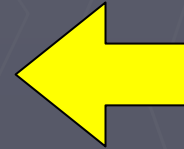


## TD2 – la Terre : Analyse des structures internes

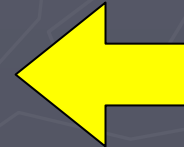
### Méthodes d'analyse indirects pour découvrir la structure interne de la Terre

1) gravimétrie et isostasie



2) magnétisme

3) sismologie



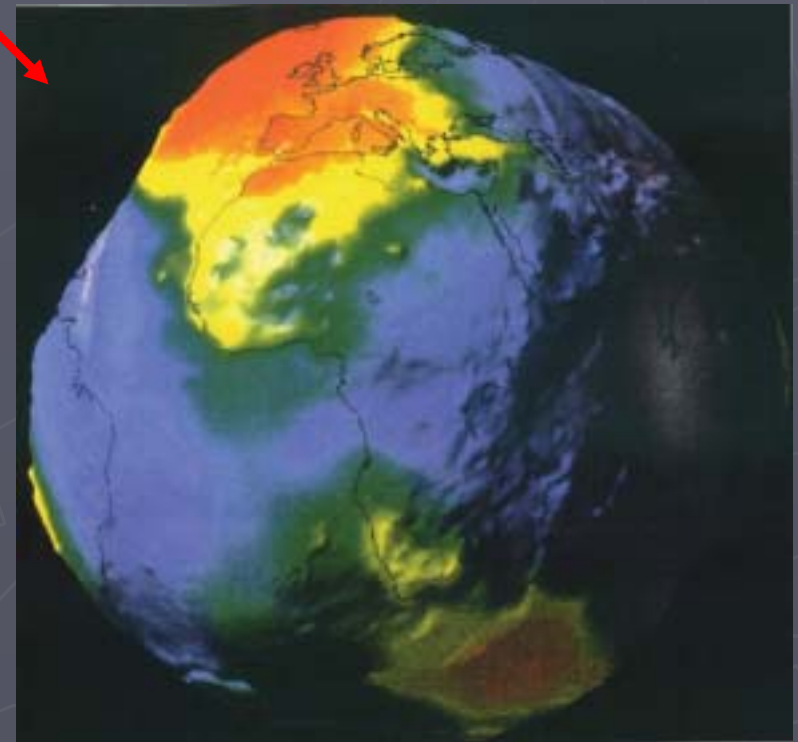
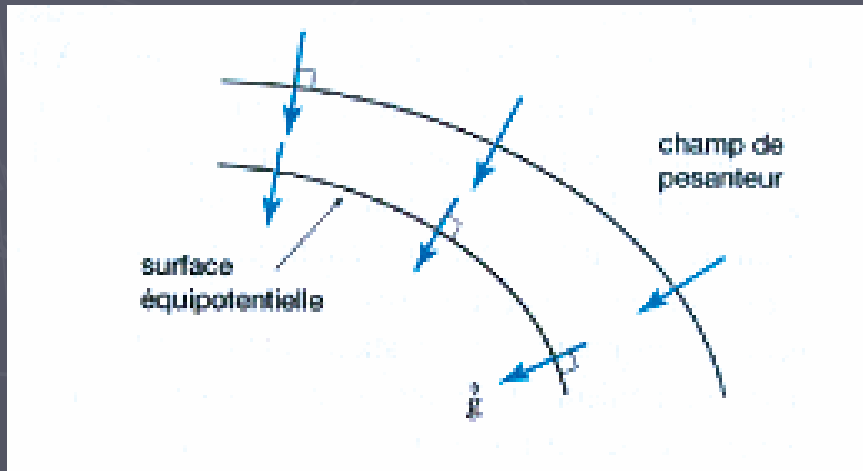
4) télédétection satellitale

5) ...

# 1) Gravimétrie et isostasie

## \* Définitions et rappels

gravimétrie = étude de la direction et intensité de la pesanteur  
→ **champ de pesanteur** et **géoïde**.

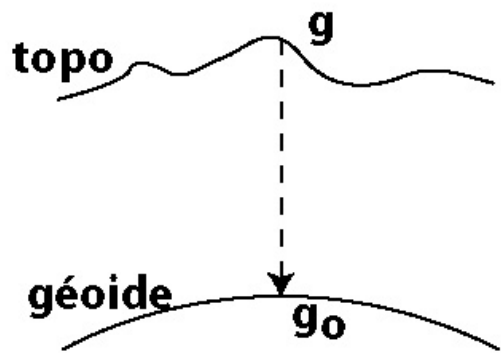


Surface d'équipotentielle d'équilibre des mers  
mesuré par satellites

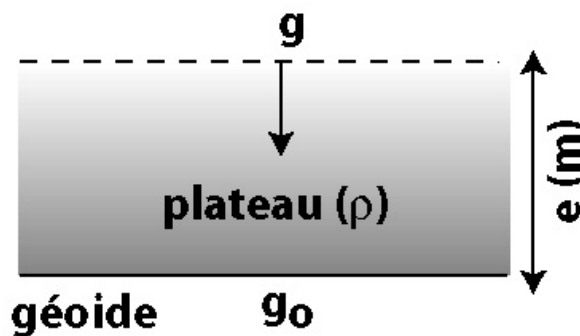
## \* Définitions et rappels (suite)

**Anomalie de Bouguer** = valeur de pesanteur théorique – valeur mesurée à la surface de la Terre, préalablement corrigé des effets d'altitude, de plateau et de relief

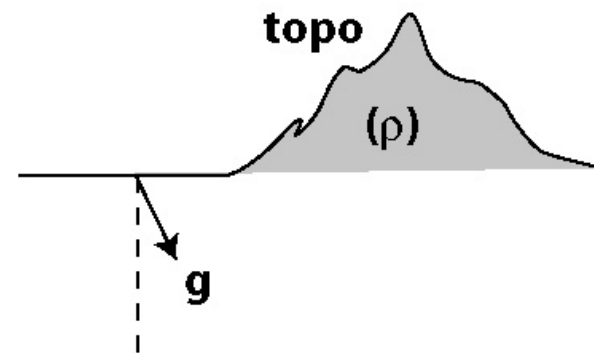
correction d'altitude



correction de plateau



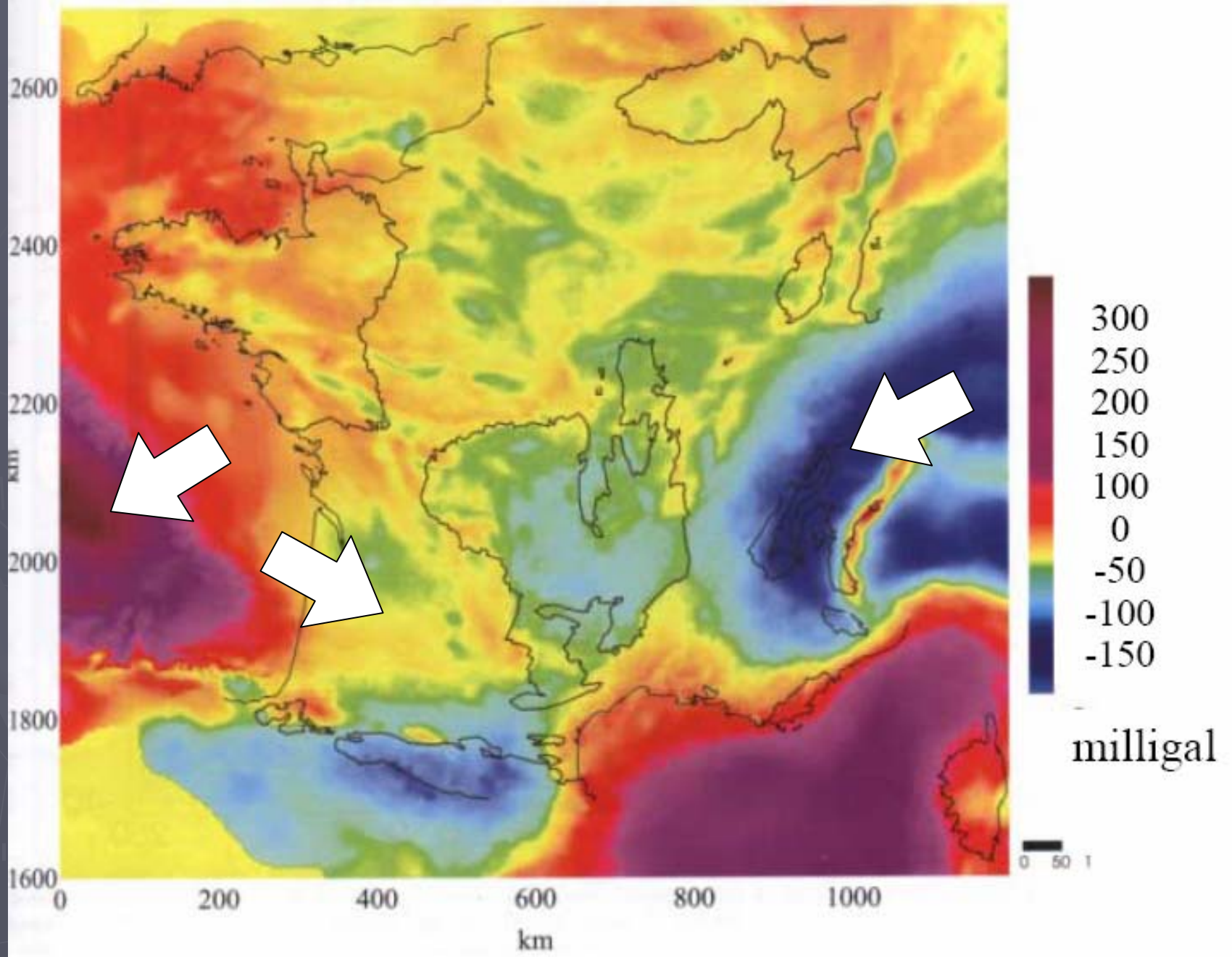
correction topographique



➔ Anomalies de Bouguer = 0

**MAIS.....**

# Anomalie de Bouguer (France)



**Effets de relief (excès ou déficit de masse) est  
naturellement compensé en profondeur:**

**ISOSTASIE = équilibre hydrostatique**



**Un relief (excès de masse en surface) est  
compensé par une masse faible en profondeur**

**Exemple: le glaçon dans le pastis**

# \* Modèles de compensation isostatique:

## Modèle d'AIRY

TD2

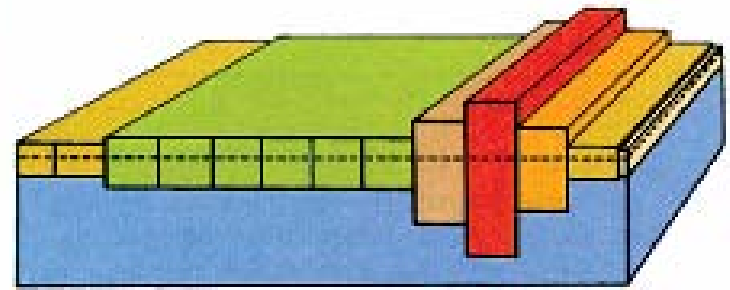
Cas d'une chaîne de Montagne

Surface de compensation

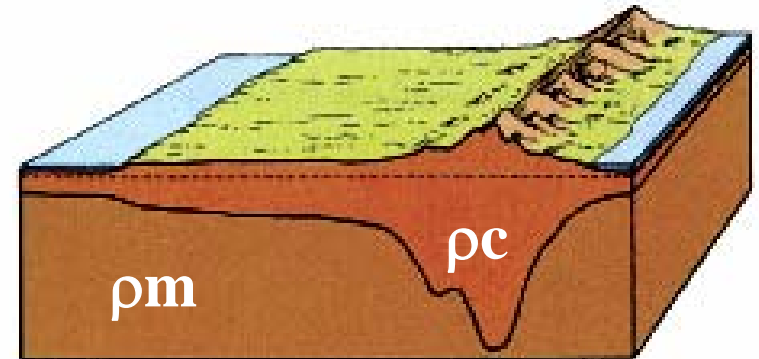
pression est la même en tout point

**But:** - estimer la profondeur de la racine en fonction de l'altitude de la montagne

## Modèle de Pratt



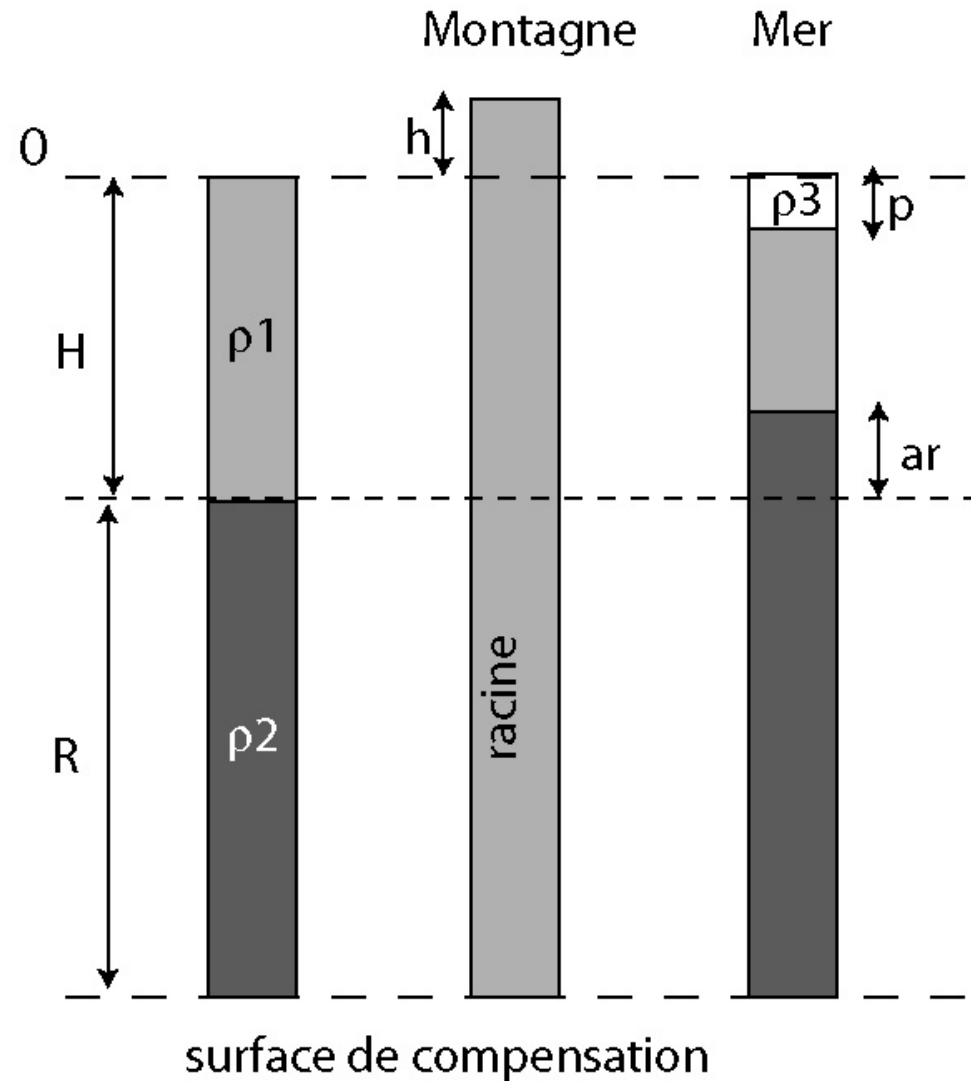
(A) Floating blocks of equal density. Thicker blocks rise higher and sink deeper.



(C) High mountains are balanced by a deep root.

$$\rho_c < \rho_m (=cte)$$

# \* Modèles de compensation isostatique: Modèle d'AIRY



## Equilibre isostasique

Cas d'une Montagne

$$H \cdot \rho_1 + R \cdot \rho_2 = (h + H + R) \cdot \rho_1$$

$$R = h \cdot \rho_1 / (\rho_2 - \rho_1)$$

Cas de la Mer

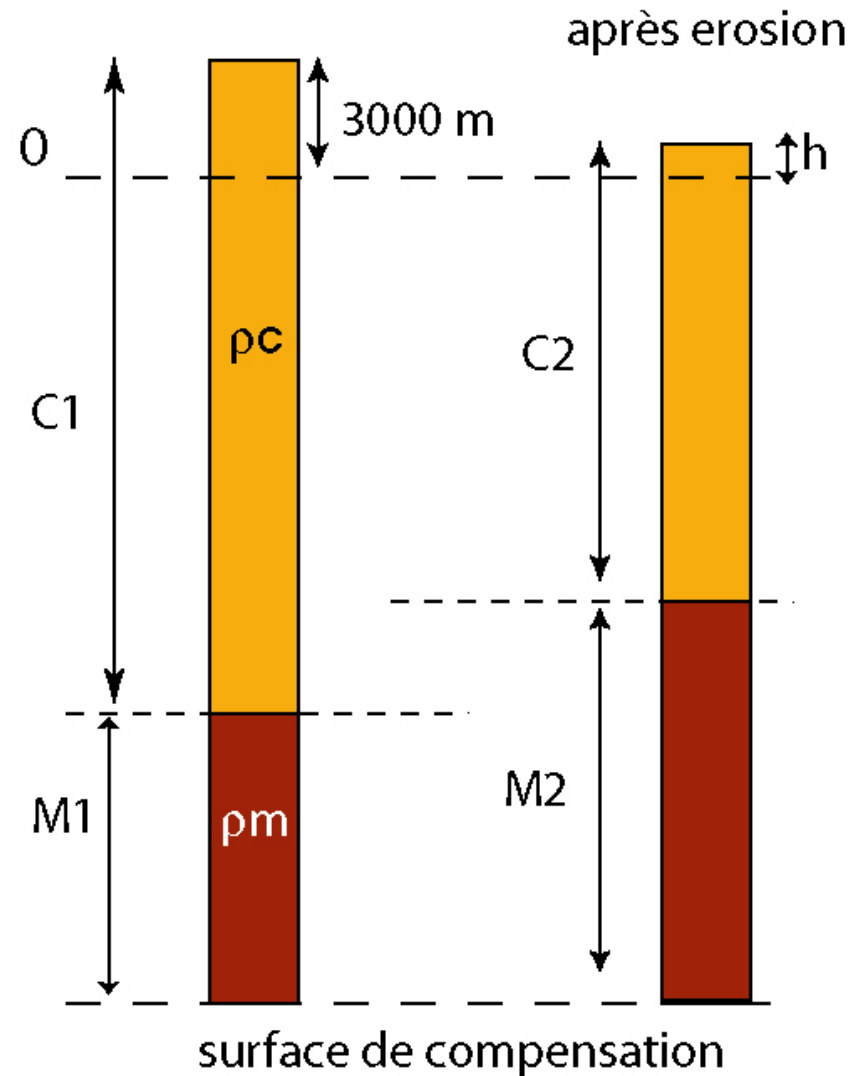
$$H \cdot \rho_1 + R \cdot \rho_2 = p \cdot \rho_3 + (H - p - ar) \cdot \rho_1 + (ar + R) \rho_2$$

$$0 = p \cdot \rho_3 - p \cdot \rho_1 - ar \cdot \rho_1 + ar \cdot \rho_2$$

$$0 = p \cdot (\rho_3 - \rho_1) + ar \cdot (\rho_2 - \rho_1)$$

$$ar = p \cdot (\rho_1 - \rho_3) / (\rho_2 - \rho_1)$$

# \* Exercice 1 – Isostasie et réajustement liés à l'érosion



Equilibre isostasique donc le poids ne varie pas

$$C_1 \cdot \rho_c + M_1 \cdot \rho_m = C_2 \cdot \rho_c + M_2 \cdot \rho_m$$

$$\text{or } C_1 - C_2 = 2500 \text{ m}$$

$$\text{donc } C_1 \cdot \rho_c + M_1 \cdot \rho_m = (C_1 - 2500) \cdot \rho_c + M_2 \cdot \rho_m$$

$$M_1 \cdot \rho_m = -2500 \cdot \rho_c + M_2 \cdot \rho_m$$

$$M_2 - M_1 = 2500 \cdot \rho_c / \rho_m$$

$$= 2500 \cdot 2.7 / 3.3 = 2045 \text{ m}$$

la croute est "remontée" de 2045 m

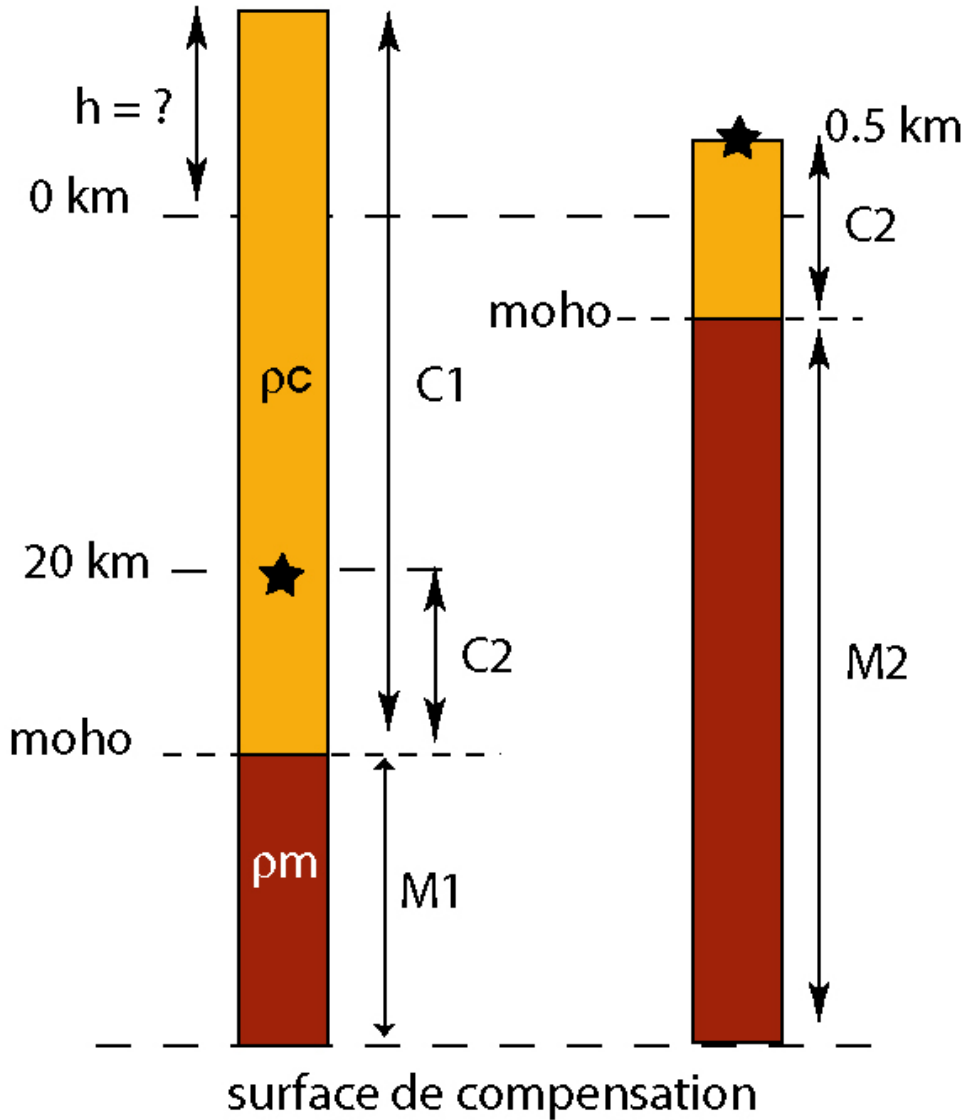
c'est à dire que 455 m de croute ont été perdu (2500-2045)

$$h = 3000 - 455 = 2545 \text{ m (altitude apres erosion)}$$



# \* Exercice 2 – Isostasie et réajustement du Moho

après érosion et exhumation



$M2 - M1$  = remontée du moho:

équilibre isostasique donc:

$$C1 \cdot \rho_c + M1 \cdot \rho_m = C2 \cdot \rho_c + M2 \cdot \rho_m$$

$$\rho_c \cdot (C1 - C2) = \rho_m \cdot (M2 - M1)$$

or  $C1 = C2 + 20000$

donc  $20000 \cdot \rho_c = \rho_m \cdot (M2 - M1)$

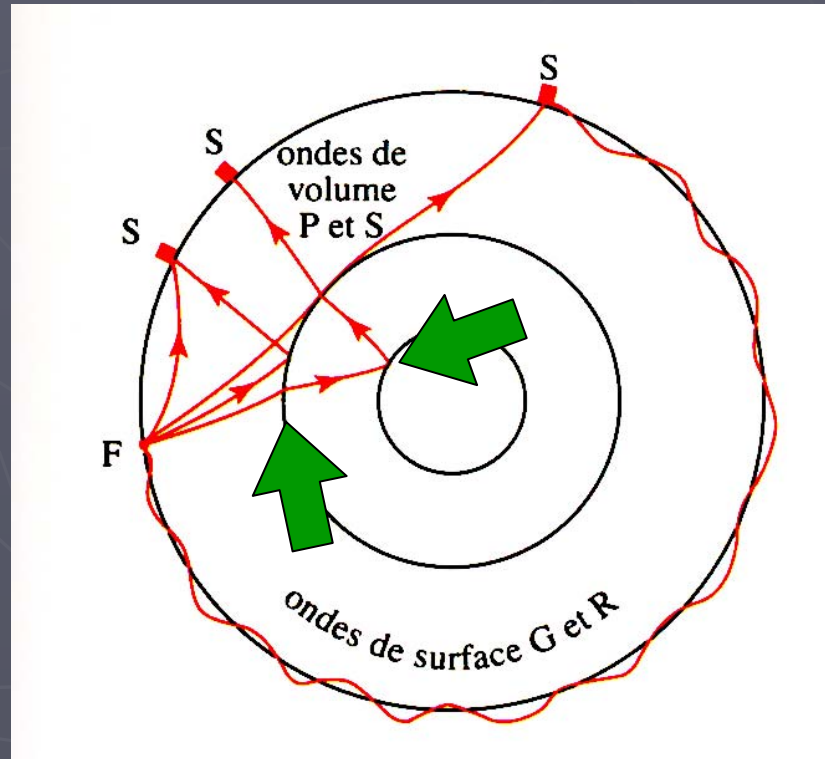
$$M2 - M1 = 16364 \text{ m}$$

$$h = 500 - (M2 - M1) + 20000$$

$$= 4136 \text{ m}$$

## 2) Sismologie – réflexion et réfraction des ondes de volumes sur une discontinuité.

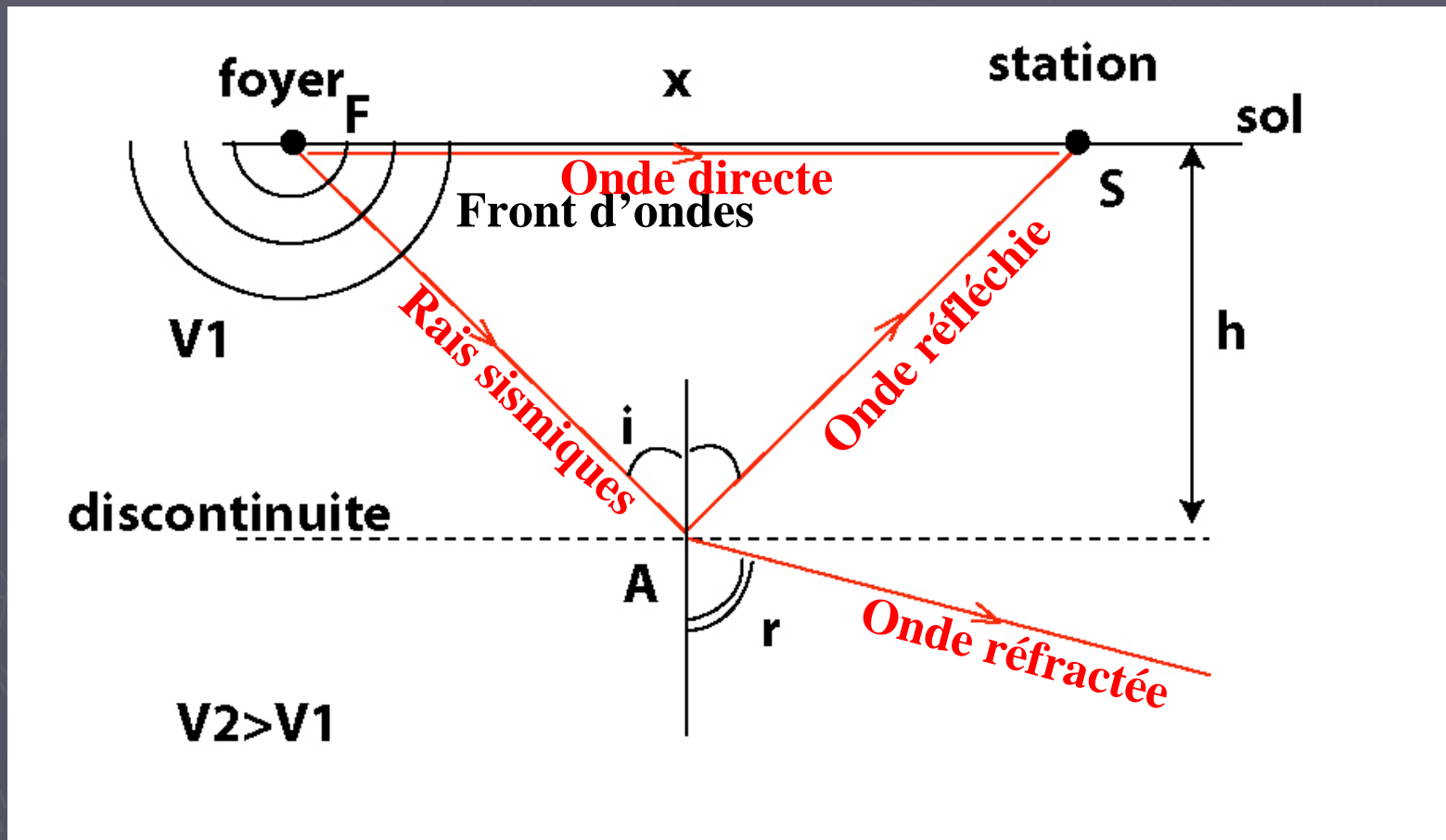
### \* Propagations des ondes de volumes



→ Ondes P et S se propagent suivant des lois proches de celles de l'optique géométrique – phénomènes de **réflexion** et **réfraction** sur les discontinuités

## \* Equation de propagation des ondes

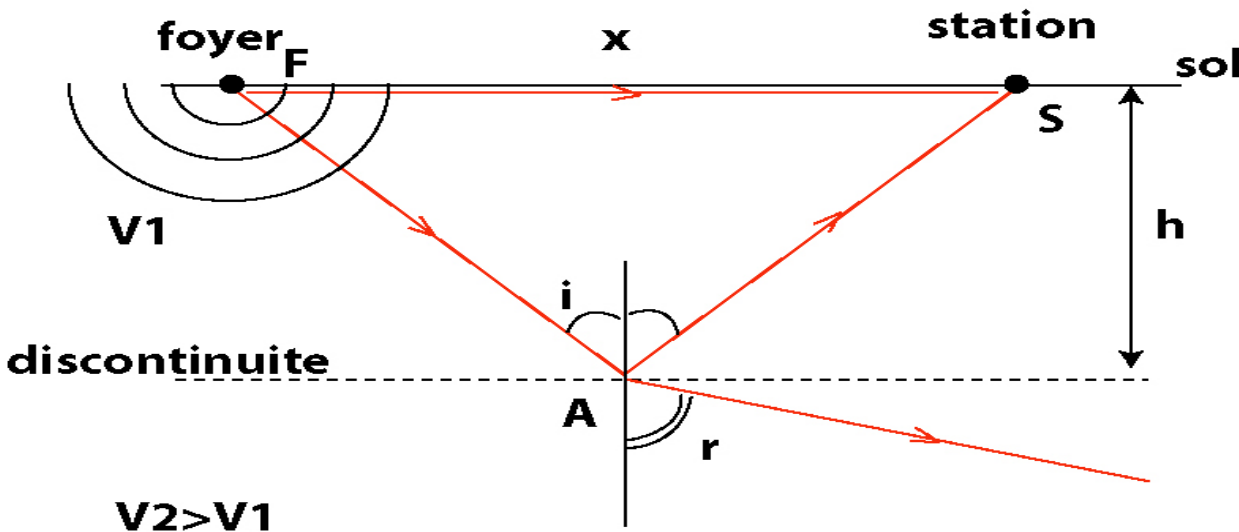
Hypothèse: - milieux de part et d'autre de la discontinuité sont homogènes ( $\rho = \text{cte}$ ). Pas d'effet de Pression comme à l'échelle du globe  $\rightarrow$  courbure des rais sismiques



Station: enregistrement du temps de parcours  $\rightarrow$  déduire  $h$ ,  $V_1$  et  $V_2$

# \* Equation de propagation des ondes

Exprimer  $t = f(x, V_1, h)$  pour onde directe et réfléchie



*Onde directe:*

$$t = x/V_1$$

*Onde réfléchie:*

$$t_{refl} = FA/V_1 + AS/V_1$$

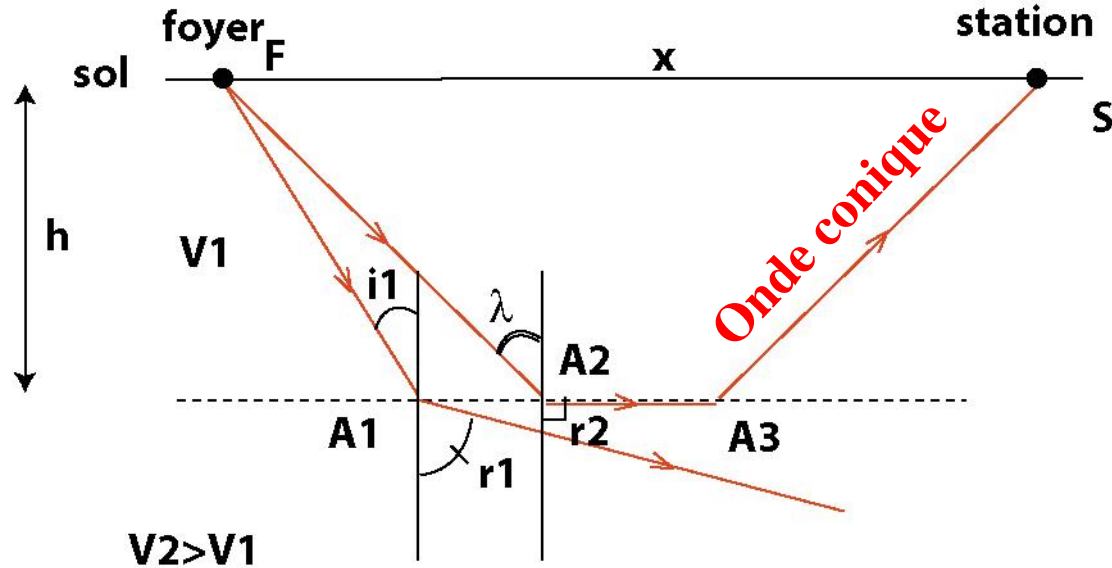
$$t_{refl} = 2.FA/V_1$$

$$FA = \sqrt{(x^2/4) + h^2}$$

$$t_{refl} = 1/V_1 \cdot \sqrt{x^2 + 4h^2}$$

# \* Equation de propagation des ondes

## Loi de Descartes pour onde refractée



*loi de Snell – Descartes*

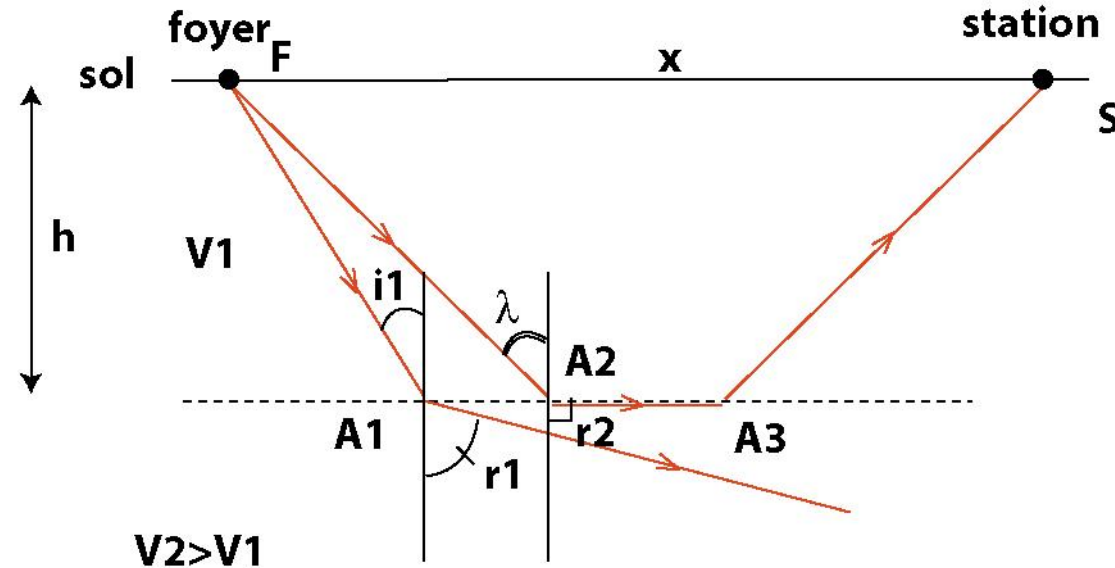
$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin r_1}{V_2}$$

*si  $r = 90^\circ$*

$$\sin \lambda = \frac{V_1}{V_2}$$

# \* Equation de propagation des ondes

Exprimer  $t = f(x, V_1, V_2, h, \lambda)$  pour une onde conique



$$t_{refr} = \frac{2FB}{V_1} + \frac{BC}{V_2}$$

$$t_{refr} = \frac{2h}{V_1 \cos \lambda} + \frac{x}{V_2} - \frac{2h \sin \lambda}{V_2 \cos \lambda}$$

$$t_{refr} = \frac{2h}{V_1 \cos \lambda} + \frac{x}{V_2} - \frac{2h \sin^2 \lambda}{V_1 \cos \lambda}$$

$$t_{refr} = \frac{x}{V_2} + \frac{2h}{V_1 \cos \lambda} (1 - \sin^2 \lambda)$$

$$(1) FB = \frac{h}{\cos \lambda}$$

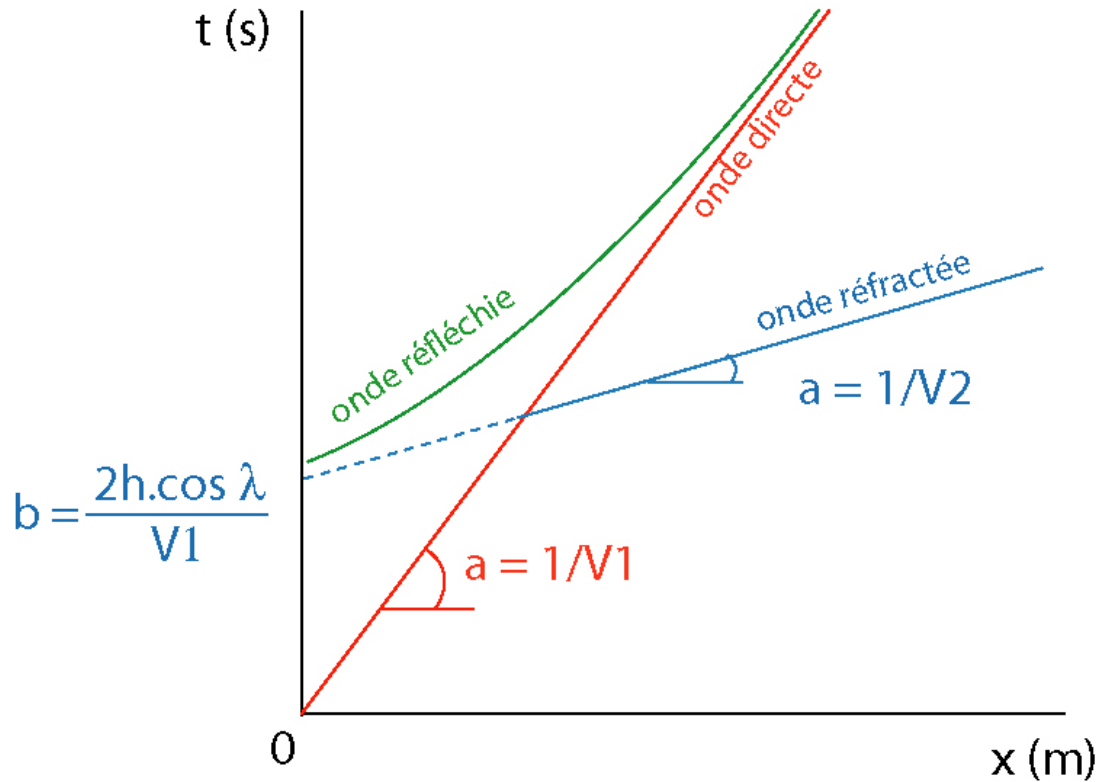
$$(2) BC = x - 2 * FB * \sin \lambda = x - 2h * \frac{\sin \lambda}{\cos \lambda}$$

$$(3) \sin \lambda = \frac{V_1}{V_2} \text{ donc } V_2 = \frac{V_1}{\sin \lambda}$$

$$t_{refr} = \frac{x}{V_2} + \frac{2h \cdot \cos \lambda}{V_1}$$

# \* Equation de propagation des ondes

## Représentation graphique $t = f(x)$ : hodochrone



**Onde directe:**

$$t = x/V_1$$

**Onde réfléchie:**

$$t_{refl} = 1/V_1 \cdot \sqrt{x^2 + 4h^2}$$

**Onde réfractée**

$$t_{refr} = \frac{x}{V_2} + \frac{2h \cdot \cos \lambda}{V_1}$$