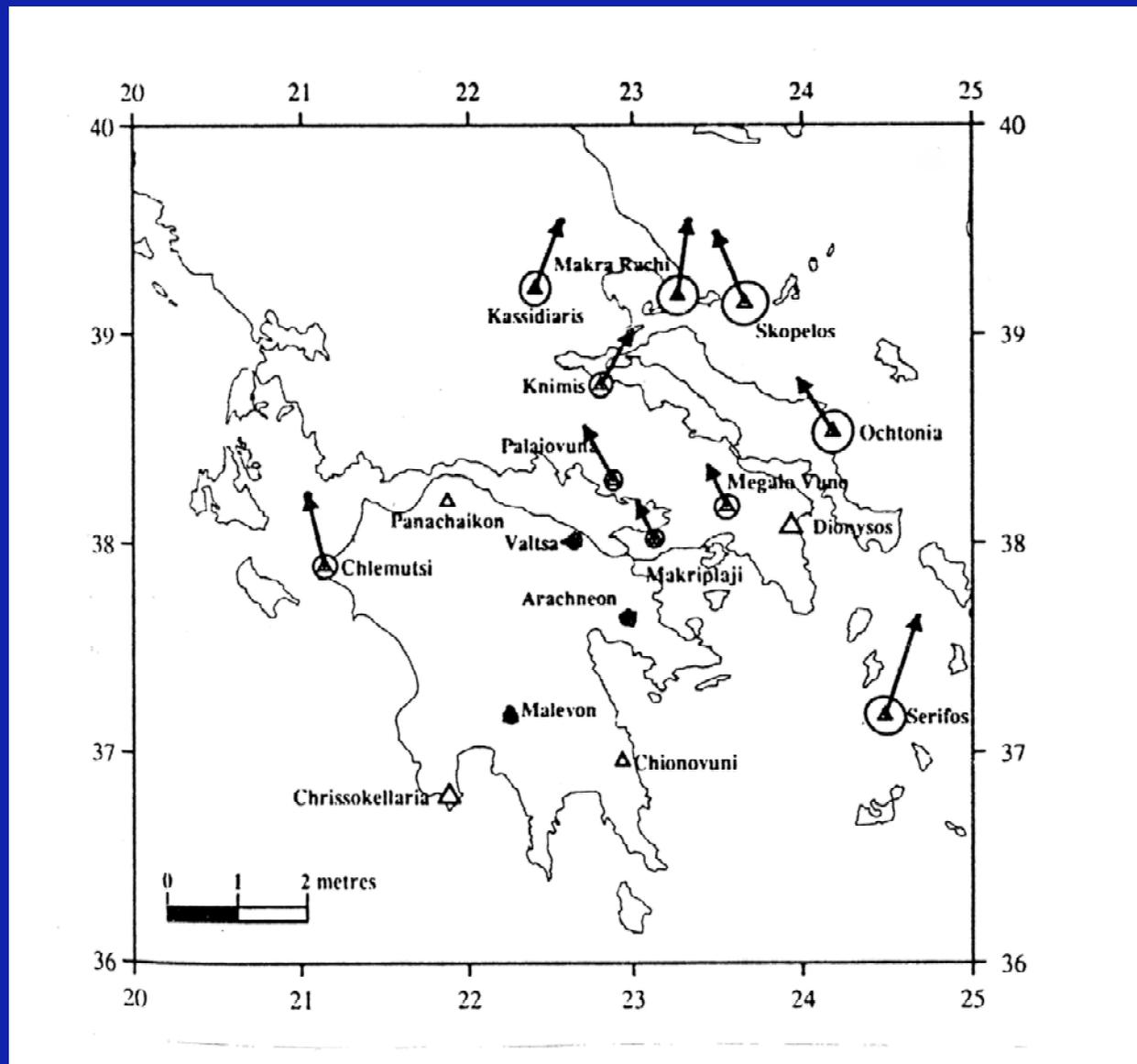


Déplacement lent le long de la faille de Hayward





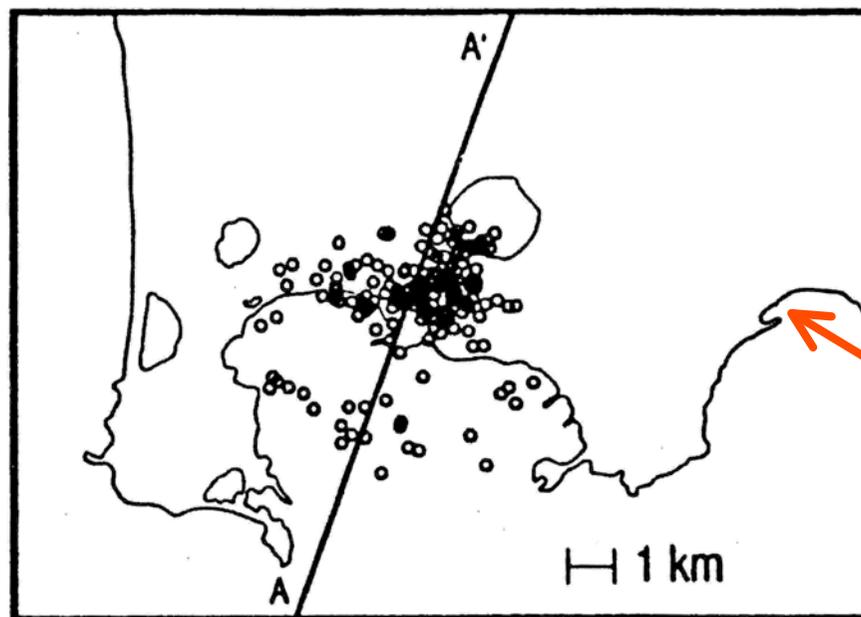
Grèce 1890 - 1988 (≈ 100 ans)



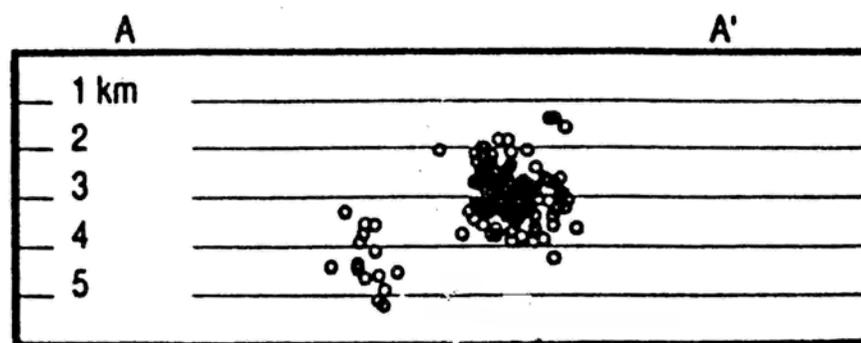
Ouverture de ≈ 1 mètre du Golfe de Corinthe

Crise des Champs Phlégréens (près de Naples) 1982-1983



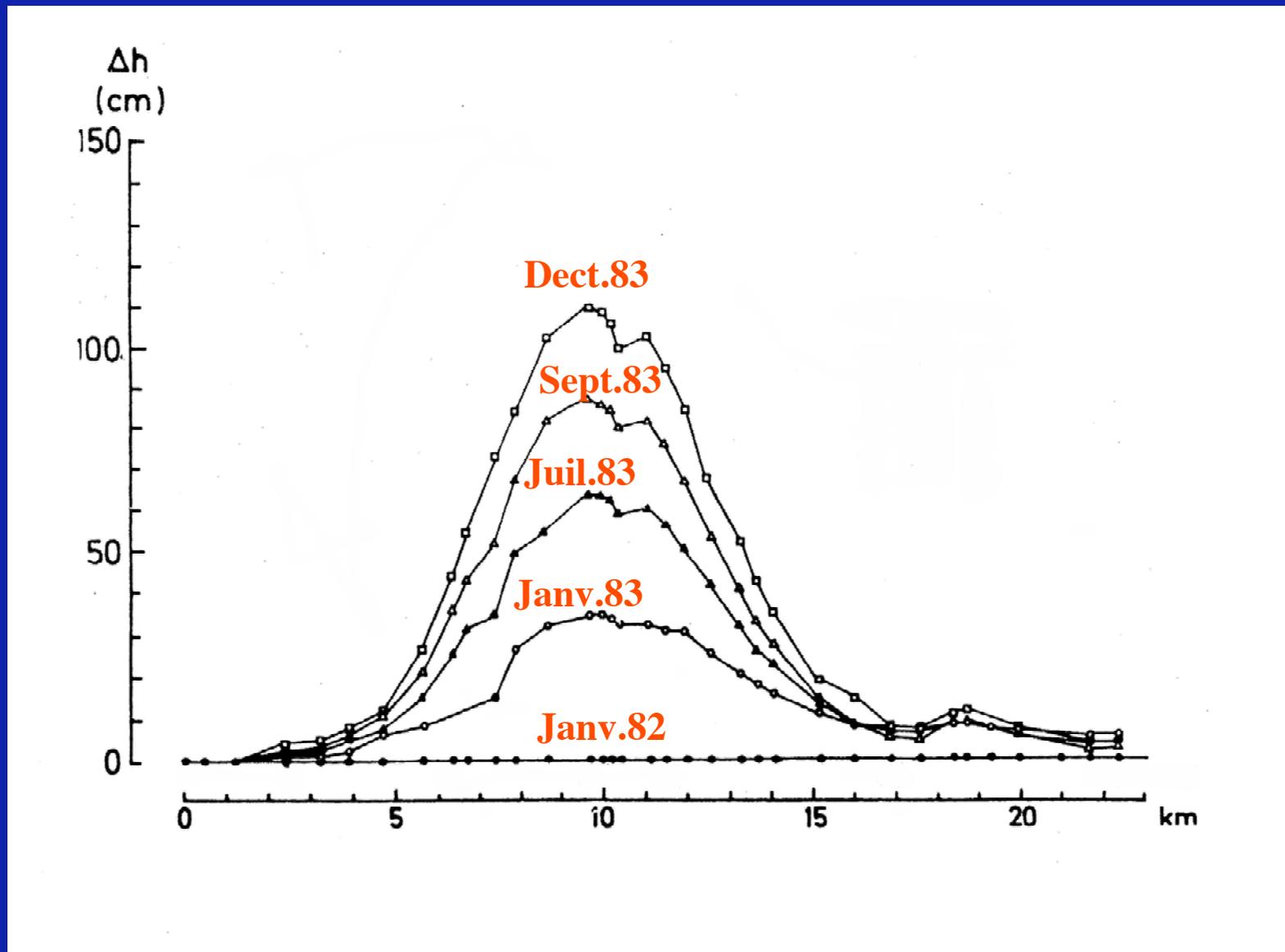


Naples

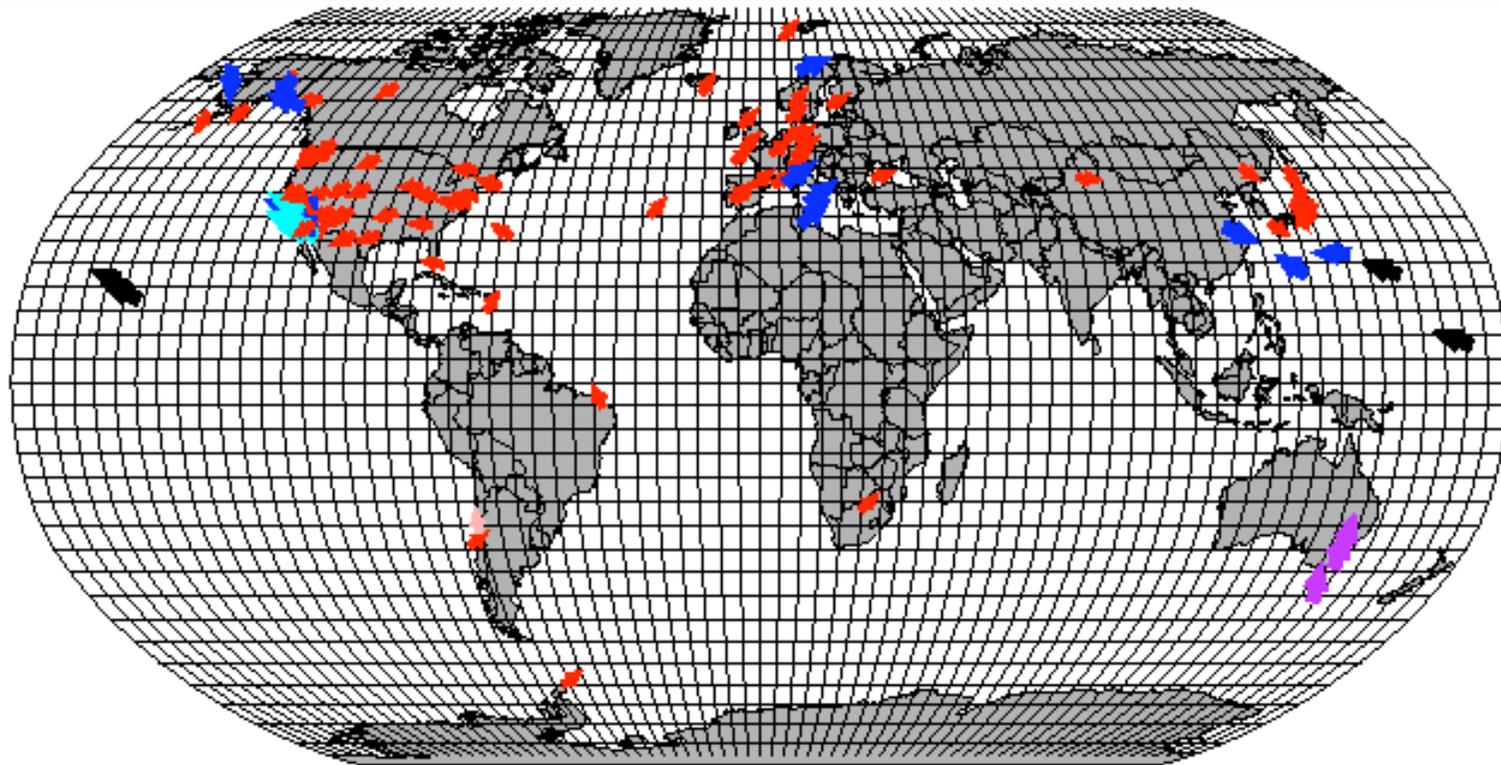


Séismes

Champs Phlégréens (Puozzoli) 1982-1983



Réseau grande maille

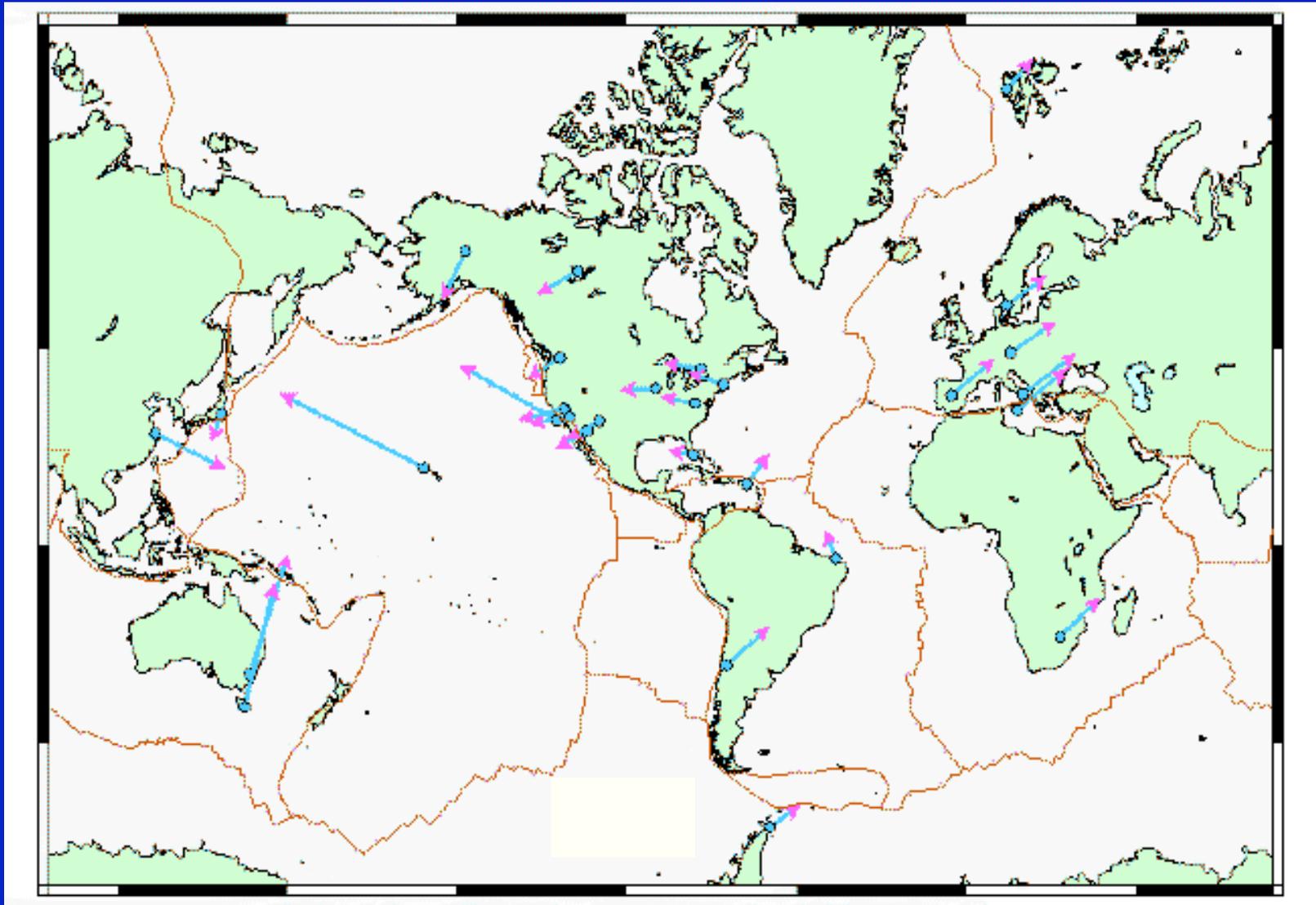


DTAM-1

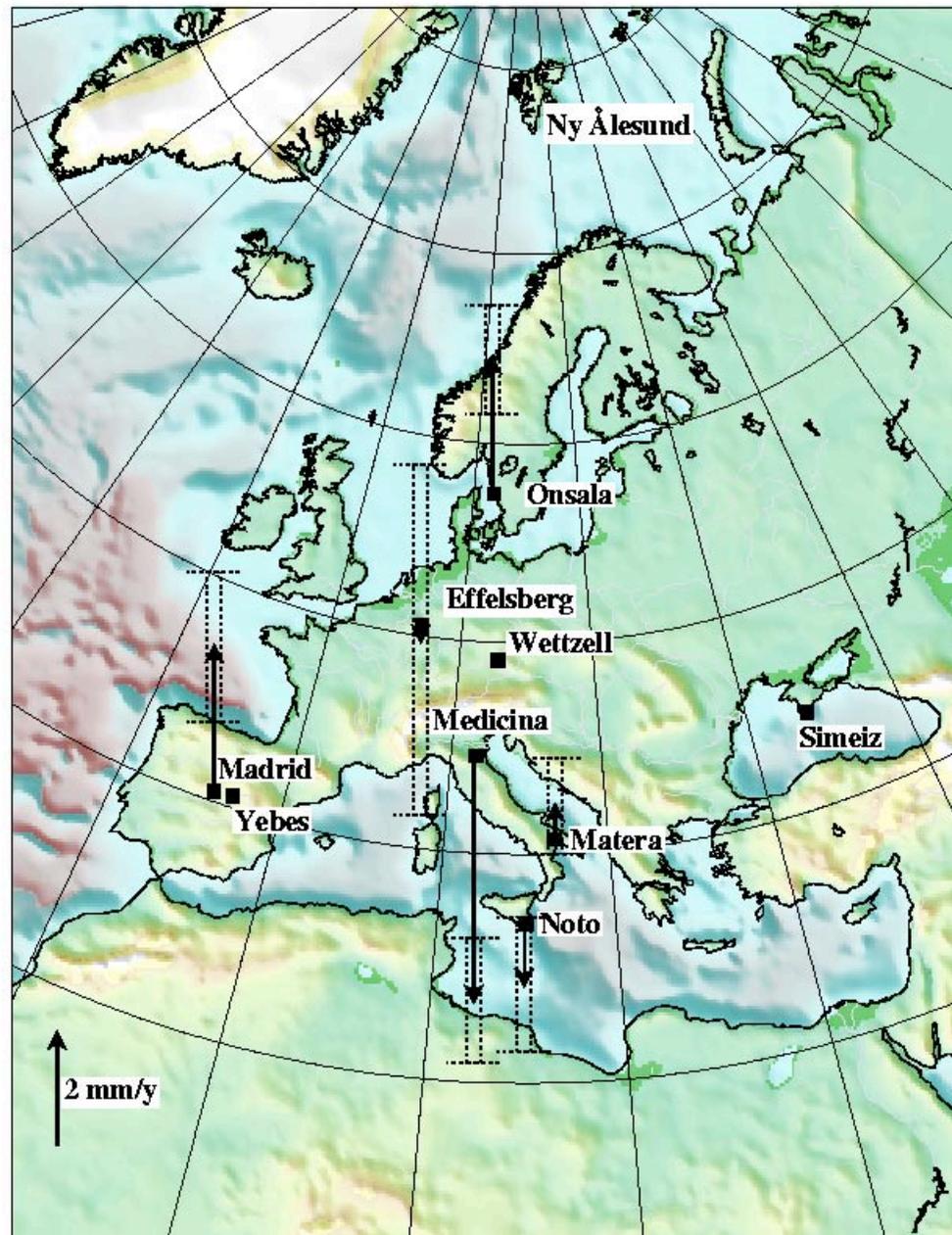
- 3.722 - 11.034
- 11.034 - 25.79
- 25.791 - 40.547
- 40.547 - 55.303
- 55.303 - 70.06
- 70.06 - 77.58

Vitesses (mm/an)

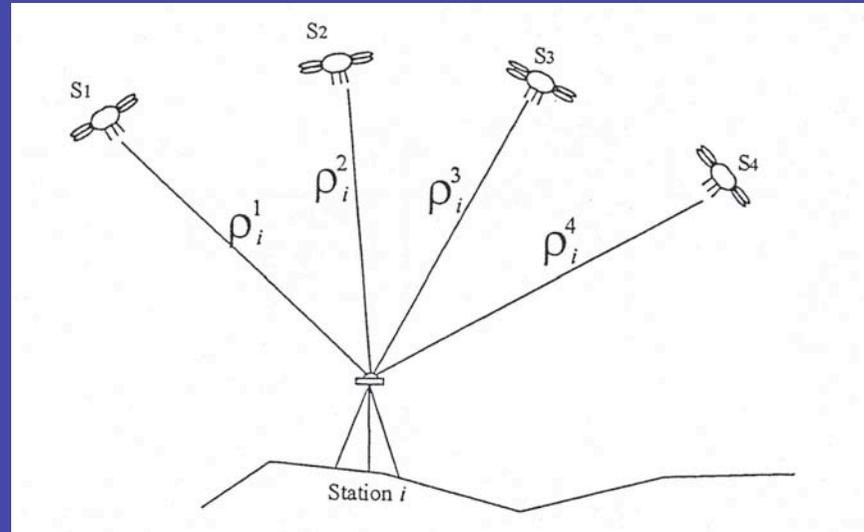
Réseau grande maille



Echelle : 1 cm/an —

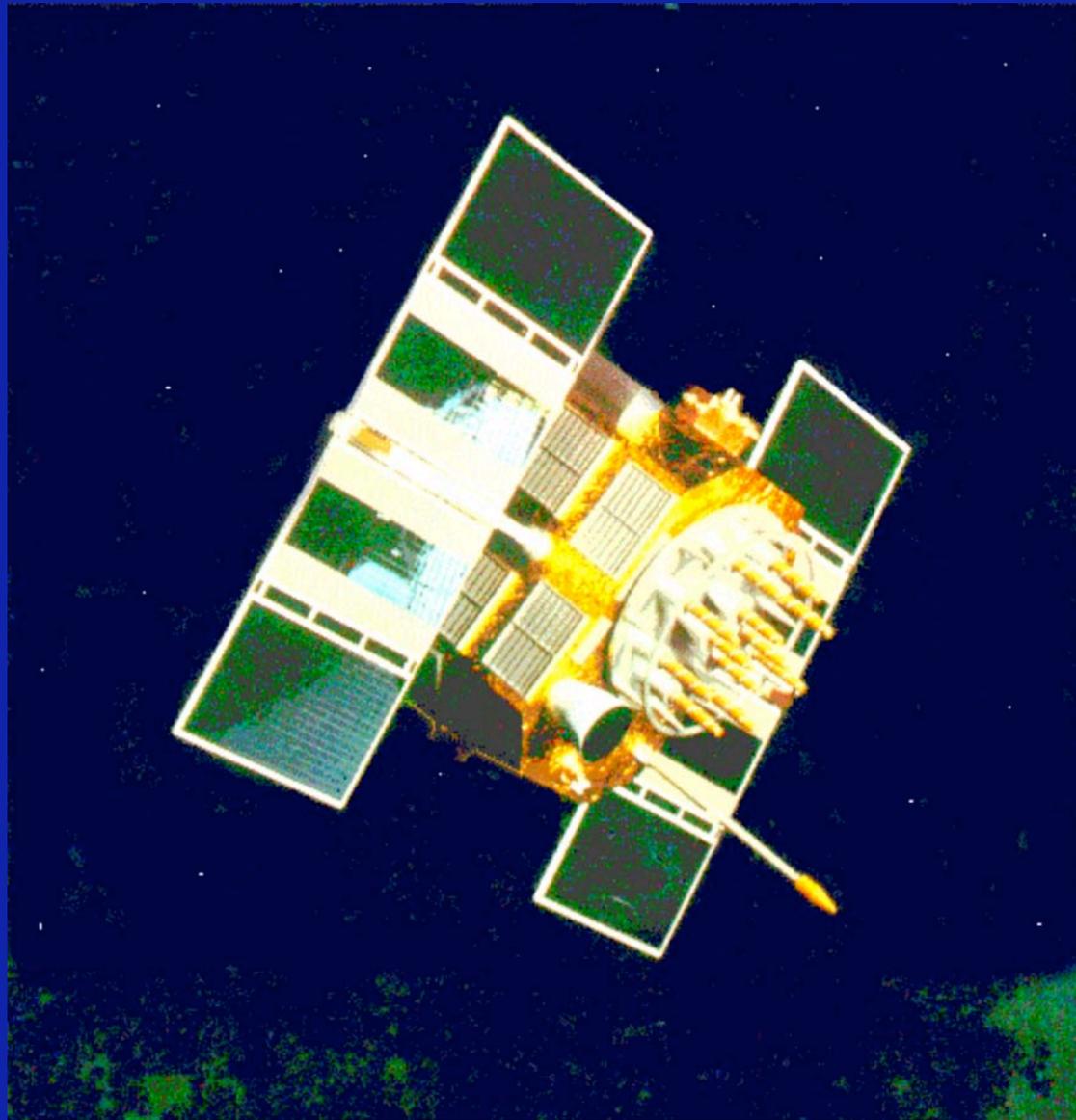


GPS -> Galileo

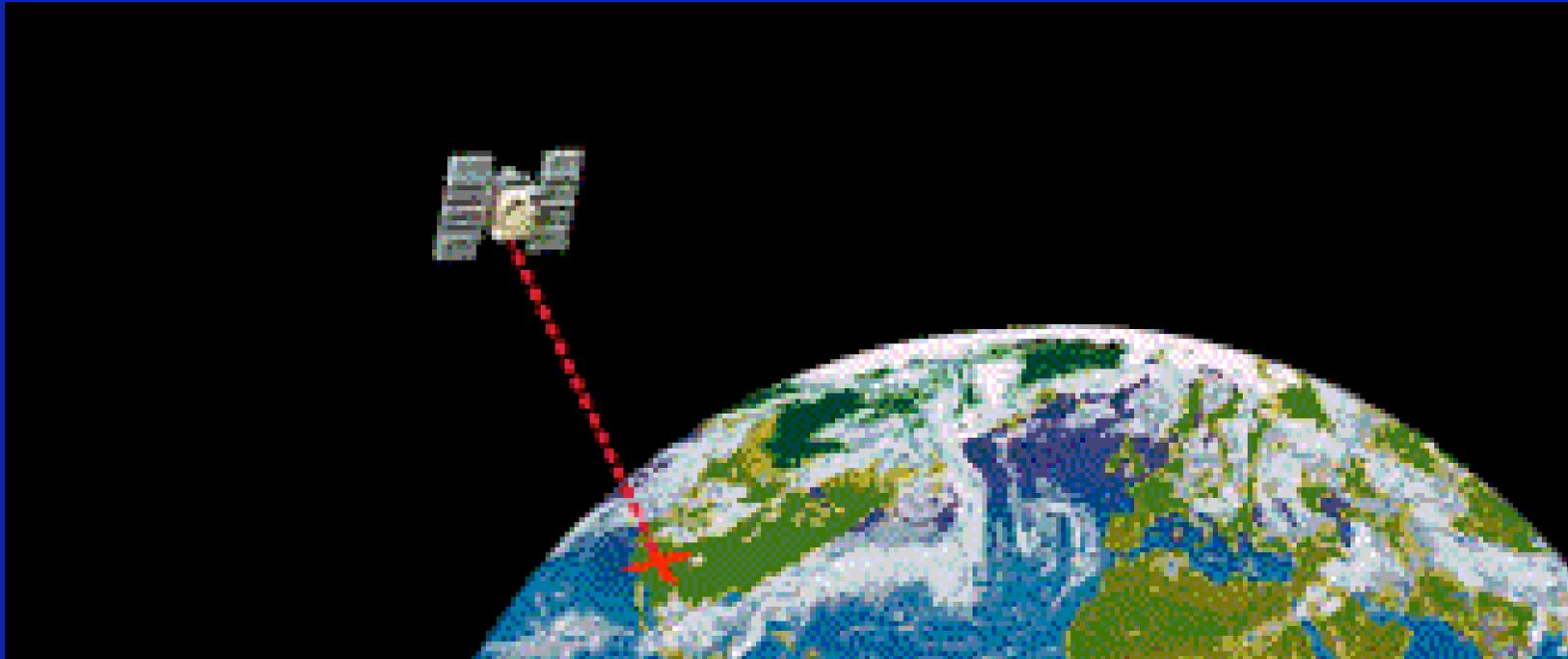


Un point au sol a besoin de recevoir les données
provenant de quatre satellites au moins:

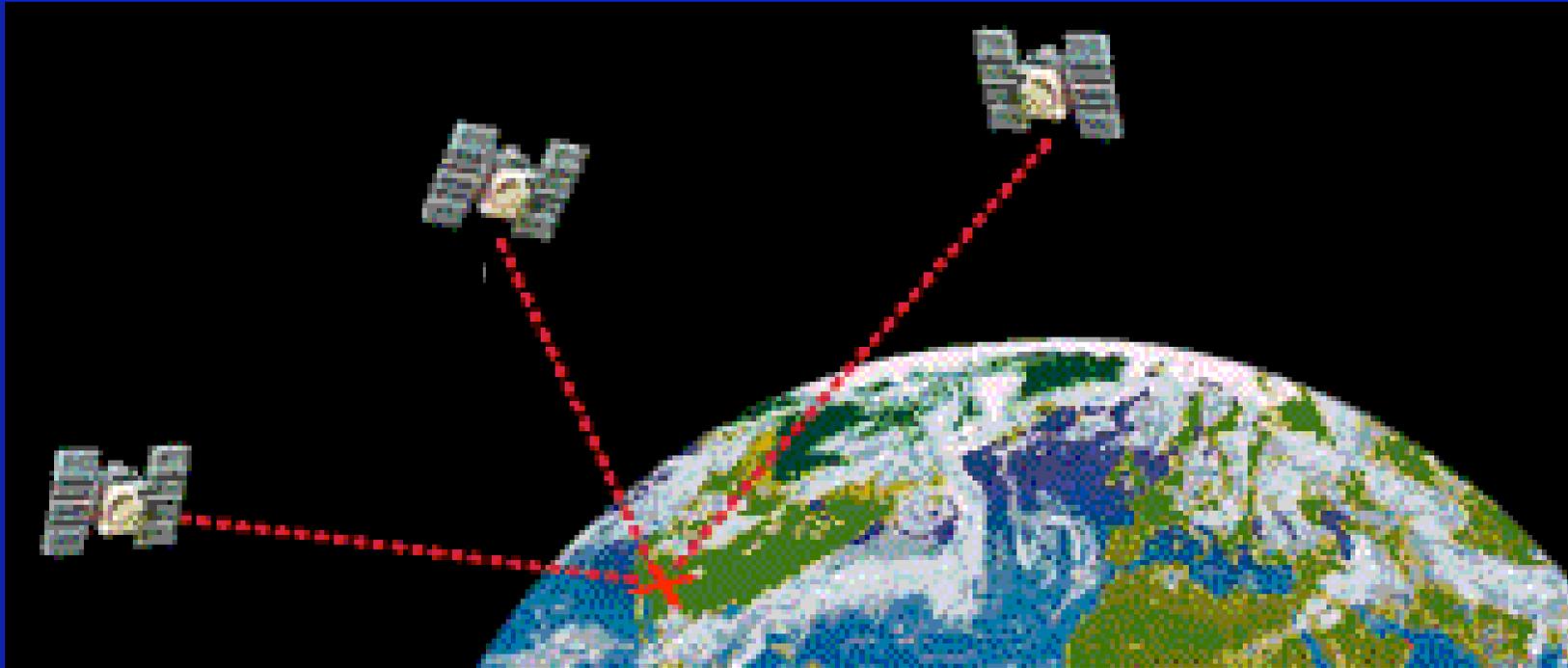
- * trois pour connaître sa position absolue
- * un pour connaître le temps.



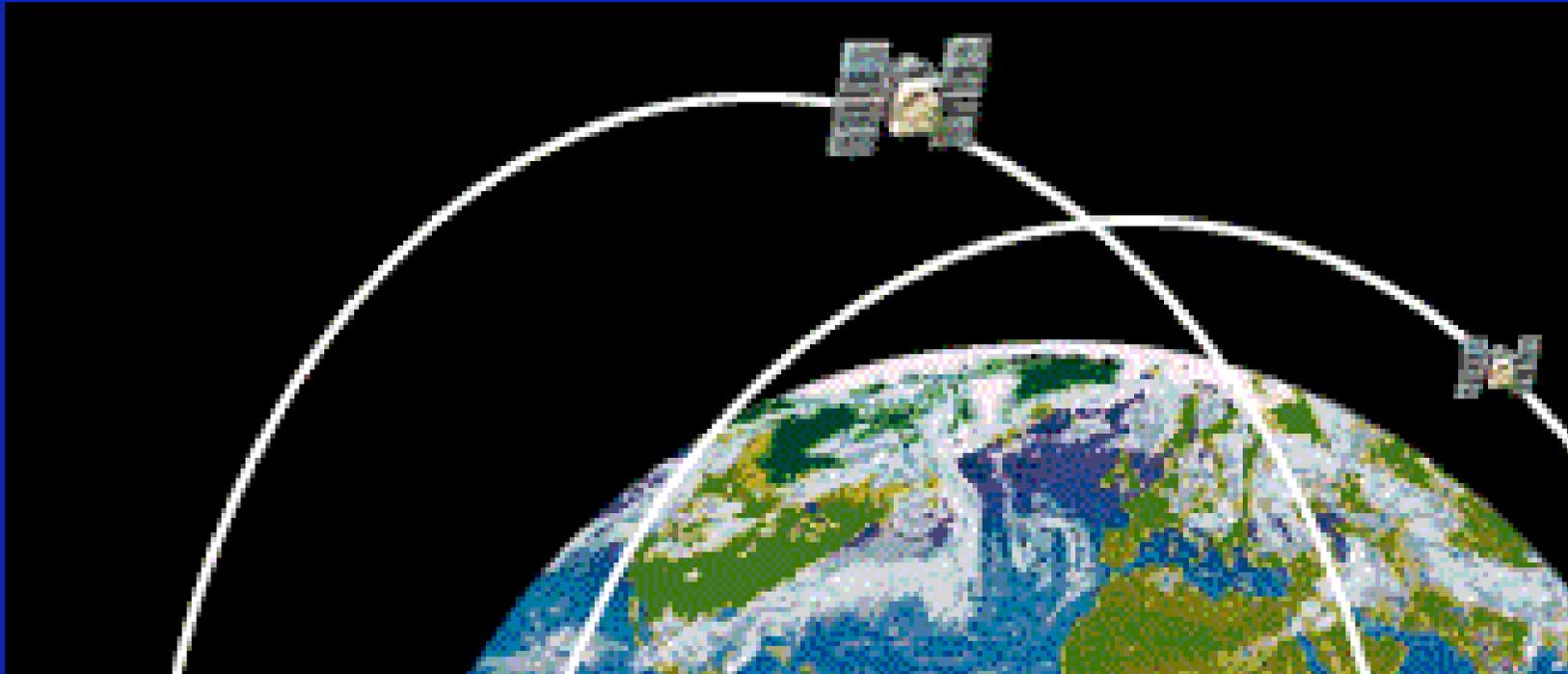
1ère étape : mesurer la distance entre le satellite et le récepteur



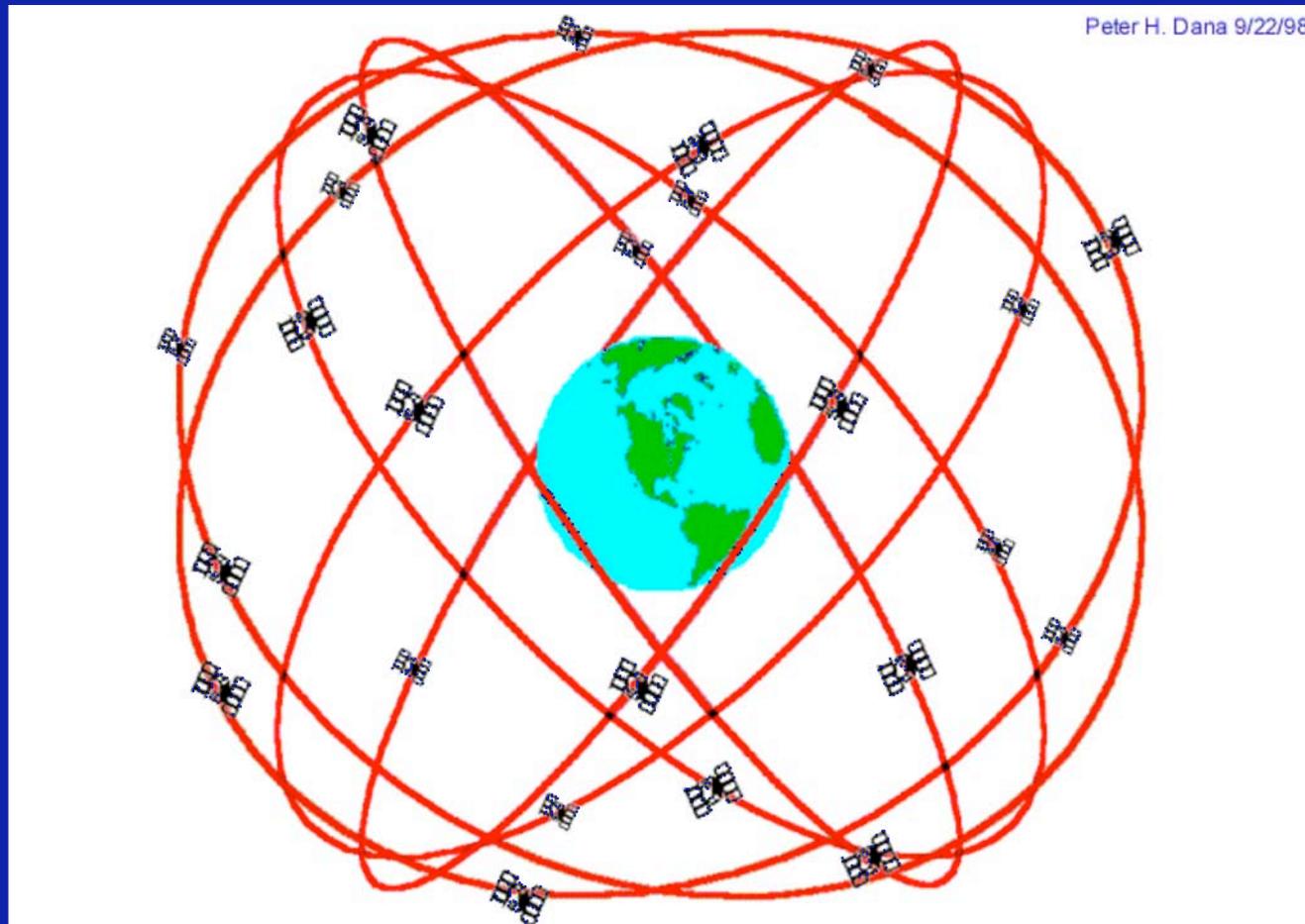
Trois satellites peuvent localiser un point si leurs positions sont connues



Les orbites des satellites sont très bien connues: il suffit de s'assurer que les mesures sont bien faites au même moment. Le temps est donc la quatrième variable à déterminer.



La constellation GPS

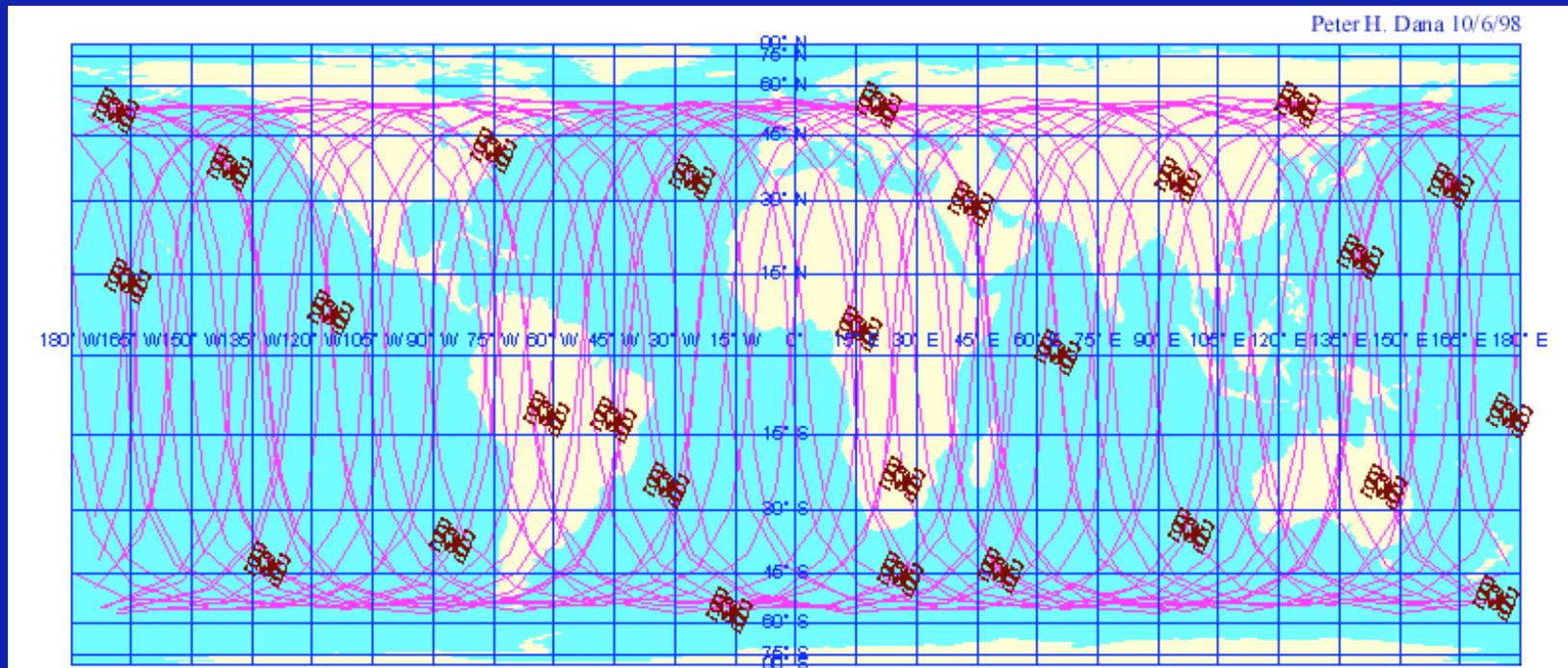


24 satellites

6 plans orbitaux

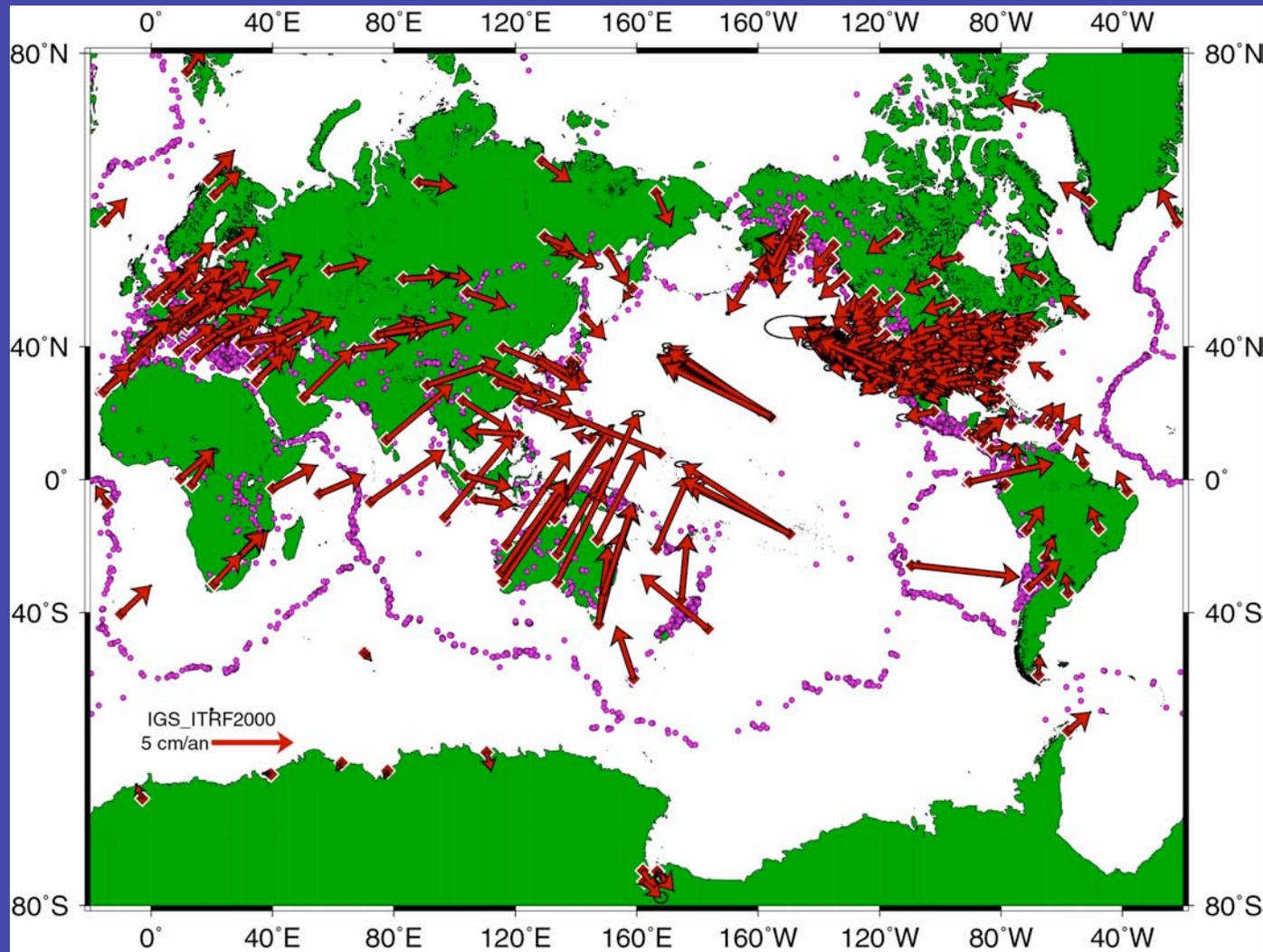
4 satellites par plan orbital

Couverture du réseau GPS en 24 heures (pour 27 satellites en 1998)

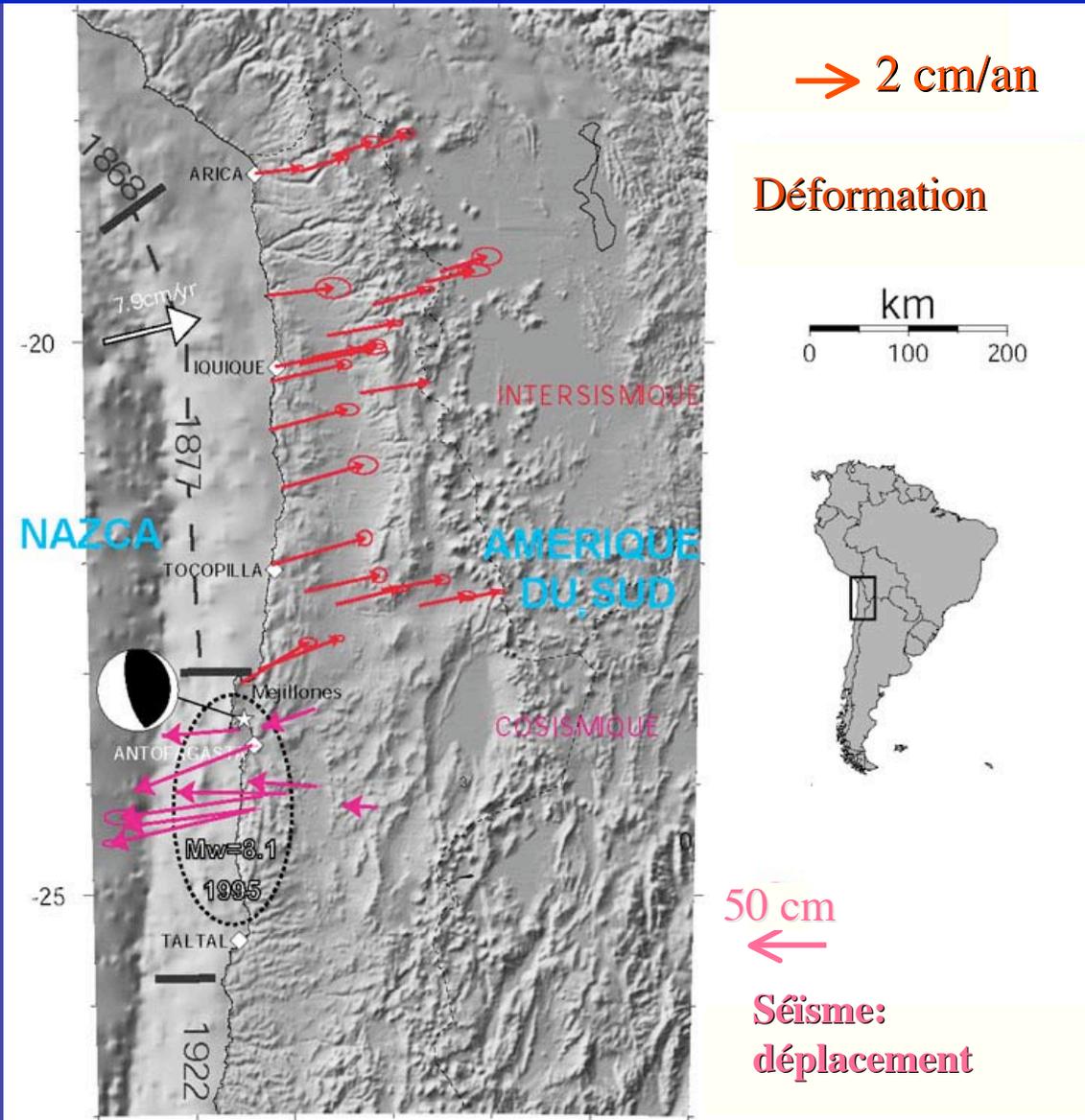


GPS - résultats

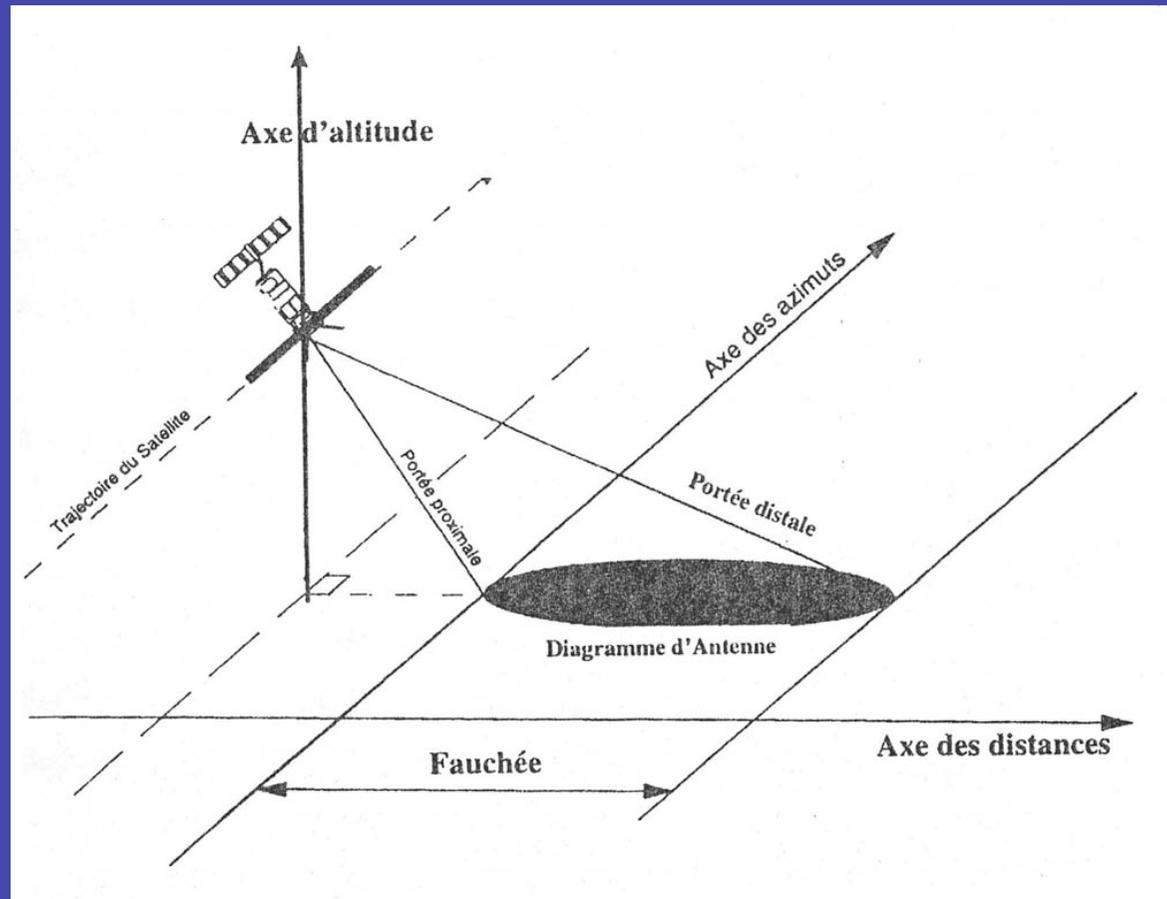
1. Echelle globale



2. Echelle locale : le Chili

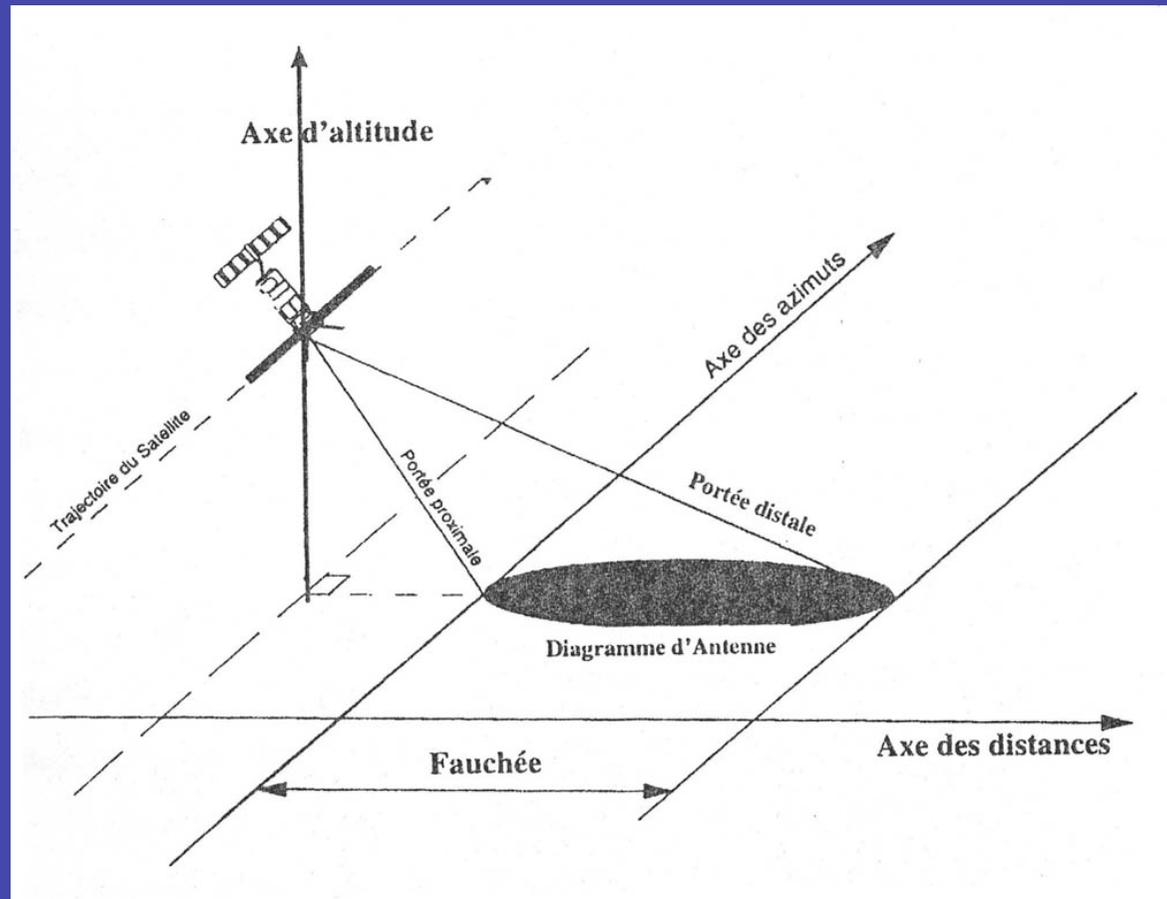


Interférométrie Radar (SAR)



Le satellite envoie vers la surface terrestre un faisceau d'ondes radar de longueur d'onde $\sim 3-6$ cm. Pendant l'acquisition d'une image, le satellite balaie une région de 100×100 km.

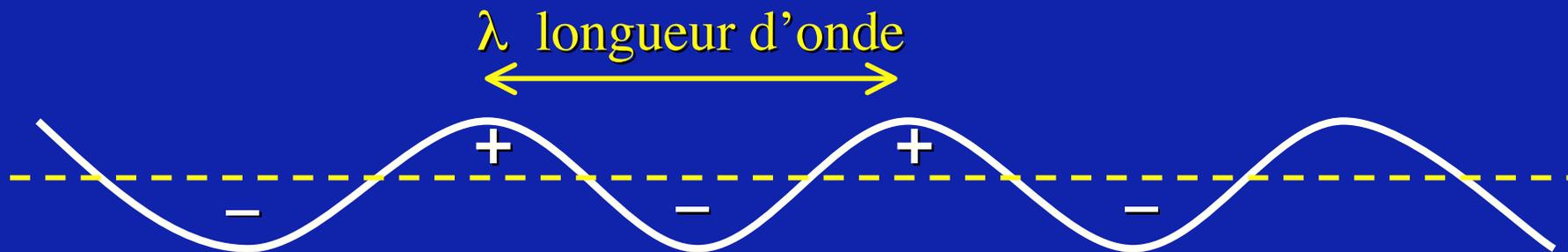
Avantages



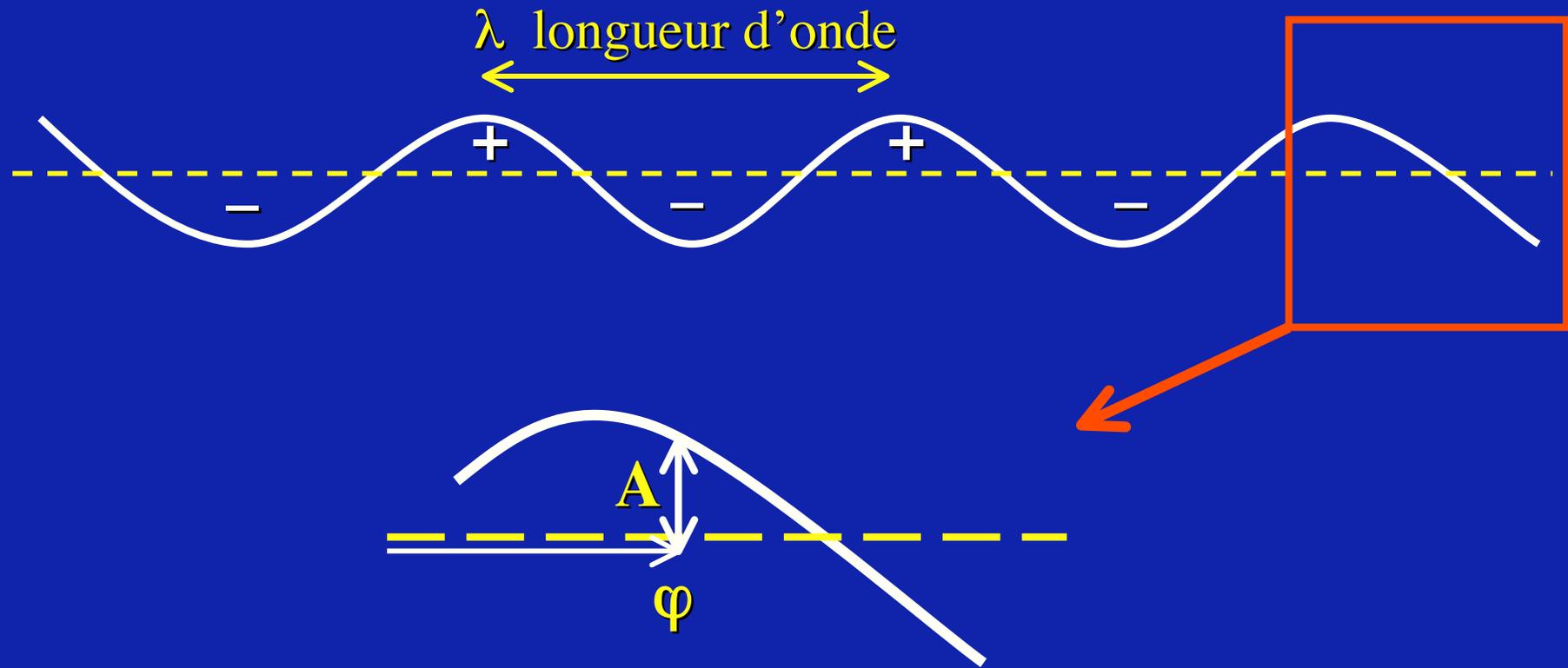
- (1) détermine le champ de déformation sur une surface.
- (2) mesure avec précision (\approx cm).
- (3) mesure des régions difficiles d'accès.
- (4) assure la même qualité et précision sur tout le globe

Interférométrie

Une onde (électromagnétique, lumière) est une oscillation avec des noeuds (>0) et des nœuds (<0).



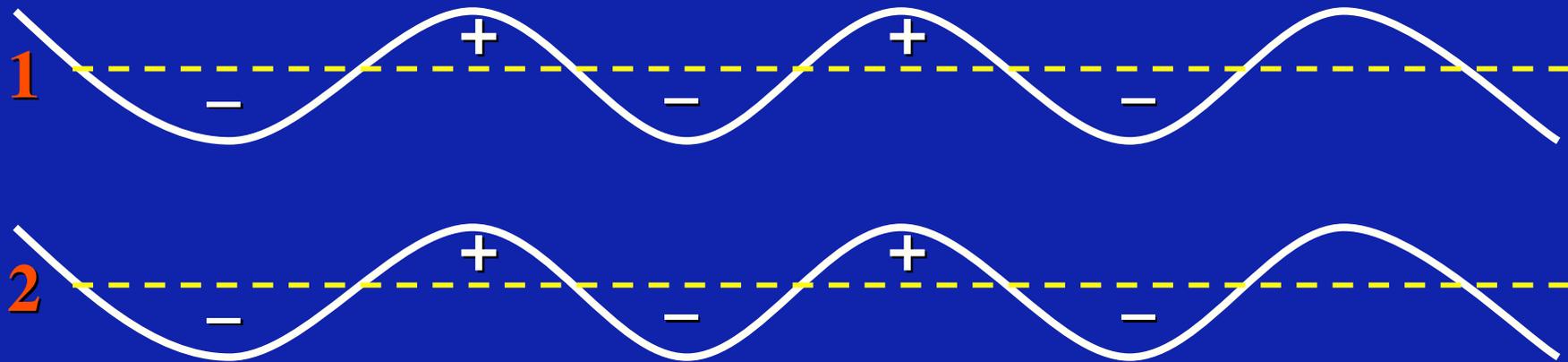
En point et à un temps donné, l'onde se caractérise par deux paramètres : l'amplitude et la phase.



En point et à un temps donné, l'onde se caractérise par deux paramètres : l'amplitude A et la phase φ .

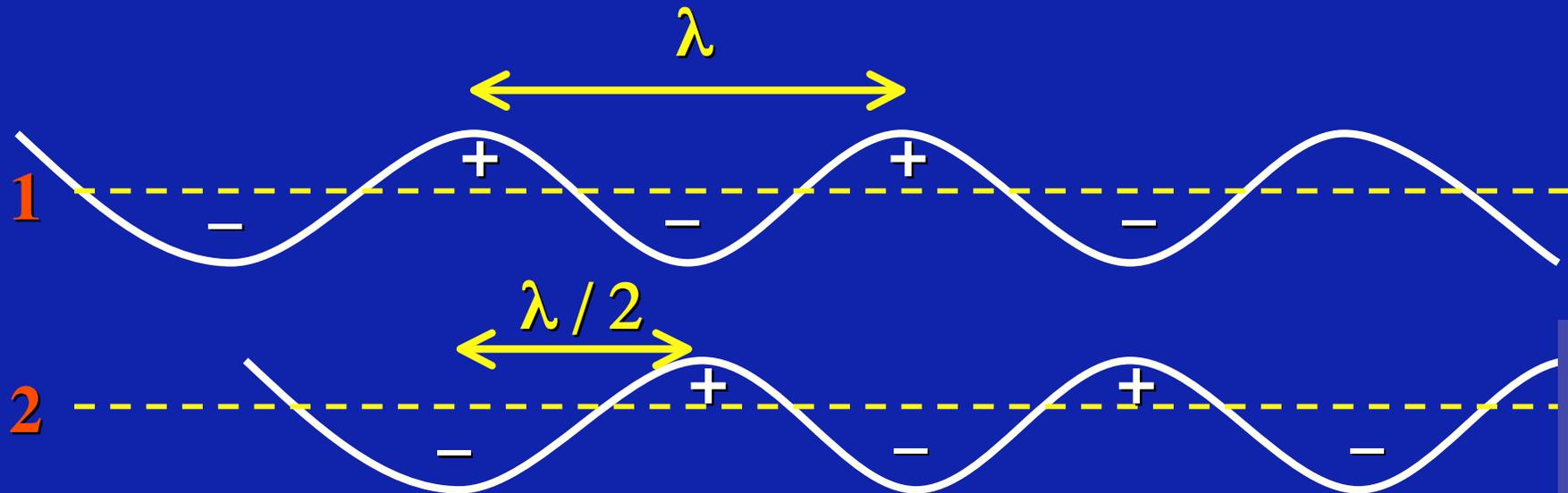
On superpose (additionne) deux ondes.
Deux cas limites en fonction des phases des deux ondes.

1. Interférence constructive : même phase.

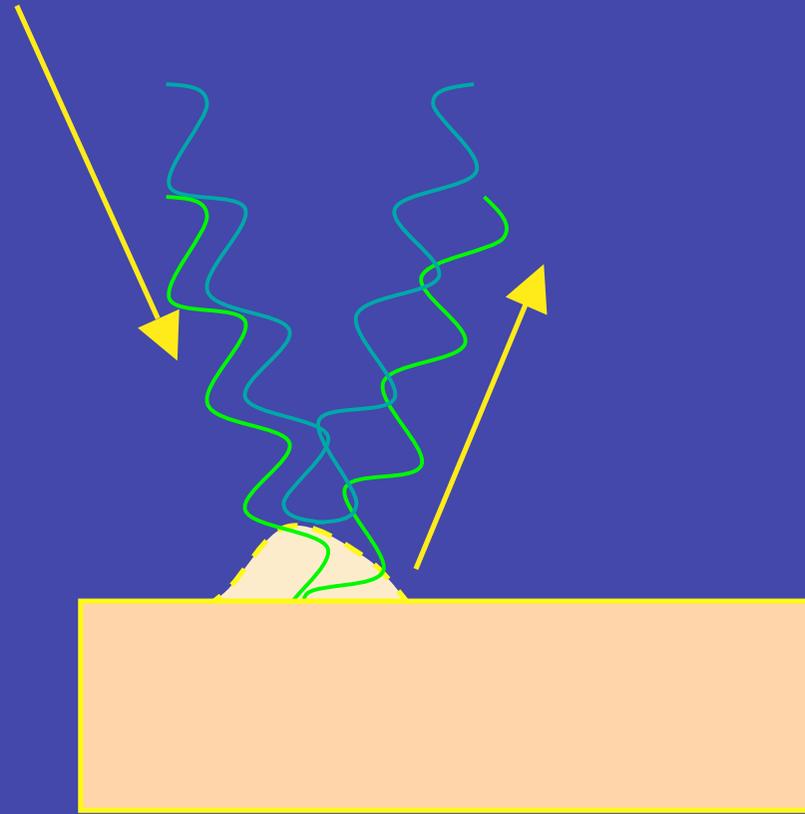


Résultat : renforcement du signal.

2. Interférence destructive : phases décalées de $1/2$ longueur d'onde.

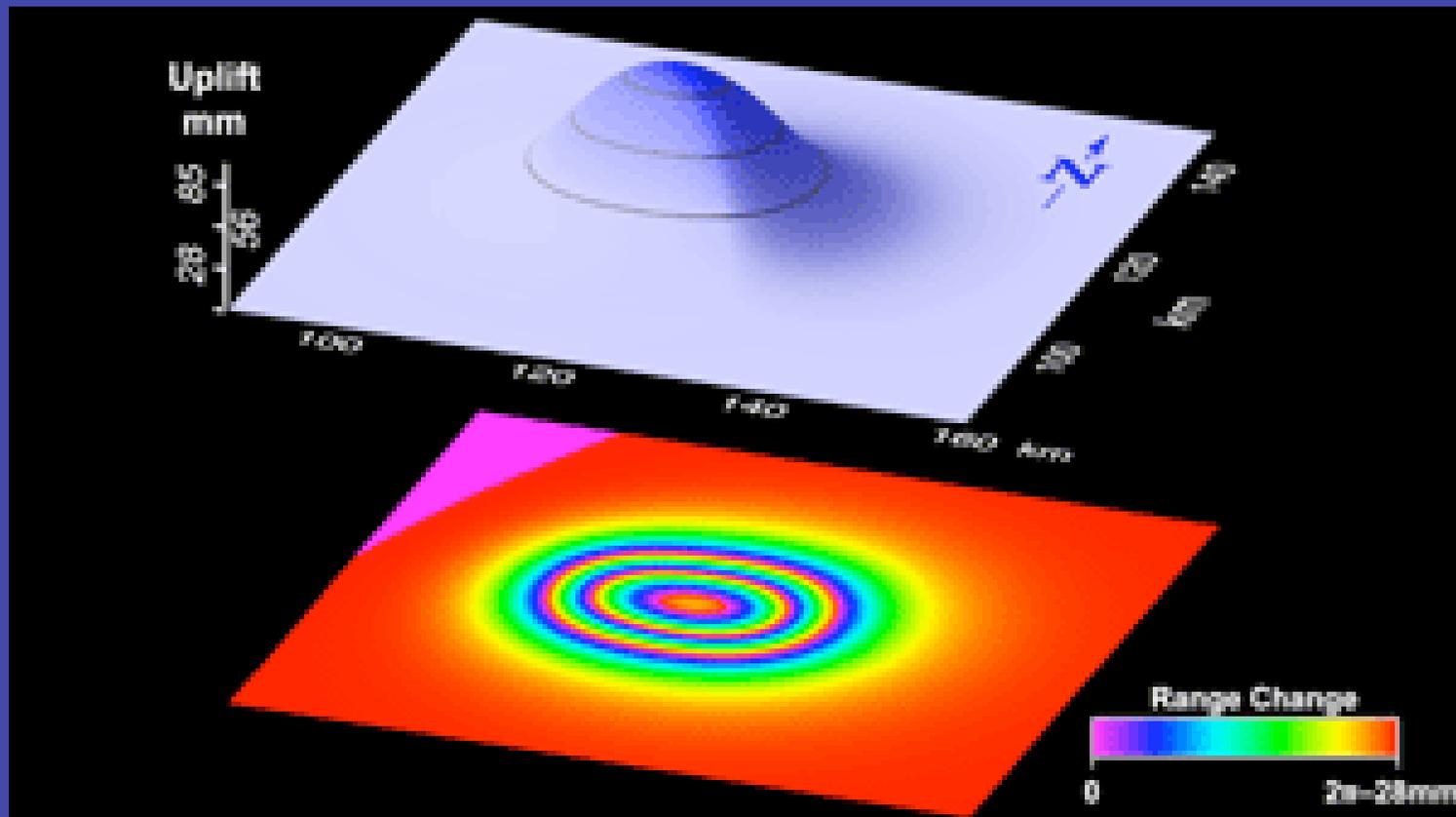


Résultat : extinction du signal.

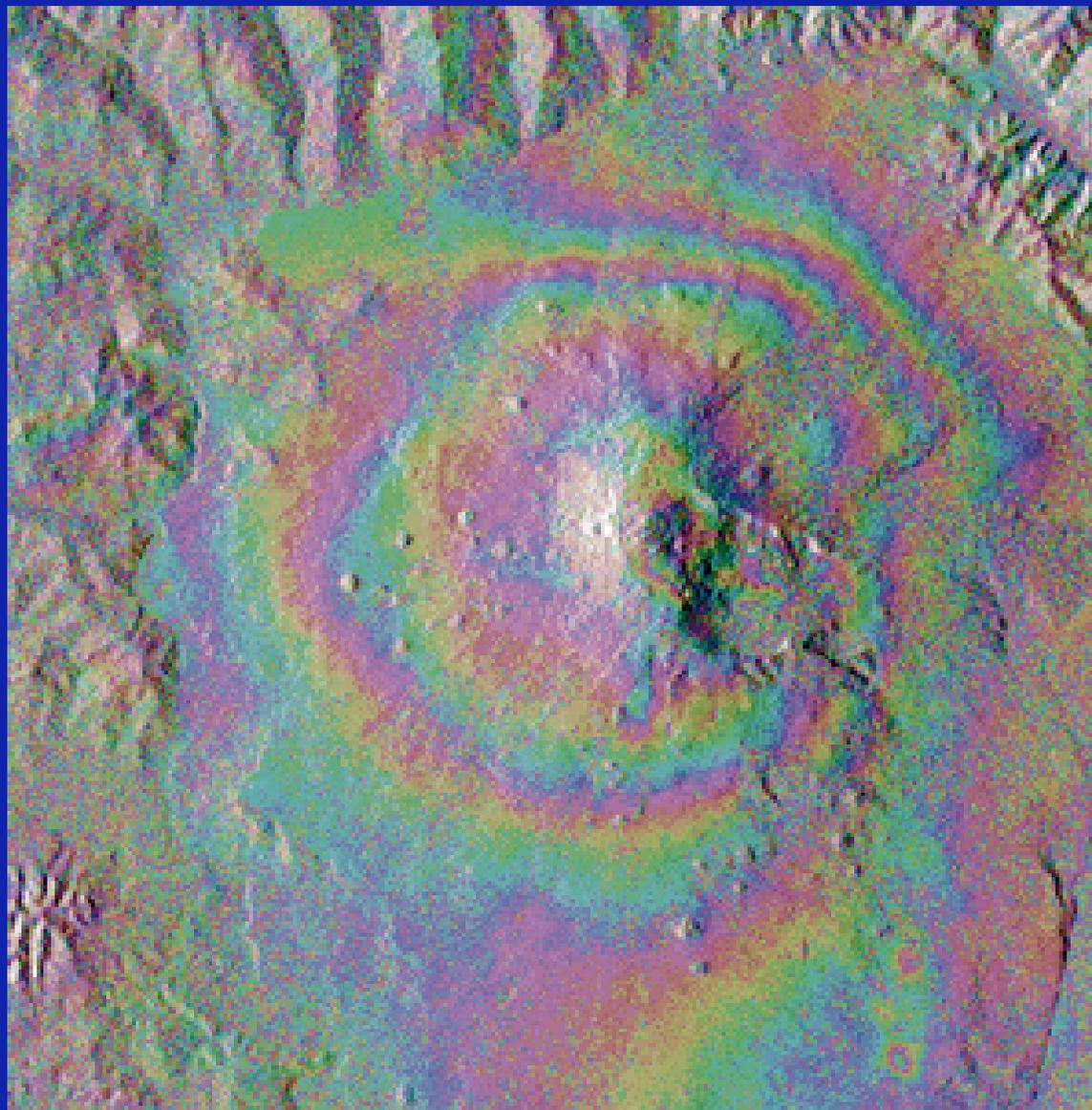


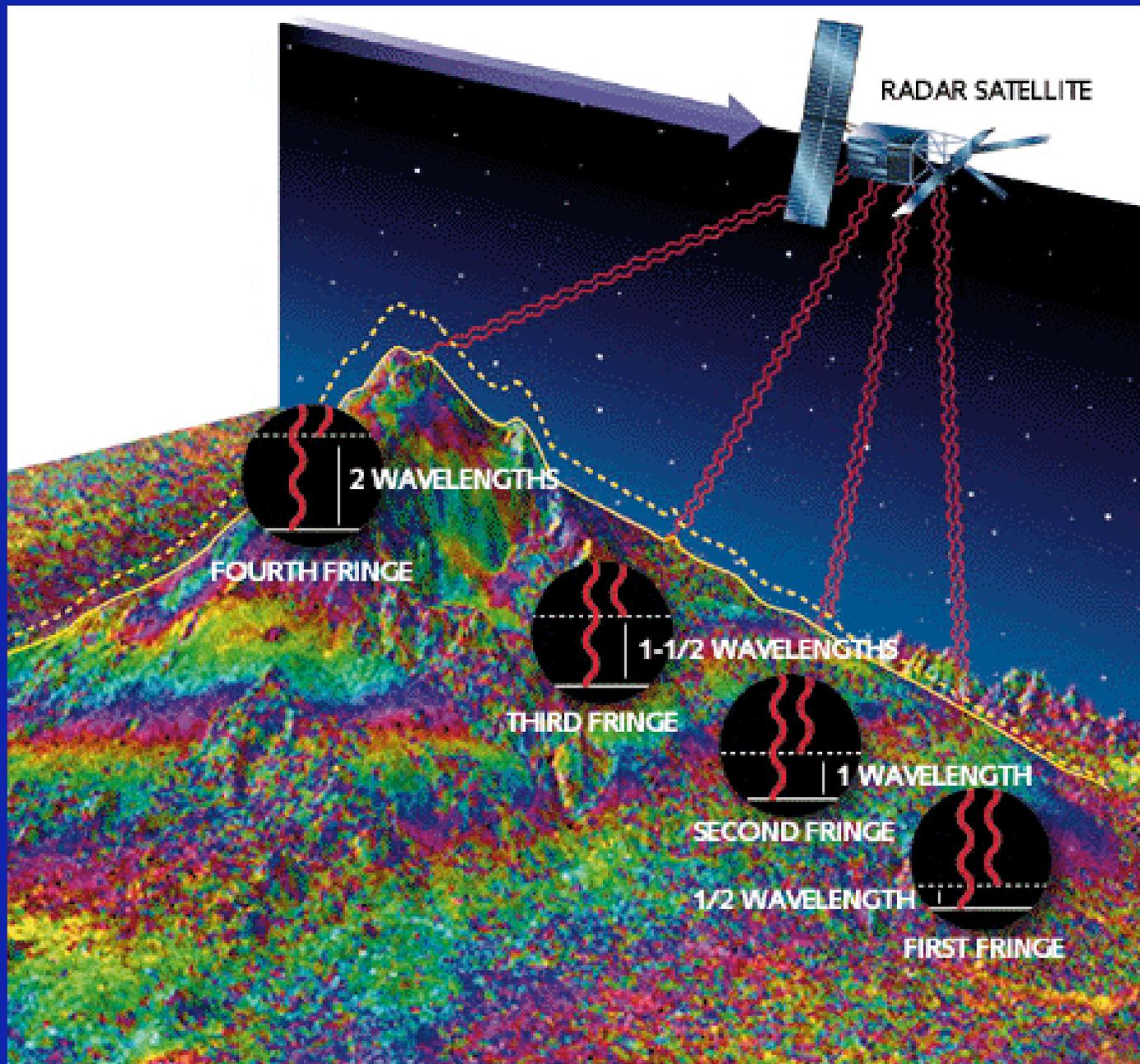
Si, entre deux passages, la forme de la terre a changé,
la phase des ondes enregistrée dans la nouvelle image change aussi.
En soustrayant cette image de l'originale,
on détecte de très petits changements.

10 cm de soulèvement ≈ 3 systèmes de franges d'interférence



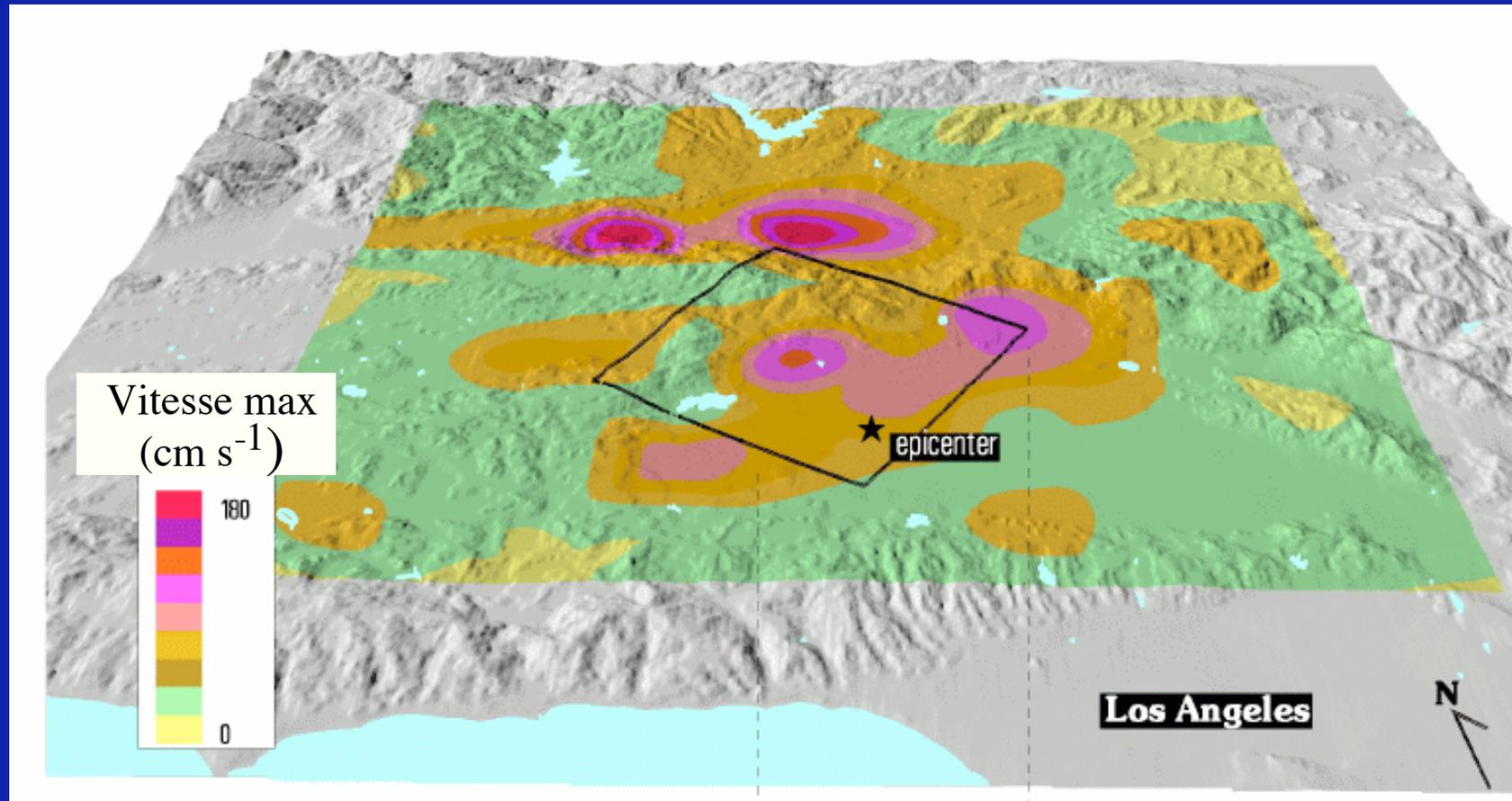
Volcan Etna (Sicile)

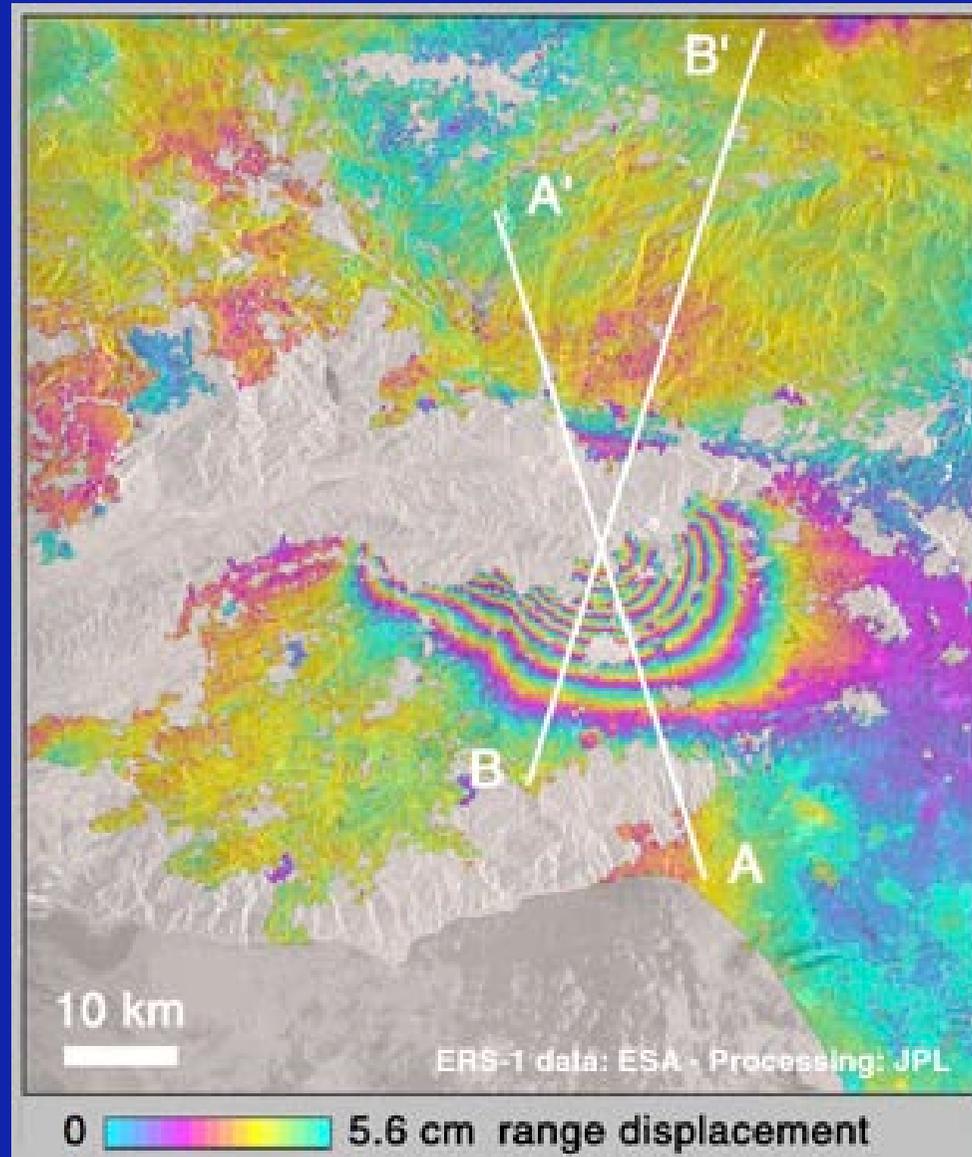


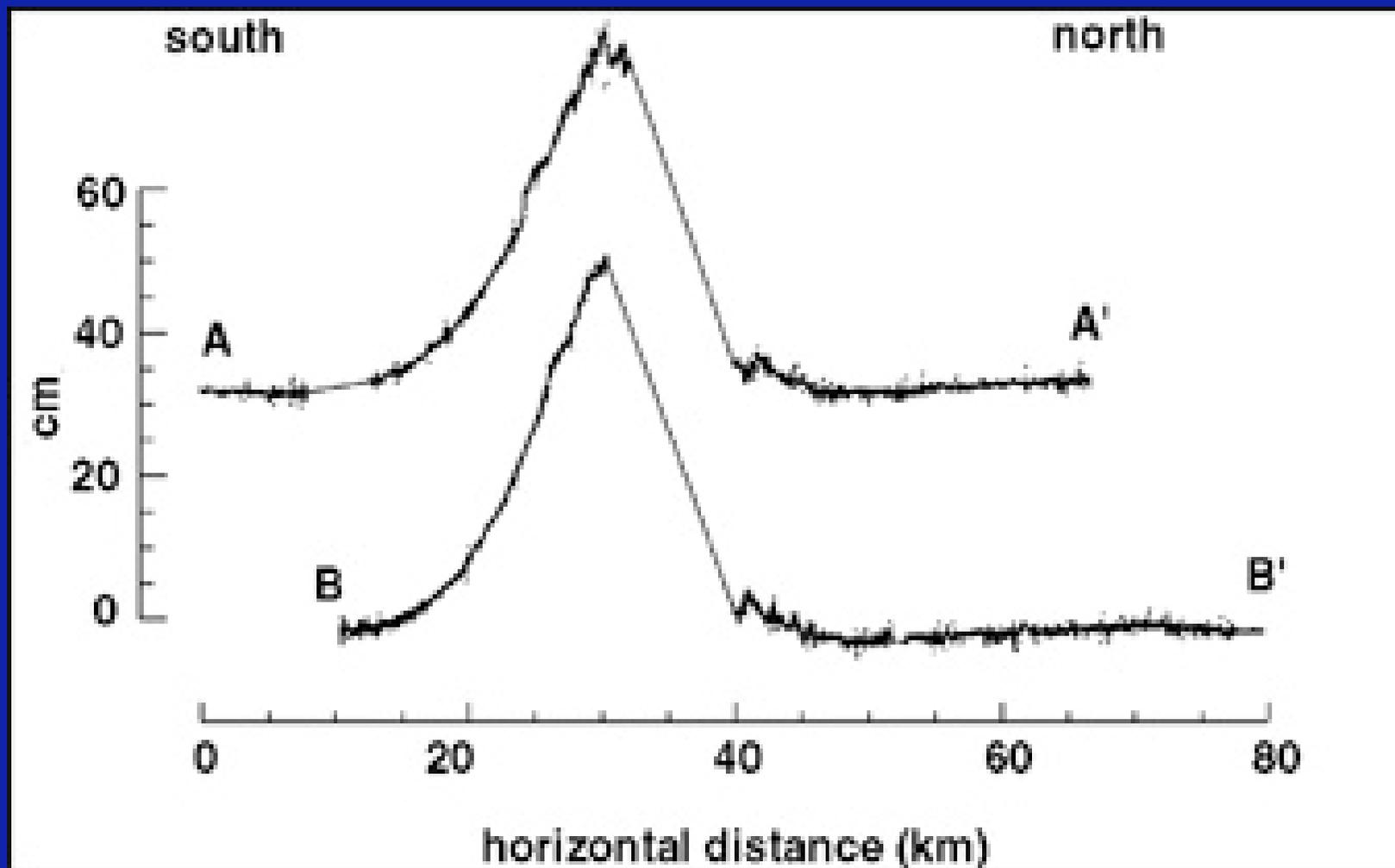


Les franges d'interférence sont séparées de $1/2$ longueur d'onde ($\approx 2\text{cm}$)

Tremblement de terre de Northridge (36 km Los Angeles) 17/01/94







Contraintes ?

$$\varepsilon \approx 1 \text{ m} / 10 \text{ km} \approx 10^{-4}$$

$$\sigma = \lambda \varepsilon$$

$$\lambda \approx 10^{10} \text{ Pa}$$

$$\sigma \approx 10^6 \text{ Pa}$$

(10 bars)

Tremblement de terre de Landers (≈ 50 km Las Vegas) 28/06/92

