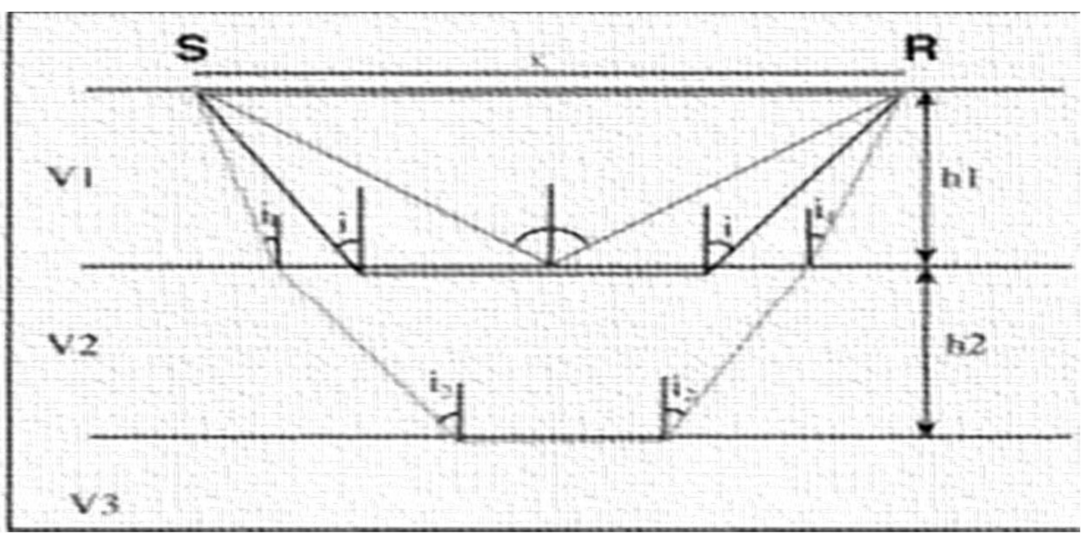
UNIVERSITE LARBI BEN MHIDI OUM EL BOUAGHI

Faculté des sciences de la terre et de l'architecture
Département de géologie

Les Méthodes sismiques



Par: Dr. ZERROUKI HIACHAM

2024/2025

Méthodes sismiques

La Sismologie

1. Les ondes sismiques

Les ondes longitudinales P causent seulement un changement du volume quand elles se propagent, à travers un milieu, des zones de dilatation et de compression sont formées dans ce milieu dans la direction de propagation

Les ondes transversales S causent un changement de la forme du corps. Quand elles se propagent, les particules du milieu **se** déplacent l'une par rapport à l'autre dans la direction perpendiculaire à la direction de propagation

$$m = 4 + \log W_{kt}$$

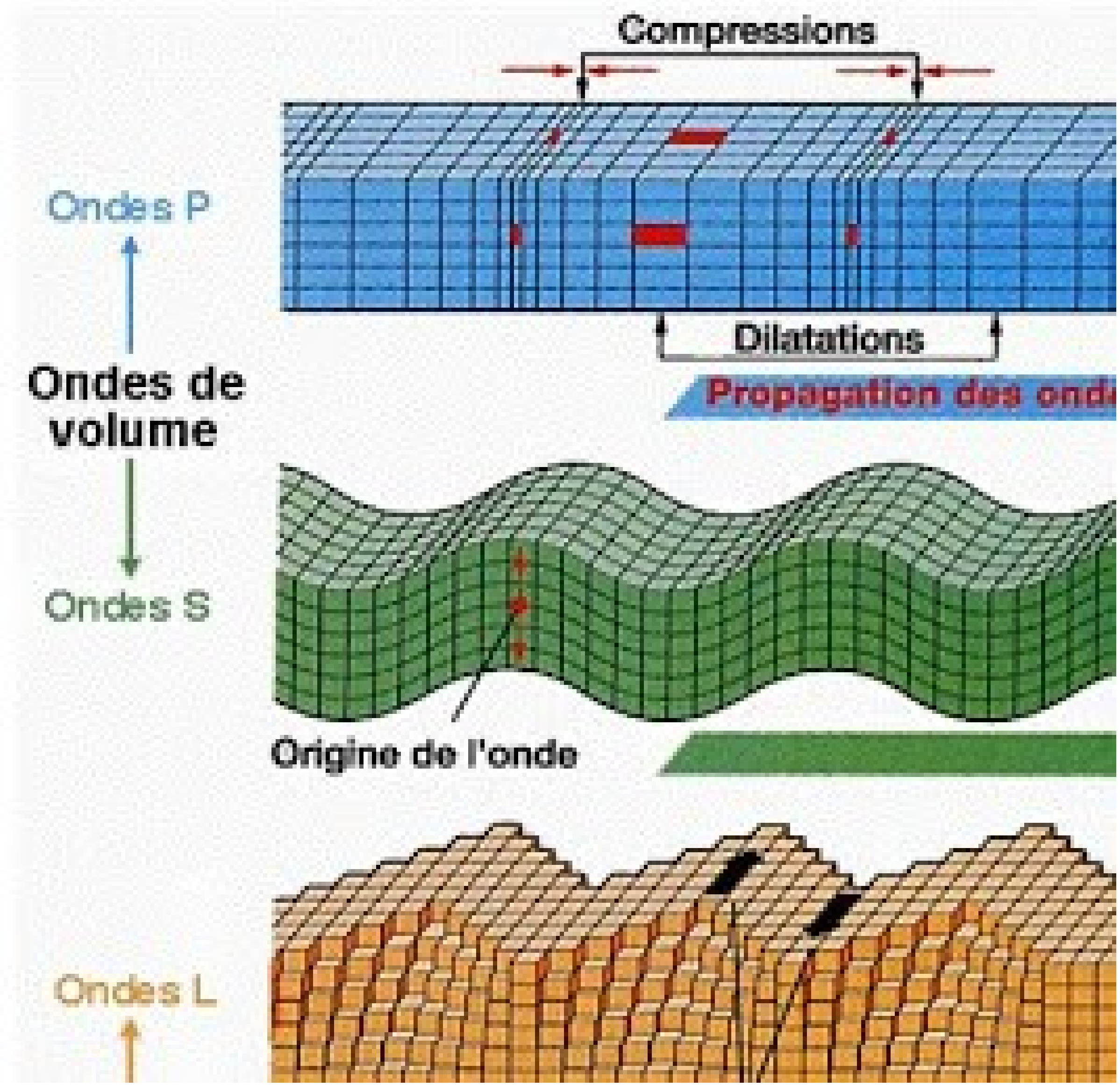
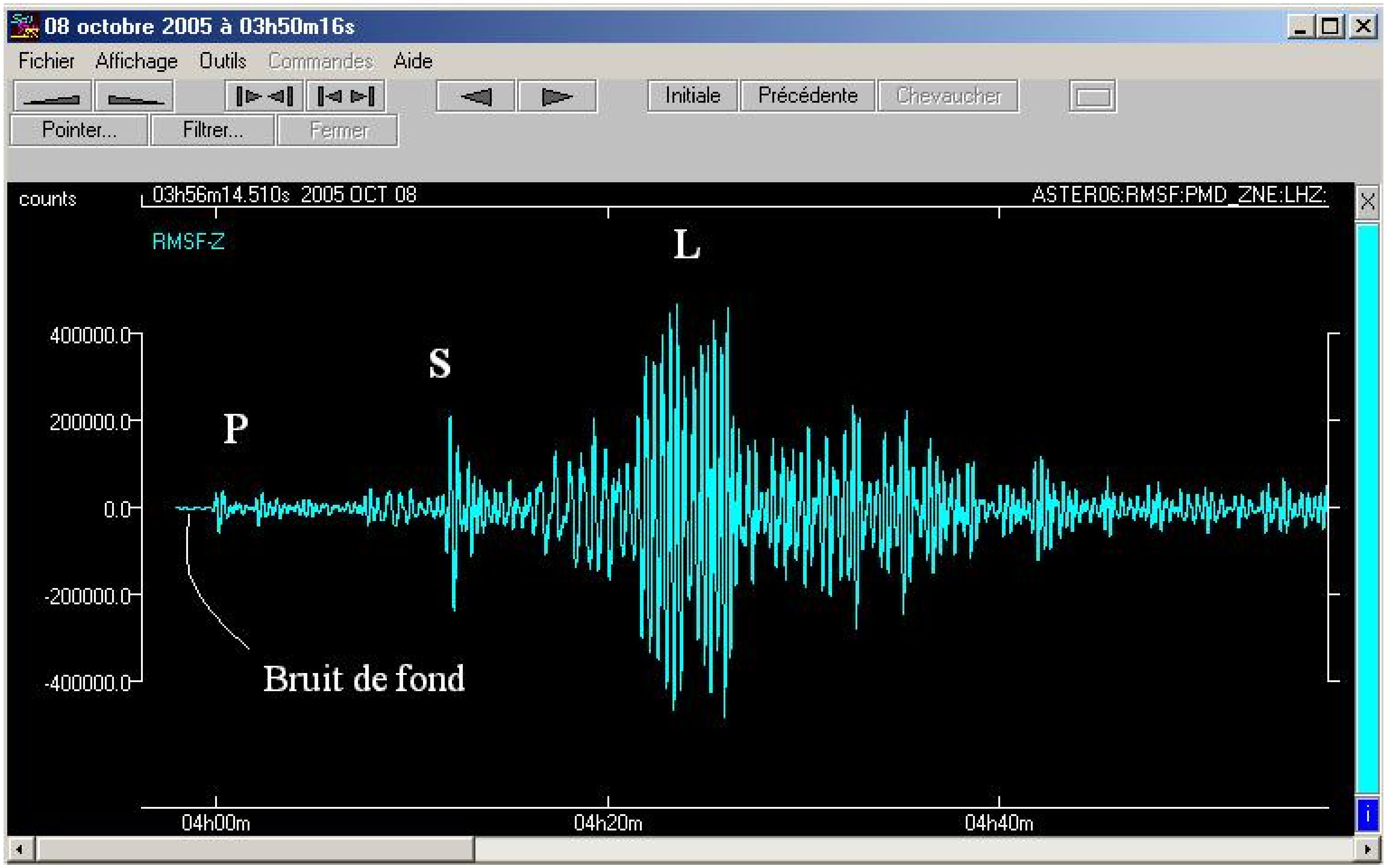


Fig. Zones de dilatation et de compression de l'onde P (a), et du déplacement des particules dans le cas de l'onde S (b).



Séisme du Pakistan du 08 Octobre 2005 à 03h50m16s enregistré par la station RMSF du réseau "Sismos à l'Ecole"

2. Réflexion et réfraction des ondes sismiques (loi de Snell ou de Descartes)

Nous considérons deux milieux homogènes W_1 et W_2 avec des vitesses sismiques respectives V_{P1}, V_{S1} et V_{P2}, V_{S2} séparés par une frontière plane (Fig.)

$$\frac{\sin\alpha_1}{V_1} = \frac{\sin\alpha_2}{V_2}$$

$$\frac{\sin\alpha}{V_1} = \frac{\sin\beta}{V_2}$$

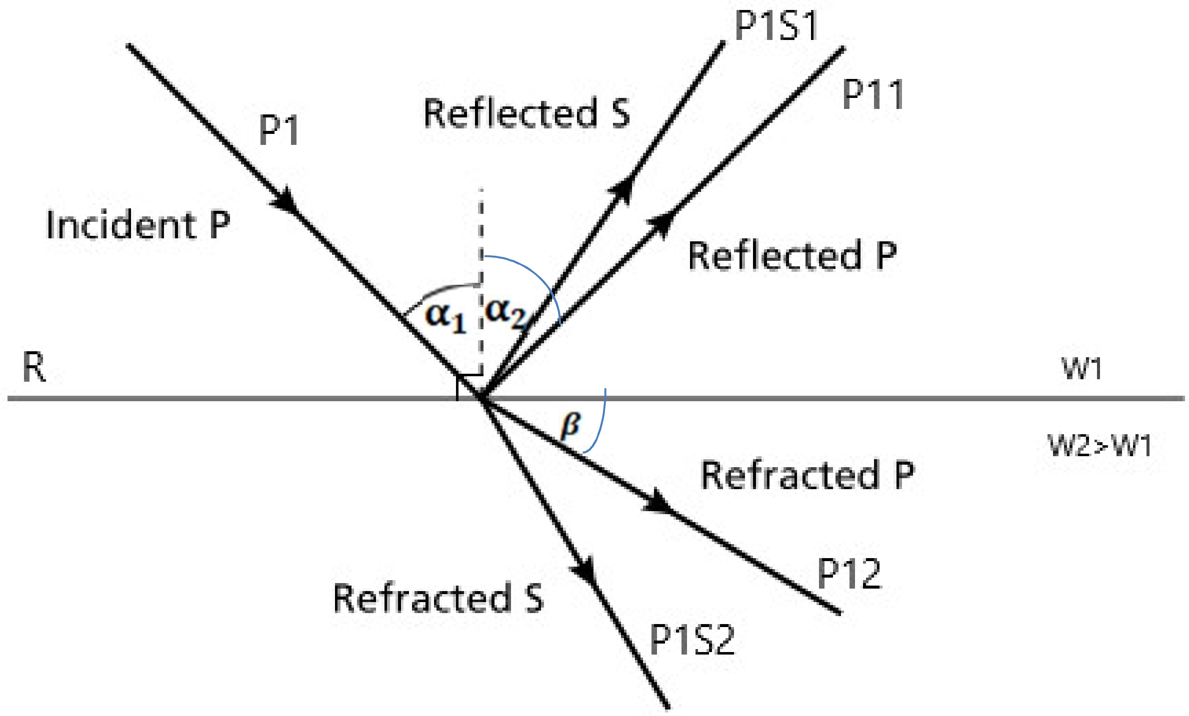


Fig. Réflexion et transmission de l'onde à travers une frontière sismique (loi de Snell ou de Descartes).

La vitesse de propagation des ondes sismiques dépend de la vitesse dans la matrice, de la porosité et de la vitesse sismique dans le fluide remplissant les pores. La relation empirique :

$$\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{V}} = \frac{\emptyset}{V_f} + \frac{(1-\emptyset)}{V_m}$$

Élasticité

L’élasticité est l’étude de la déformation des corps dans le cas où les forces qui agissent sont suffisamment faibles pour qu’il ne se produise pas de déformation permanente. Les équations de base de l’élasticité sont simples, même si les calculs auxquels elles conduisent peuvent être très complexes.

Nous allons d’abord définir les tensions, c'est-à-dire les efforts agissant sur les corps. Nous verrons ensuite les déformations, puis la relation entre tension et déformation.

$$T = F/S$$

Tensions

A l'intérieur d'un corps, imaginons avoir coupé une petite surface S. Ce faisant, nous avons supprimé une partie des forces de cohésion qui faisaient que le corps était en équilibre. Pour rétablir l'équilibre, il va nous falloir rajouter une force F sur chacune des faces de la coupure comprenant les forces détruites. La force *F* sera d'autant plus importante que la surface S est plus grande. Nous appellerons donc tension le rapport :

Rapport d’une force à une surface, la tension ressemble fortement à la pression. La pression hydrostatique est d’ailleurs le cas particulier de la tension dans le cas d'un liquide. Pour un solide, la tension a, cependant, une propriété importante qui la distingue d’une pression : la force F que nous avons introduite n’est pas forcément perpendiculaire à la surface S, donc la tension T non plus. Nous distinguerons les deux cas particuliers :

- la tension T est perpendiculaire, à S, la tension est dite normale ;
- la tension T est parallèle à S, il s’agit d’une scission pure (on dit parfois cisaillement pur, par abus de langage; un cisaillement est une déformation et non une tension).

Relations entre forces et déformations, loi de Hooke

Soit un parallélépipède rectangle élémentaire dont 3 arêtes définissent le trièdre Oxyz
(fig.). On exerce une traction uniforme Nz sur les faces normales à Oz de valeur Nz par unité de surface, parallèle à Oz.

Donc si le corps est isotrope, le volume reste un parallélipipède rectangle, l'arête de longueur l parallèle à Oz s'allonge de Δl. Son allongement relatif est

$$\delta z = \frac{\Delta l}{l} =$$

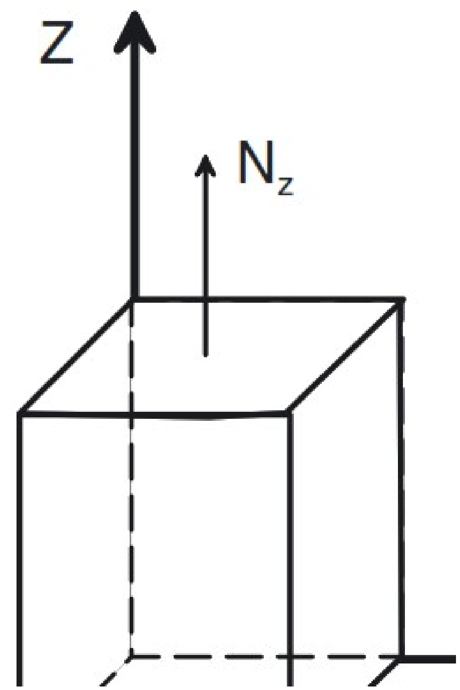


Figure – Loi de Hooke.

On appelle E le module d'Young qui est homogène à une pression. Il s'agit d'un module de raideur. Plus il est grand et moins le corps est élastique. Ainsi, pour allonger de 1mm un fil de fer (module d'Young E = 20 000 kg/mm2) de 1 mm de diamètre et de 1 mètre de long, il faut exercer une traction de 15,5 kg. Pour un fil identique en argent (E = 7 000 kg/mm2), il suffit de 5,5 kg.

On appelle σ Coefficient de Poisson, Lorsqu'on allonge le corps suivant 0z les arêtes du parallélépipède subissent une contraction

$$\delta x = \delta y = -\sigma \delta z =$$

σ est le coefficient de Poisson. C'est un nombre sans dimension qui pour les solides parfaits vaut 1/4.

Généralisons maintenant à l'ensemble du parallélépipède en exerçant sur ses faces les tractions Nx, Ny, Nz. Le principe de la superposition permet d'écrire la loi de Hooke :

$$\delta x = \frac{1}{E}(N_x - \sigma N_y - \sigma N_z)$$

$$\delta y = \frac{1}{E}(-\sigma N_x + N_y - \sigma N_z)$$

$$\delta z = \frac{1}{E}(-\sigma N_x - \sigma N_y + N_z)$$

On peut résoudre le système en sens inverse, permettant le calcul des tensions connaissant les déformations. Un calcul simple donne :

$$Nx = \lambda\theta + 2\mu\delta x$$

$$N\,y = \lambda\theta + 2\mu\delta y$$

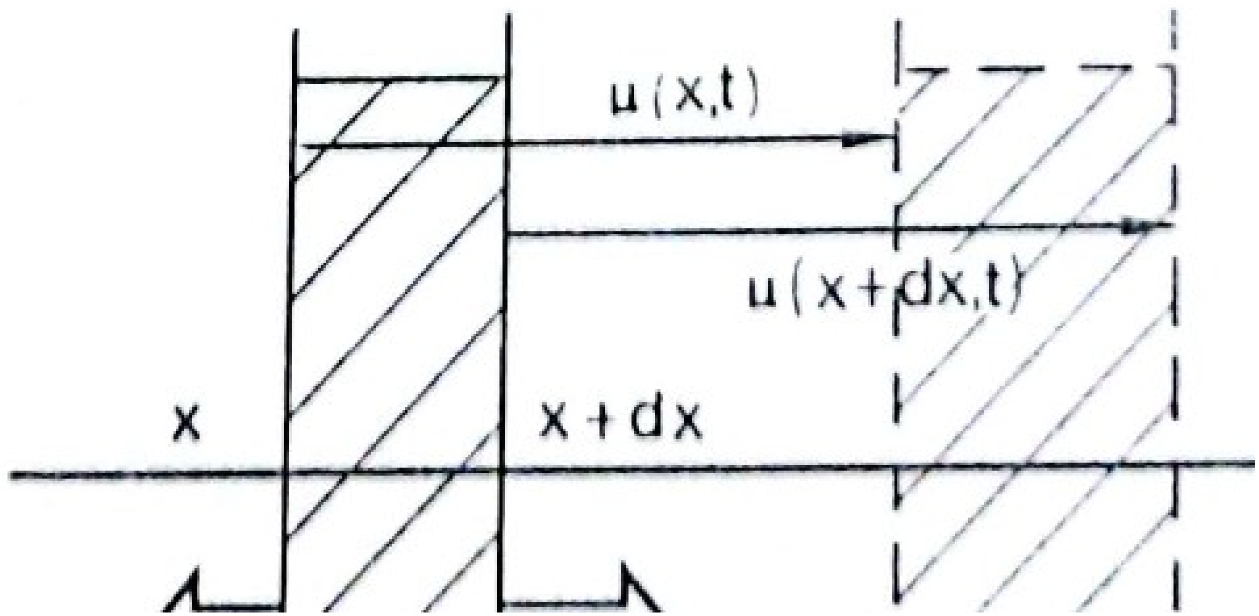
$$Nz = \lambda\theta + 2\mu\delta z$$

Où nous avons posé : $\theta = \delta x + \delta y + \delta z$; θ représente la variation relative le volume $\Delta V/V$ et oł où nous avons introduit les coefficients de Lamé : λ et μ

$$\lambda = \frac{E\sigma}{(1 - 2\sigma)(1 + \sigma)} \qquad \mu = \frac{E}{2(1 + \sigma)}$$

Propagation d’une onde plane longitudinale

On considère une plaque illimitée homogène isotrope et ses faces x et x +dx et on raisonne sur leur élongation au même instant.



Une partie de cette tranche de surface S, de volume Sdx. se déplace de u Donc le produit mγ, pour cette partie de matière, sera
Ce même élément de matière sera « tiré » vers la droite (cf. figure) par la ten¬sion N(x+dx, t). donc par la force : SN(x+dx, t) ; il sera « retenti » à gauche par la force. SN(x, t). Le principe fondamental de la dynamique s'écrit donc :

$$\sum F = \gamma m \Rightarrow SN(x+dx,t) - SN(x,t) = S\rho dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$\Leftrightarrow \cancel{S}[N(x+dx,t) - N(x,t)] = \cancel{S}\rho dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \Leftrightarrow \frac{\partial N}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

Avec: $N = (\lambda + 2\mu)\delta$

Calculons la déformation :

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{\text{épaisseur finale de la tranche-}\ldots}{\text{épaisseur initia}\ldots}$$

$$[u(x + dx, t) + dx - u(x, t)] - \ldots$$

$$= \frac{u(x+dx,t) - u(x,t)}{dx} = \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\Delta u}{\Delta x} = \delta$$

Finalement on a: $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{V^2}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$ avec

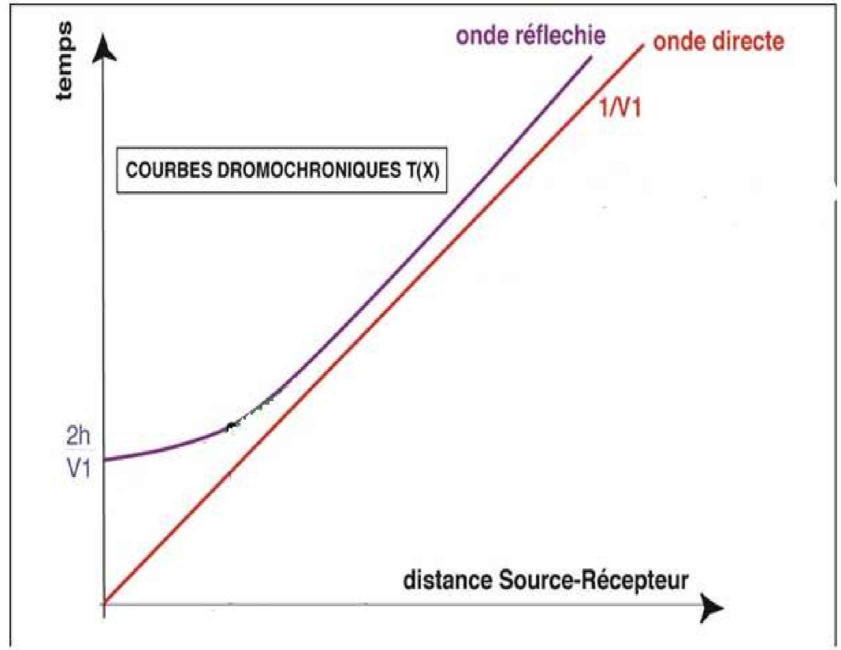
$$V = \sqrt{\frac{\lambda + 2}{\rho}}$$

Conditions de prospection sismique

Les conditions favorables à la réalisation de la prospection sismique sont crées par l'existence de:

- frontières sismiques qui sont confondues avec les frontières géologiques,
- frontières sismiques étendues avec des petites pentes (2°-10°)
- petite épaisseur de la couche altérée,
- nappe phréatique non profonde;
- relief plus au moins plane dans la région d'investigation.

3. Les dromochroniques dans un milieu à deux couches



3.1. Onde directe

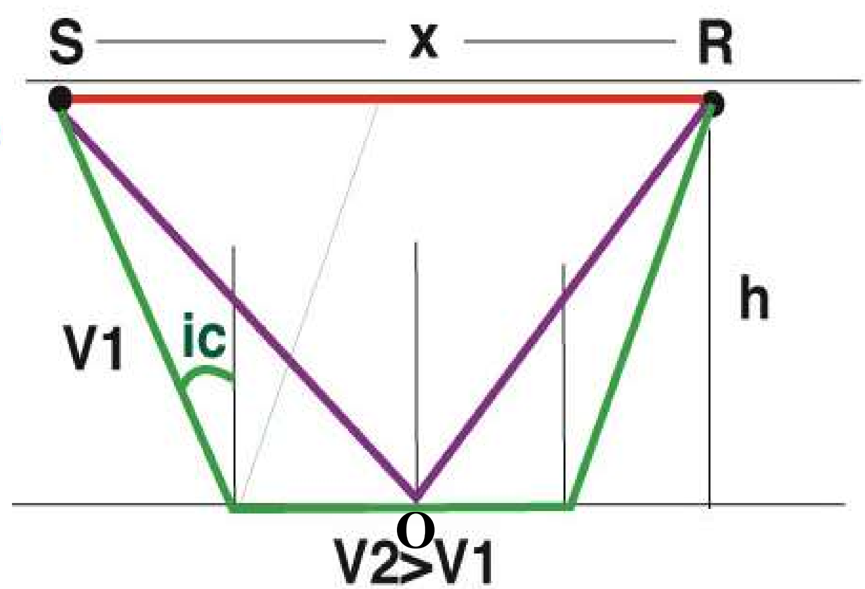
$$t = x / V1$$

3.2. Onde réfléchie

$$t = \frac{SO + OR}{V_1} = \frac{2SO}{V_1} avec\ (SO)^2 = h^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2$$

$$t = \frac{2}{V_1}\sqrt{(h^2 + \frac{x^2}{4})}$$

$$t = \frac{1}{V_1}\sqrt{x^2 + 4h^2}$$

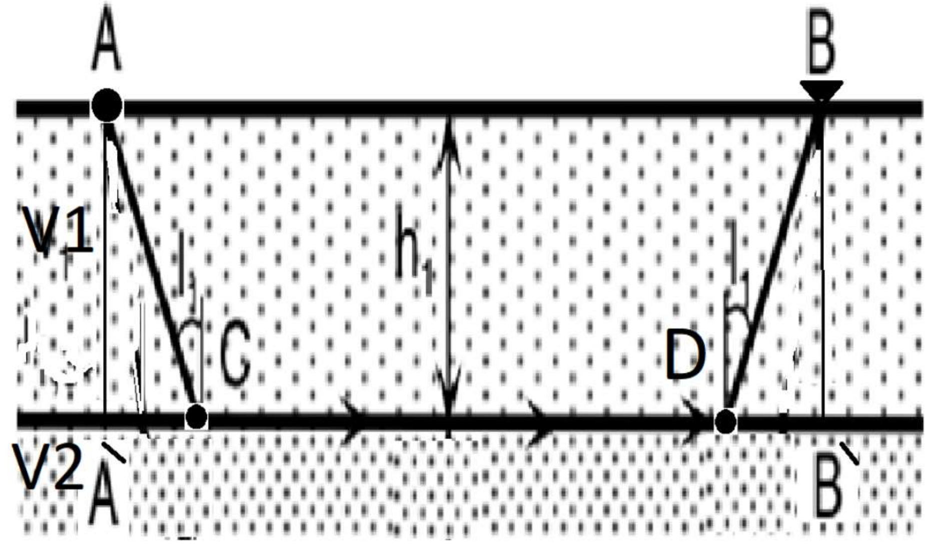


3.3. Onde réfractée ou conique

$$T_1 = \frac{AC}{V_1} + \frac{CD}{V_2} + \frac{DB}{V_1}$$

$$= \frac{2h_1}{V_1 \cos l_1} + \frac{CD}{V_2} = \frac{2h_1}{V_1 \cos l_1} + \frac{x}{V_2} - \frac{2h_1 \tan l_1}{V_2}$$

$$= \frac{x}{V_2} + \frac{2h_1}{V_1 \cos l_1} - \frac{2h_1 \tan l_1 V_1}{V_2 V_1}$$



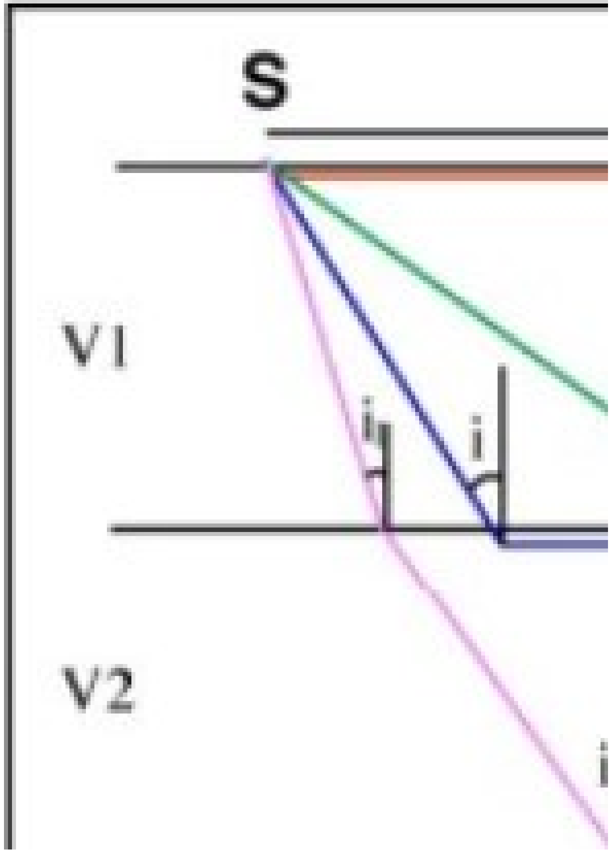
En remarquant que le dernier terme de la partie droite de l'équation devient, en remplaçant $\frac{V_1}{V_2}$ par $\sin l_1$, $\frac{2h_1 \sin^2 l_1}{V_1 \cos l_1} = \frac{2h_1 \cos^2 l_1}{V_1 \cos l_1} - \frac{2h_1}{V_1 \cos l_1}$, l'équation initiale devient :

$$T_1 = \frac{x}{V_2} + \frac{2h_1 \cos l_1}{V_1}.$$

Formules : récapitulatif

1er cas : Couches planes et horizontales

équation des hodochrones :



-onde directe

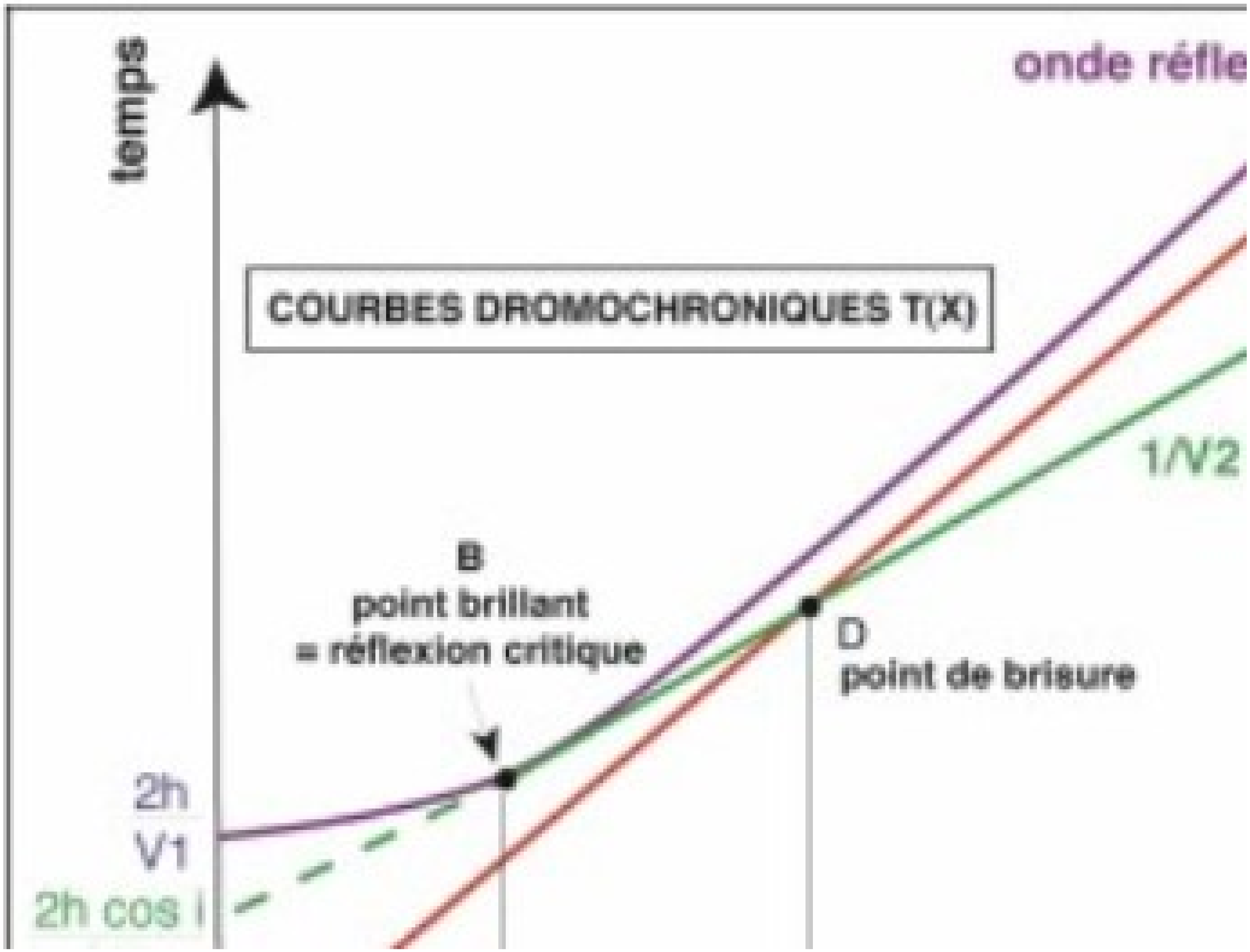
$$t = \frac{x}{V_1}$$

-onde réfléchie

$$t = \frac{1}{V_1}\sqrt{x^2 + 4h_1^2}$$

-onde conique (réfractée), couche 2

$$t = \frac{x}{V_2} + \frac{2h_1 \cos i}{V_1}$$



temps
onde réfle
COURBES DROMOCHRONIQUES T(X)
1/V2
B
point brillant
= réflexion critique
D
point de brisure
2h
V1
2h cos i