

Université de Ferhat Abbas sétifl  
Institut d'architectur et des sciences de la terre  
Département des sciencences de la terre.



**Polycopie de cours  
(Cours donné au géologues)**

# La Méthode Sismique (réflexion &réfraction)

Présenté par : Dr. HAMLAOUI MAHMOUD

# • Introduction

- Pour connaître la constitution géologique d'une région, les géophysiciens procèdent à diverses mesures de surface. Pour préciser en particulier les courbes de niveau des couches géologiques, ils emploient les méthodes de la prospection sismique : une explosion est provoquée au voisinage des couches superficielles du terrain étudié, l'onde de choc provoquée artificiellement se propage dans le sous-sol. Les couches géologiques étant de densité et de nature différentes, lorsque le front d'onde franchit la frontière séparant deux couches, une partie de l'énergie transportée est réfléchi et réfractée vers la surface du fait de la discontinuité des constantes élastiques des couches.
- En surface des sismographes enregistrent les arrivées de l'énergie libérée par l'explosion durant les 4 ou 5 secondes qui la suivent. En pointant ces arrivées sur les sismographes (section temps) et en recoupant leurs indications avec celles procurées par d'autres mesures, le sismicien précise sa connaissance du sous-sol, position des discontinuités, vitesse de propagation, par fois coefficients d'absorptions.
- On constate depuis quelques années que les méthodes sismiques sont de plus en plus utilisées à des fins de reconnaissances.

- Il y a à cette évolution des raisons techniques liées aux conditions géologiques et aussi des raisons économiques.
- En Algérie, comme on le sait, la province triasique est l'une des régions les plus riches en hydrocarbures du Sahara Algérienne.
- Longtemps considérée comme présentant peu de perspectives, ce n'est qu'en 1952 qu'on a entrepris des travaux géologique et géophysique intensifs ayant pour but la recherche d'accumulation commerciales d'hydrocarbures.
- En 1956, des champs géants y ont été découverts essentiellement à l'aide de la prospection sismique ; par exemple, le champ de Hassi Messaoud, avec des réserves estimés a 5 milliard de tonne d'huile et Hassi-R'mel avec des réserves approximatives de 2 trillions de mètre cubes de gaz et 500 millions de tonne de condensat. Donc, on peut constater que le rôle de la prospection sismique dans la recherche pétrolière.
- On distingue deux méthodes de prospection sismique : **la sismique réflexion** et **la sismique réfraction** ; elles ont toutes les deux pour but de déterminer la profondeur et la forme des discontinuités géologiques qui constituent le sous sol.

- **La Sismique Réflexion**

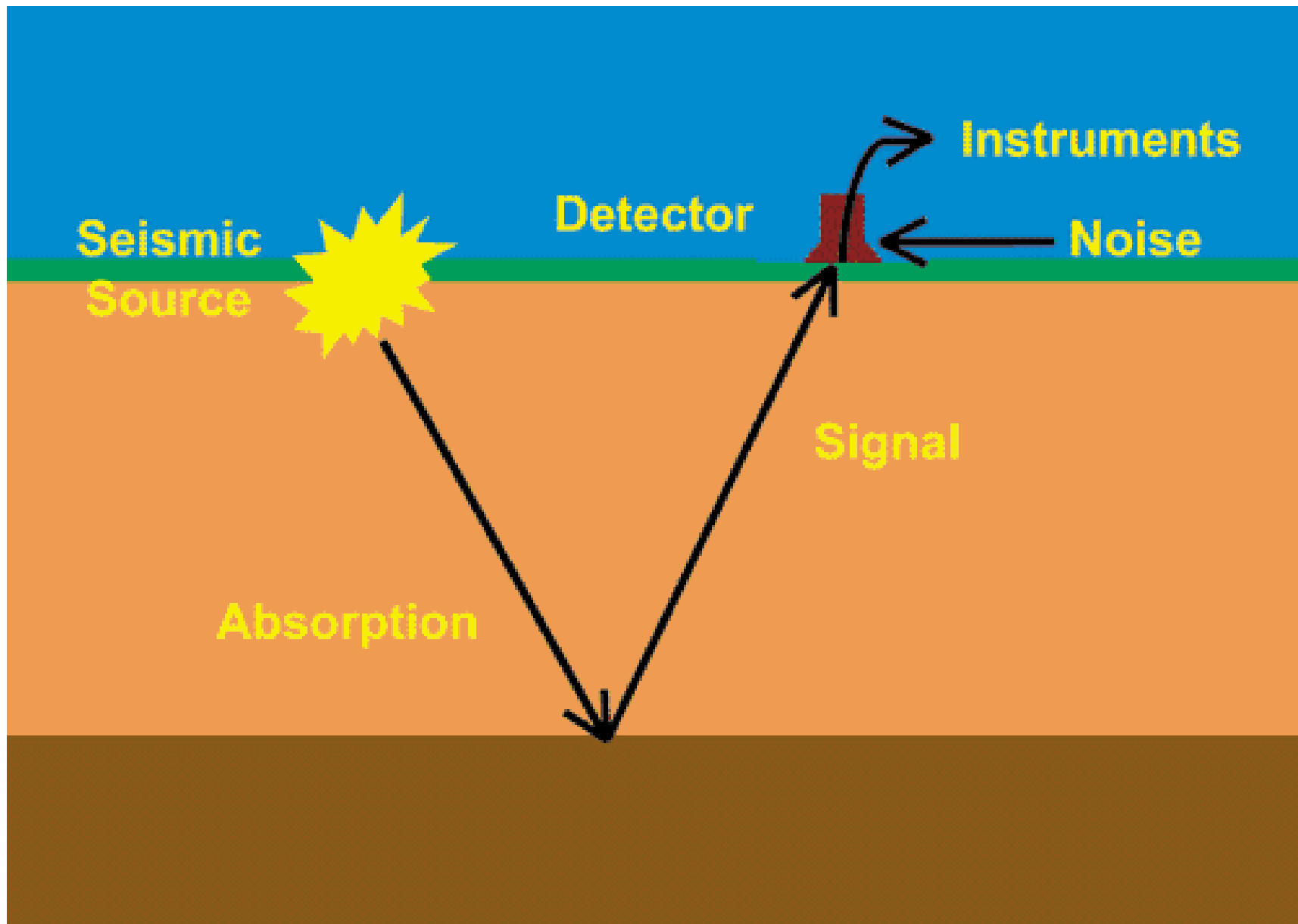
Largement employé pour la prospection industrielle, est responsable de la découverte de très nombreux gisements de pétrole, le principe de cette méthode est simple.

Des ondes sismiques (élastiques) engendrées par l'explosion de charges de quelques (Kg) d'explosifs (TNT) se propagent à travers des terrains sédimentaires ou métamorphiques, se réfléchissent sur des surfaces de séparation des formations de nature différentes. Les ondes réfléchies sont enregistrées à la surface de la terre par une série de sismographes (le plus souvent 24 ou 48), si l'on connaît la vitesse de propagation des ondes sismiques dans les différents niveaux, la mesure des temps de propagation permet de calculer la profondeur de ces niveaux.

- **La sismique Réfraction**

Elle a pour but de déterminer les vitesses de propagation des ondes sismiques ainsi que la profondeur des différentes interfaces, l'onde sismique se réfracte sur l'interface et revient aux sismographes qui sont situés à la surface du sol.

Le parcours de l'onde réfractée permet de déterminer la profondeur des interfaces.



## Prospection sismique (rappel)

Dans le volume des solides existent deux types **d'ondes élastiques** de **vitesse différentes** : **les ondes de compression**, les plus rapides ou ondes P (primaire) et les ondes de **cisaillement** ou ondes S (secondaire).

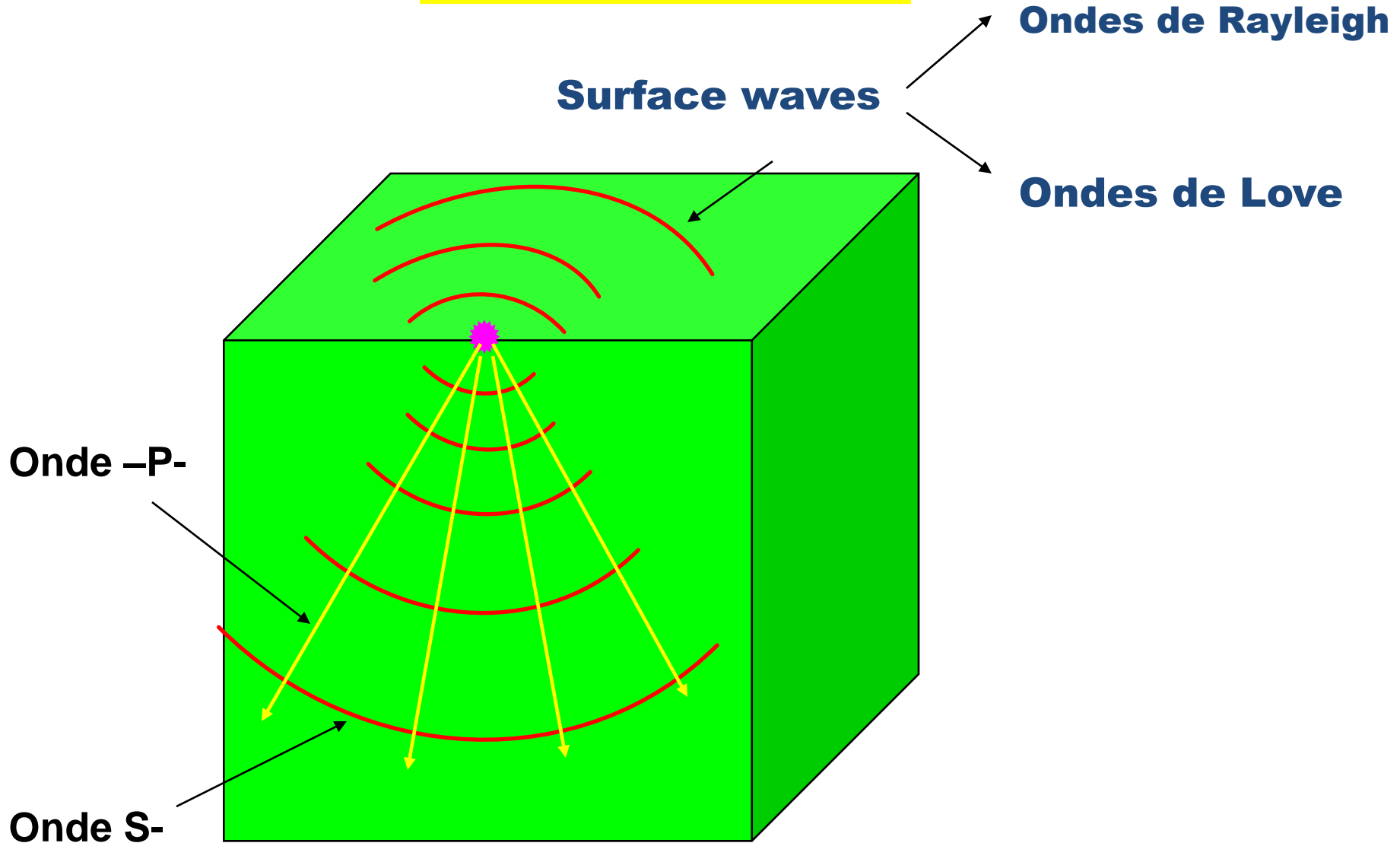
A l'interface **sol-air** apparaissent des ondes de surface (ondes de Rayleigh et ondes de Love) qui sont nettement plus lentes que les ondes de volume et dont l'amplitude s'amortit exponentiellement avec la profondeur.

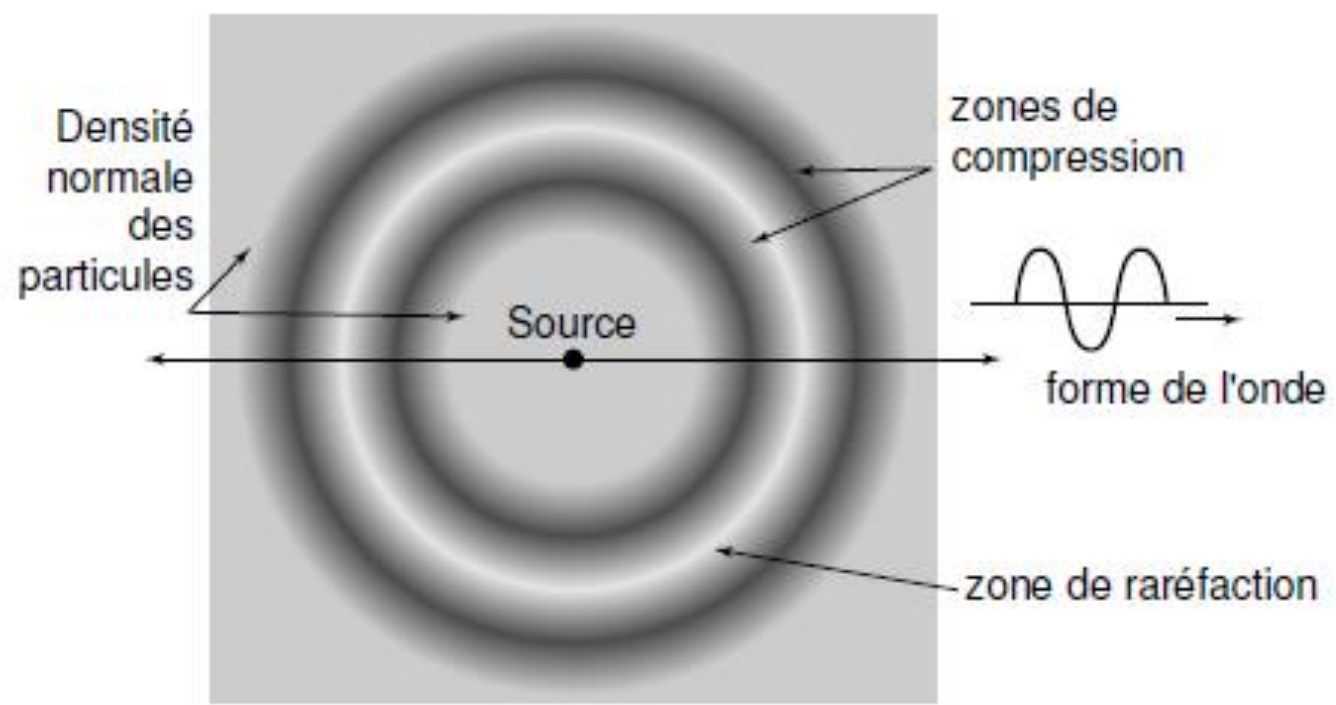
Pour les études peu profondes, l'utilisation des ondes S comme celle des ondes de surface sont peu usitées (même si elles font l'objet de programmes de recherche) et **on se limite en général à l'étude des ondes P.**

Dans un milieu homogène la mesure de la vitesse consiste simplement à mesurer le temps d'arrivée,  $t_d$ , de l'onde P directe. A une distance  $\Delta$  du point d'ébranlement on a :

$$V_p = \frac{\Delta}{t_d}$$

# Ondes Sismiques

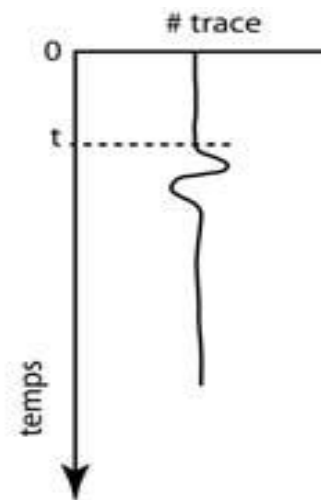
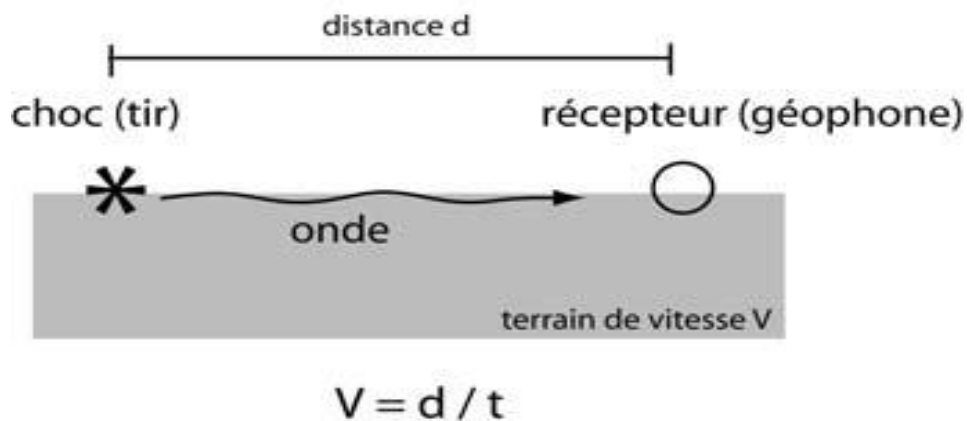






S'il existe dans le sol une interface séparant un premier milieu de vitesse  $V_1$  d'un deuxième de vitesse  $V_2$ , deux phénomènes peuvent provoquer une remontée de l'onde vers la surface et permettre l'observation de l'arrivée d'une onde : une réflexion et, si  $V_2 > V_1$  et que l'on est à une distance suffisante du point source appelée distance critique,  $\Delta c$ , une réfraction.

Chacun de ces deux phénomènes a donné naissance à une technique de prospection, il existe une **sismique réflexion** et une **sismique réfraction**.



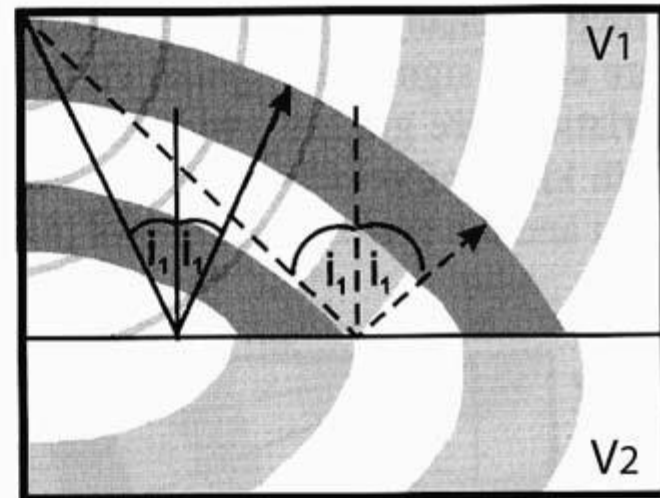
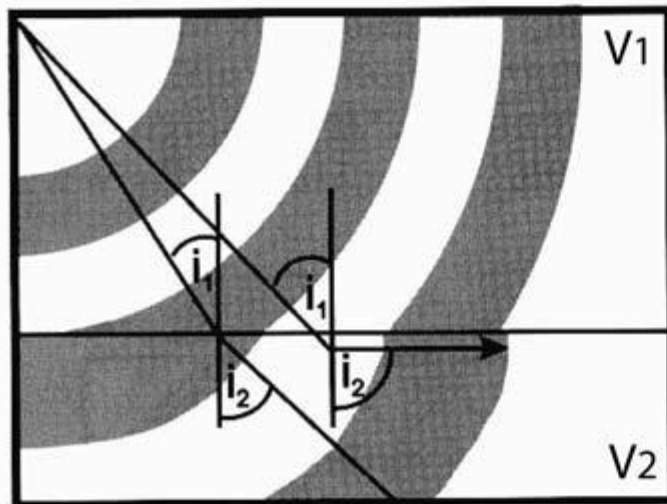
- ***La propagation des ondes sismiques:***

Dans un milieu homogène, élastique, isotrope.

Le principe de Huygens stipule que tout point touché par un front d'onde devient à son tour source d'ondes, toute particule qui entre en oscillation transmet son mouvement aux particules qui l'entourent. Si l'on connaît la forme et la disposition du front d'onde à l'instant  $t$  on peut trouver la forme et la disposition du front d'onde à l'instant  $t + \Delta t$ .

**On appelle rayon sismique la droite perpendiculaire au front d'onde.**

Dans un milieu homogène, isotrope et élastique, le front d'onde est une sphère

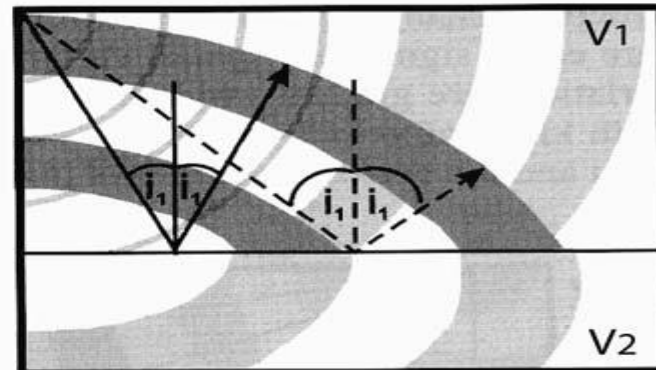
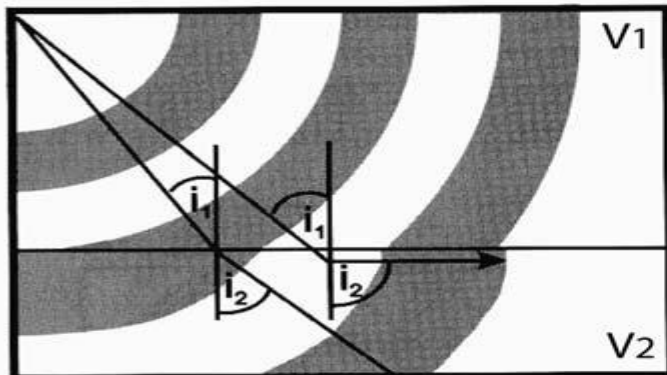


## Dans un milieu hétérogène

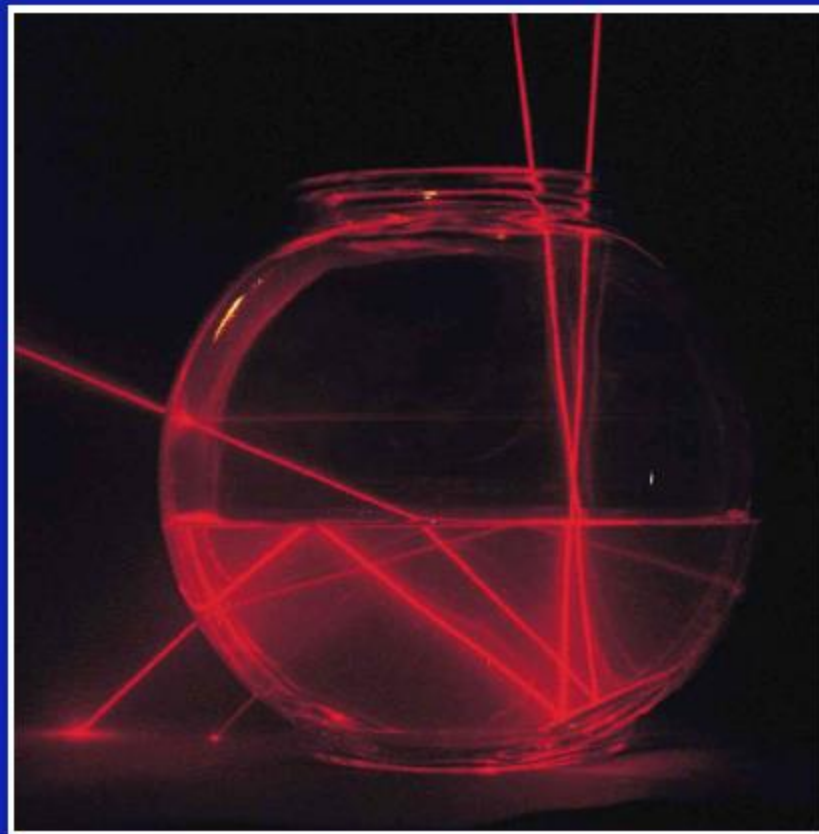
Dans le cas où le sous-sol est hétérogène, l'onde ou le rayon issu de la source ponctuelle va subir des modifications. En passant d'un milieu à l'autre, la vitesse de propagation change, ce changement peut s'accompagner de phénomènes de **réflexion, de réfraction et de diffraction**.

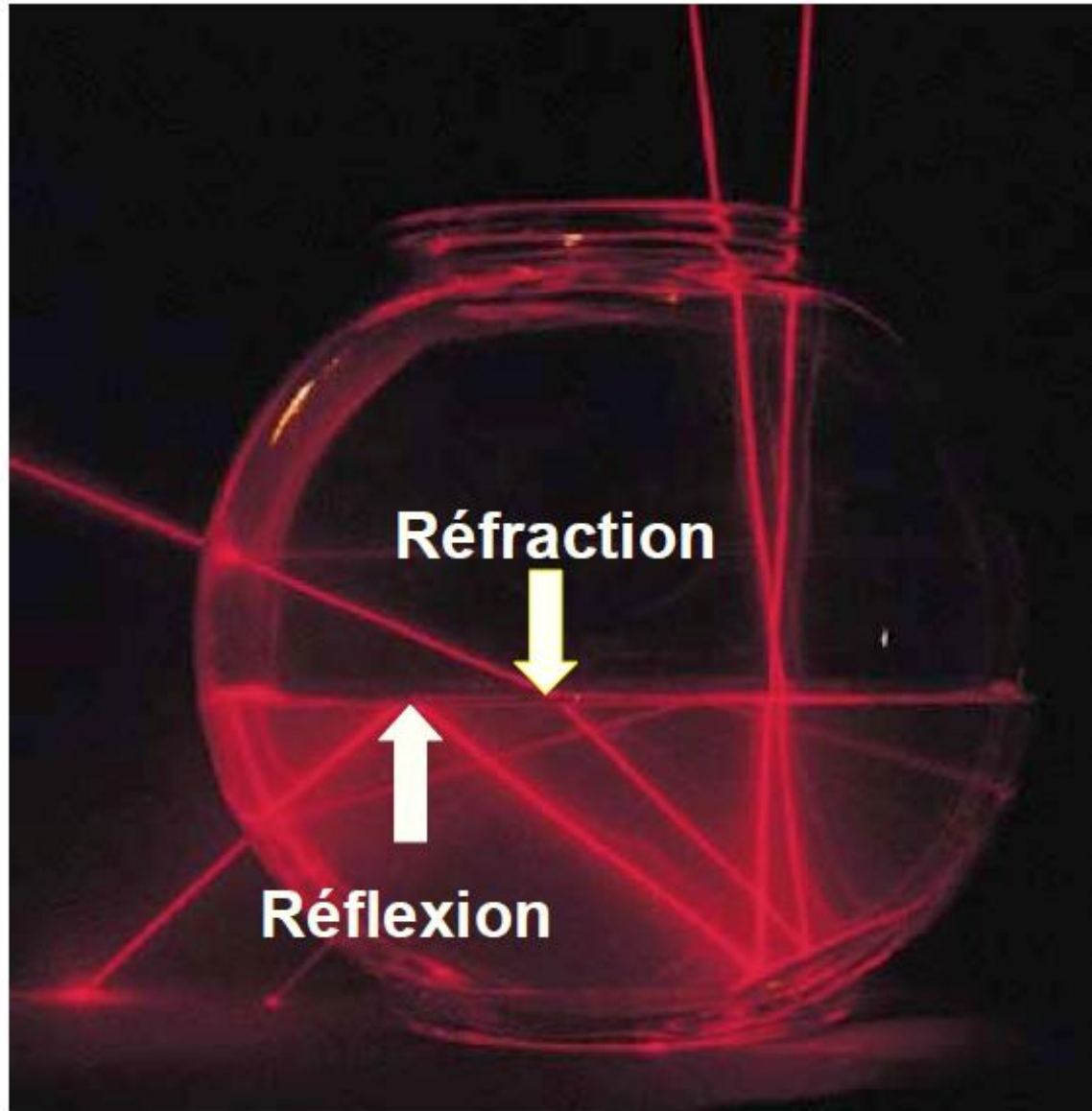
La sismique réfraction a pour objet l'étude de la propagation des ondes sismiques suivant les trajets directs et réfractés. La sismique réflexion s'intéresse, elle, aux propagations suivant les trajets réfléchis.

Les ondes élastiques se comportent de manière analogue aux ondes lumineuses, on leur applique les mêmes lois. Considérons deux milieux de nature différente, c'est-à-dire deux milieux ayant des vitesses sismiques différentes  $V_1$  et  $V_2$ . Ces milieux sont séparés par une surface de *discontinuité* que nous supposerons plane pour simplifier. Cette surface est désignée en sismique réfraction par le terme marqueur et en réflexion par la dénomination de miroir.



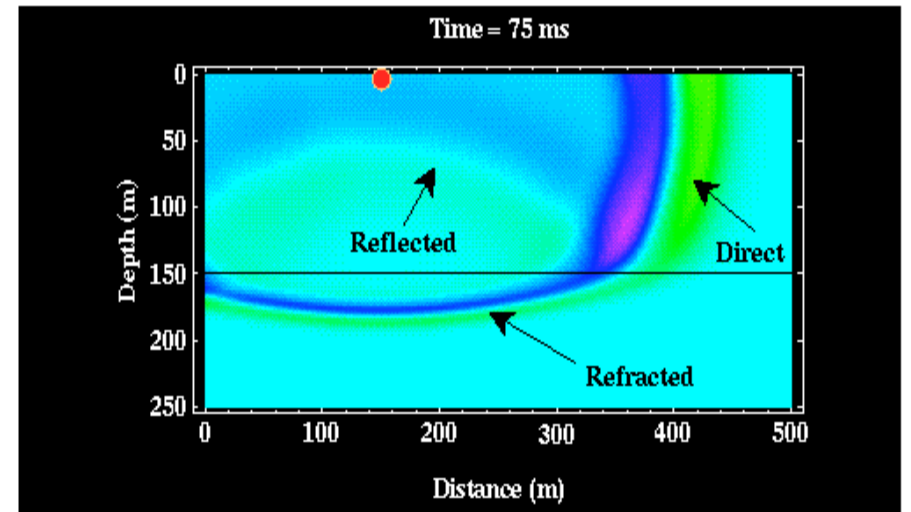
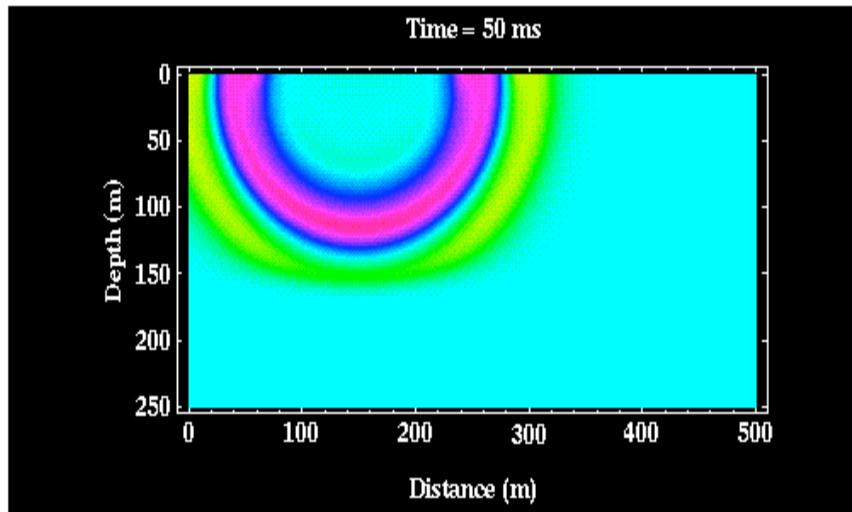
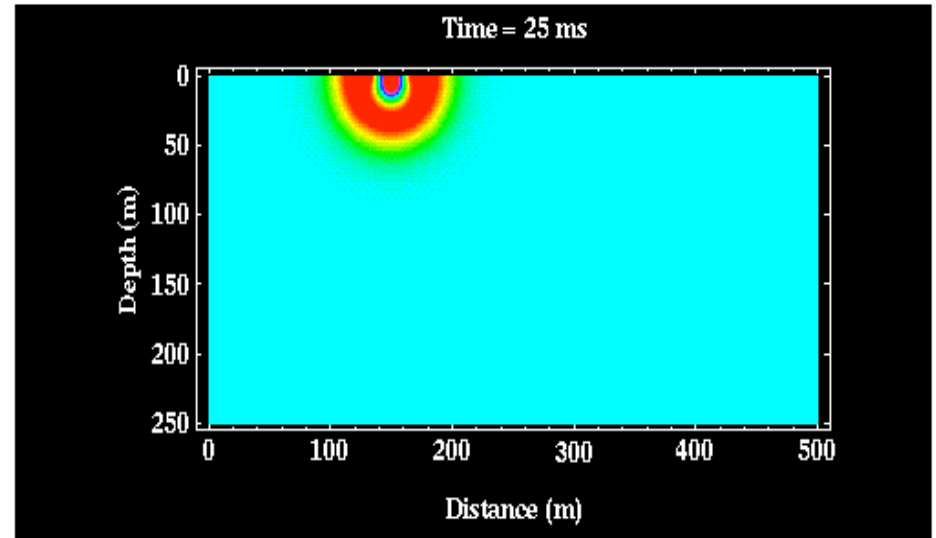
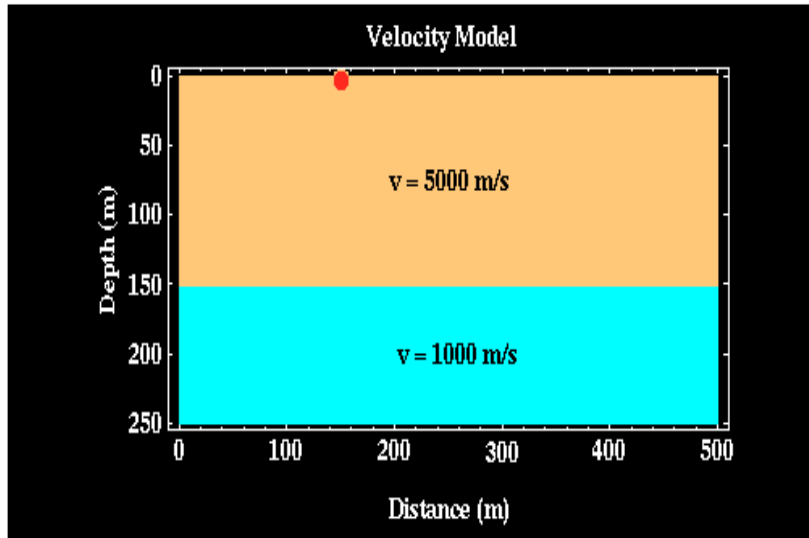
## Trajets des ondes



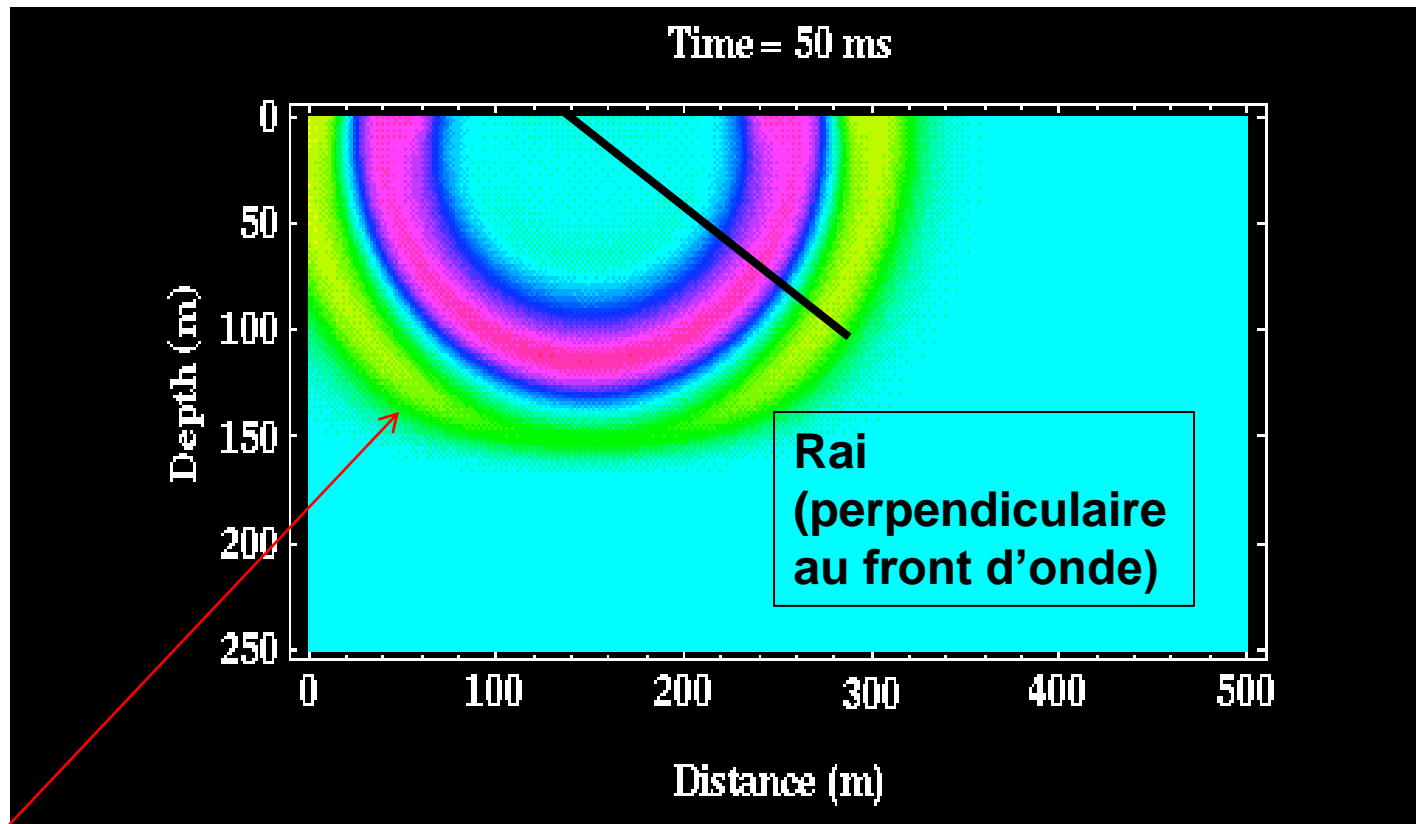


Réfraction  
et  
réflexion  
d'un  
pinceau  
de lumière

# Ondes dans un milieu stratifié



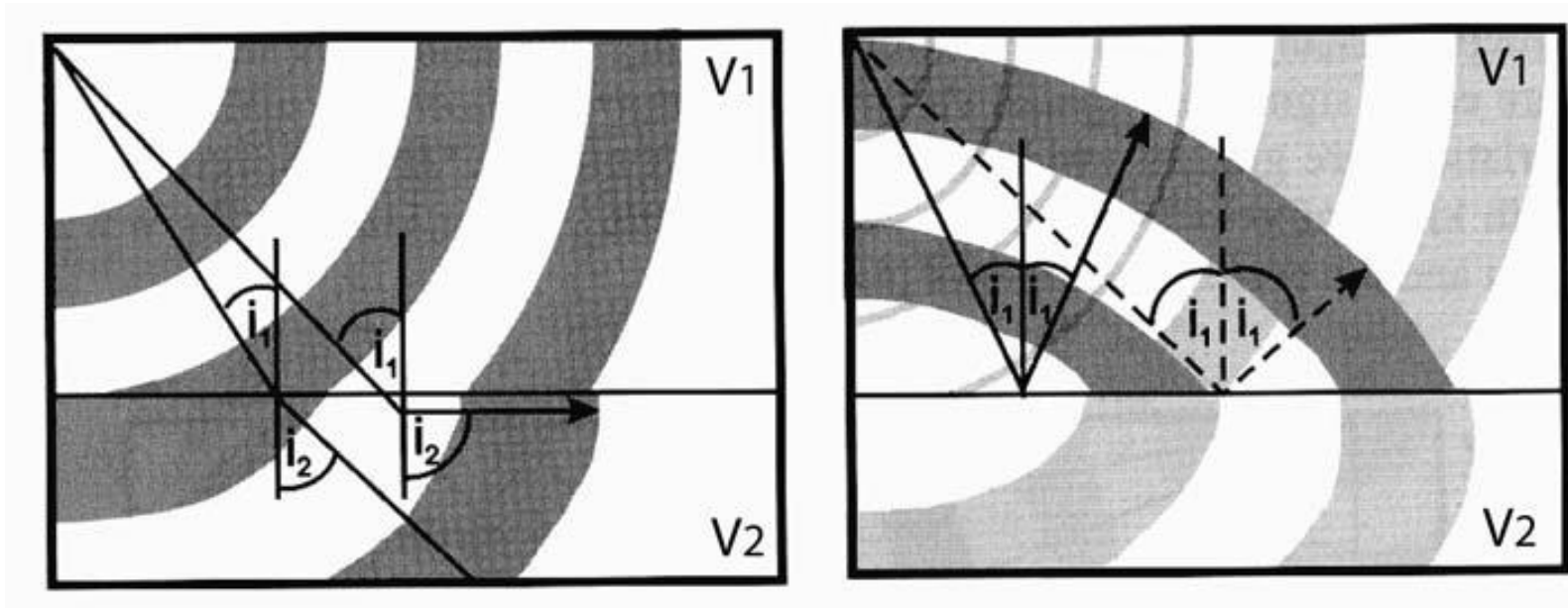
## L'étude des rais sismiques (analogues des rayons lumineux)



Front d'onde

Le rai représente  
la direction de propagation

Par analogie avec la propagation de la lumière, on utilise les lois de Snell pour l'étude des trajets sismiques. La figure ci-dessous montre les relations géométriques pour la transmission (à gauche) et la réflexion (à droite) entre deux milieux de vitesses  $V_1$  et  $V_2$ . Selon Snell, nous avons :

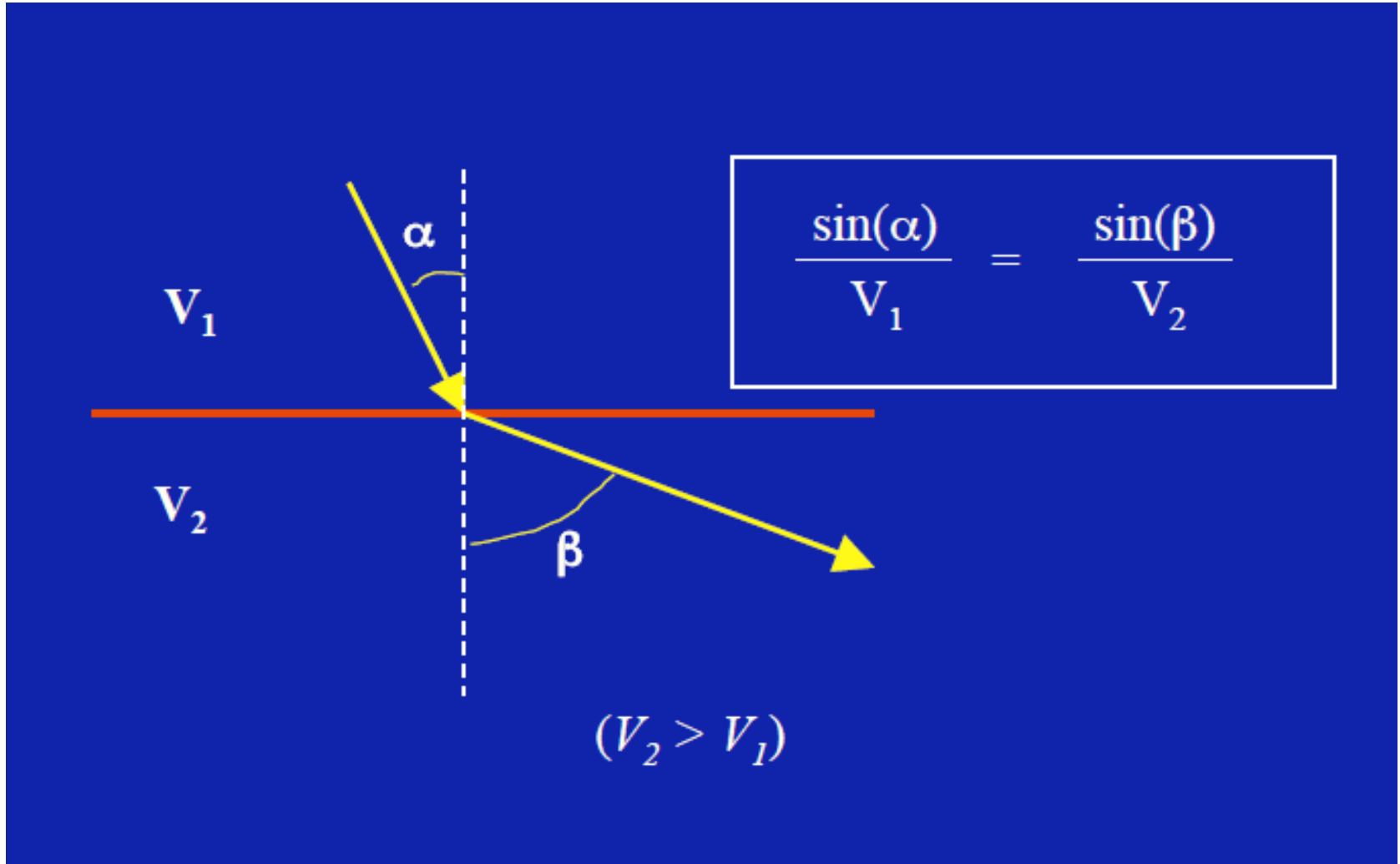


Lorsque  $i_2=90^\circ$ , alors  $\sin(i_2)=1$  et  $\sin(i_1) = \frac{V_1}{V_2}$  et l'angle  $i_1$  est appelé **angle d'incidence limite** ou

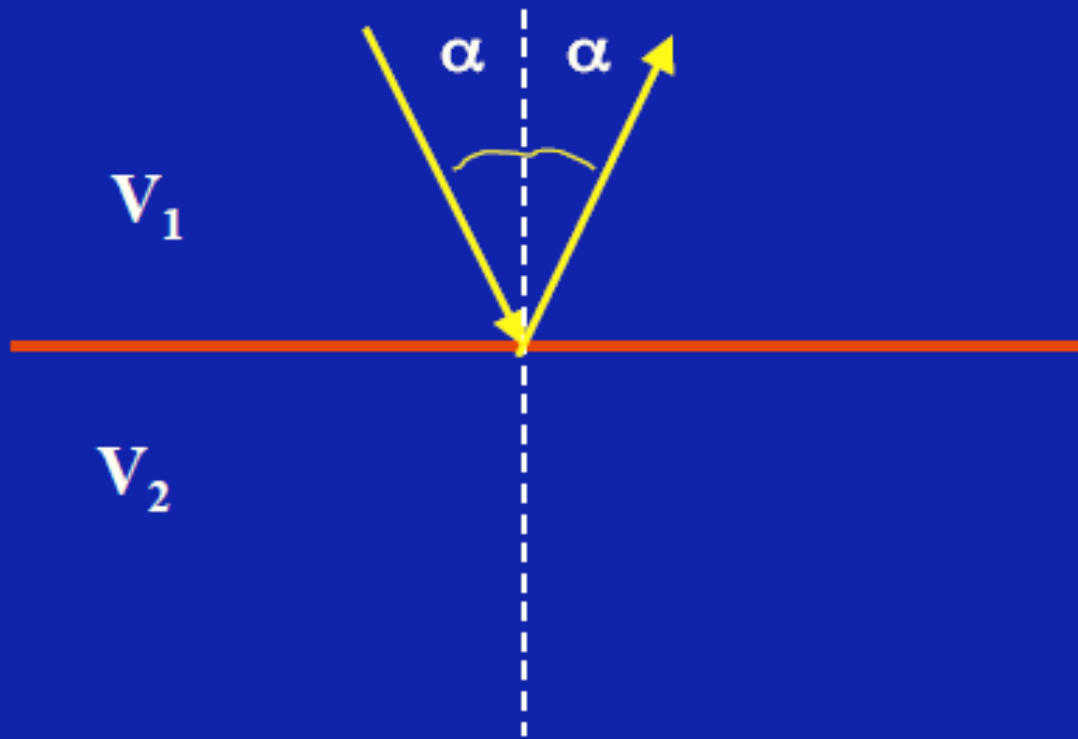
**angle critique  $i_c$** . Dans ce cas, le trajet réfracté suit le toit du marqueur à la vitesse  $V_2$ . C'est le phénomène de réfraction totale (voir figure ci-dessous à gauche).

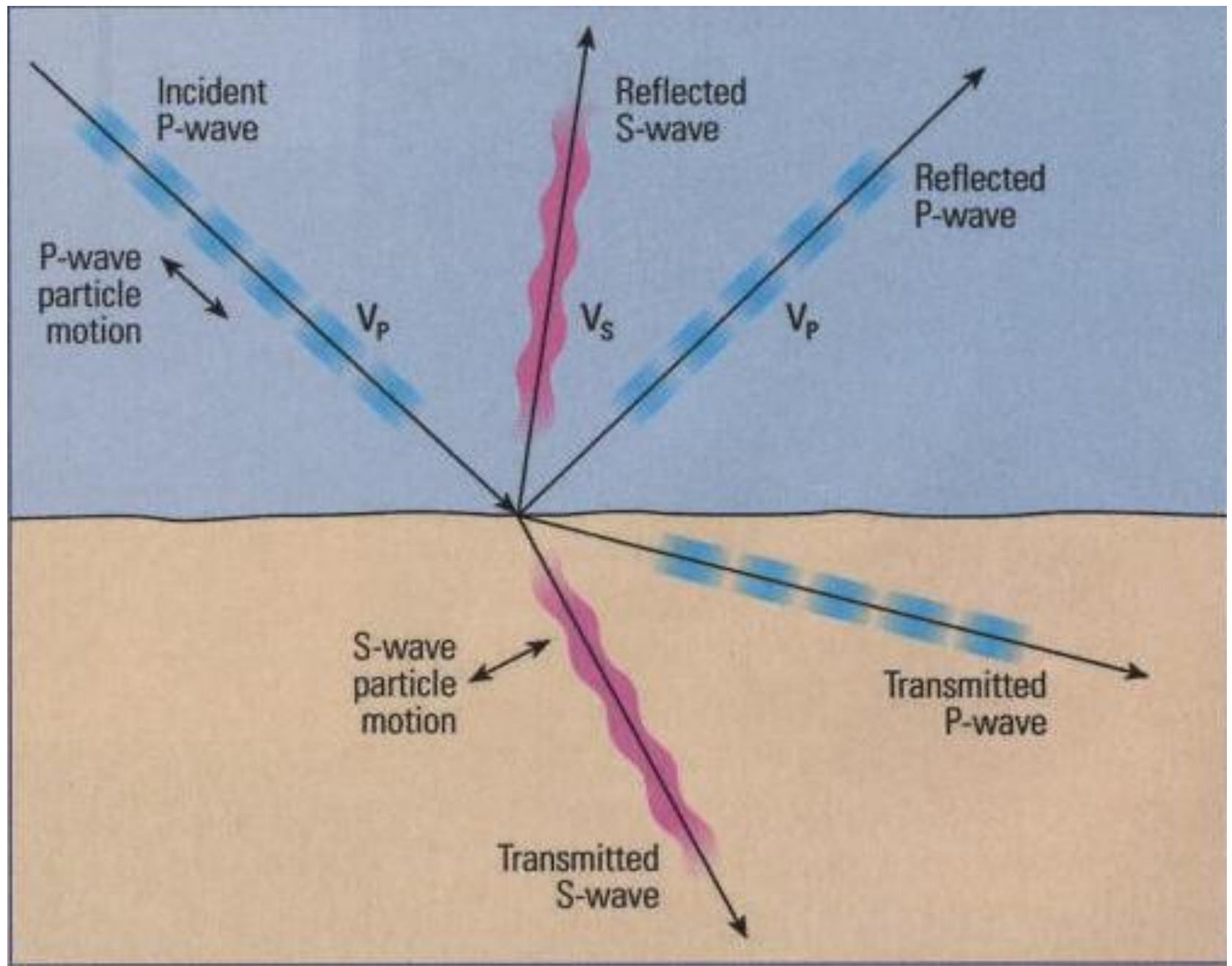


# Réfraction : loi de Descartes - Snell

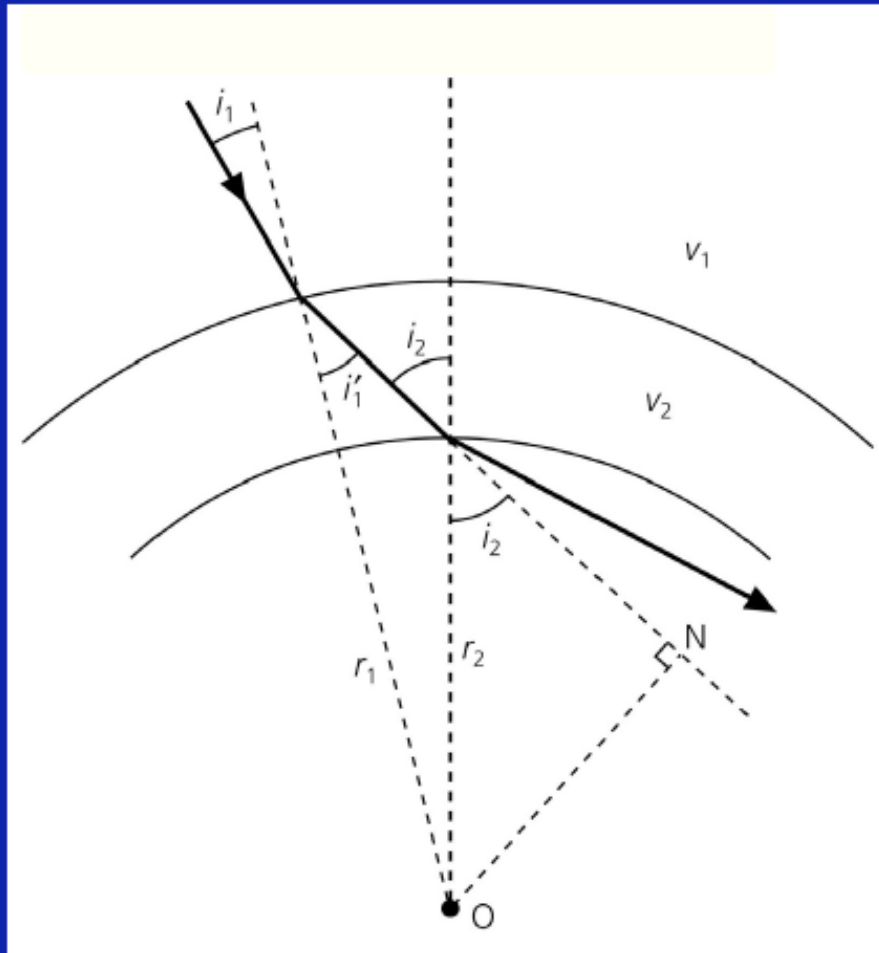


# Réflexion





## Réfraction dans la Terre (géométrie sphérique)

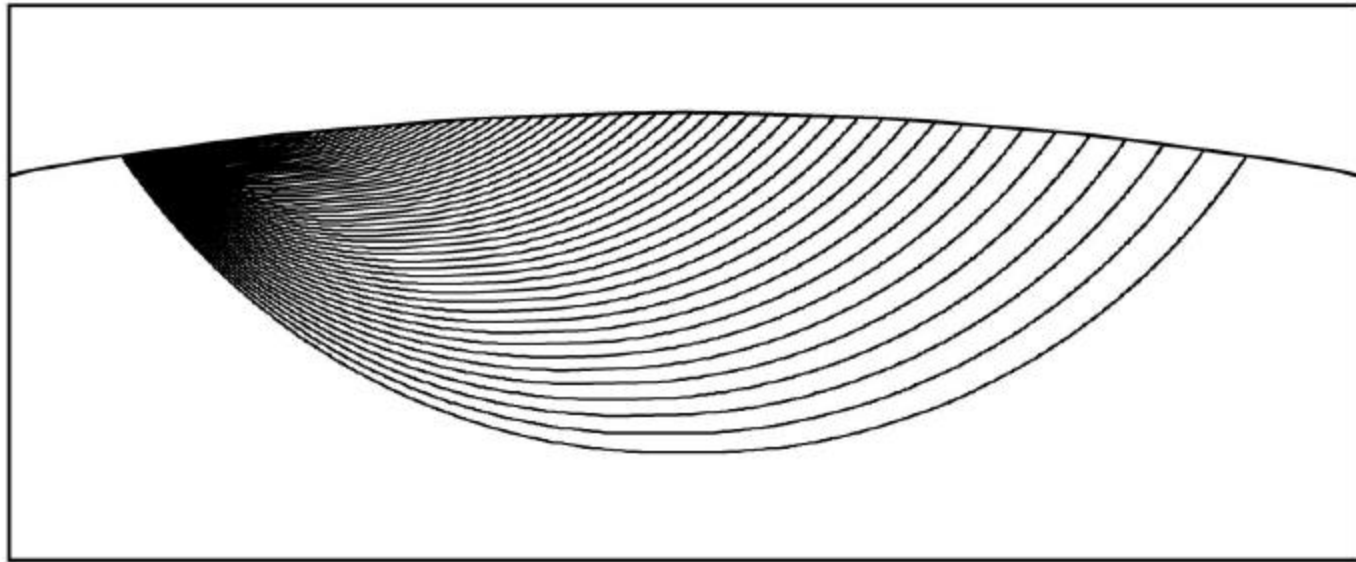


### Principe

Les vitesses augmentent avec la profondeur (effet de la pression)

Les rais ont une courbure positive : ils “remontent”.

## TRAJETS DES RAIS SISMIQUES DANS LA TERRE

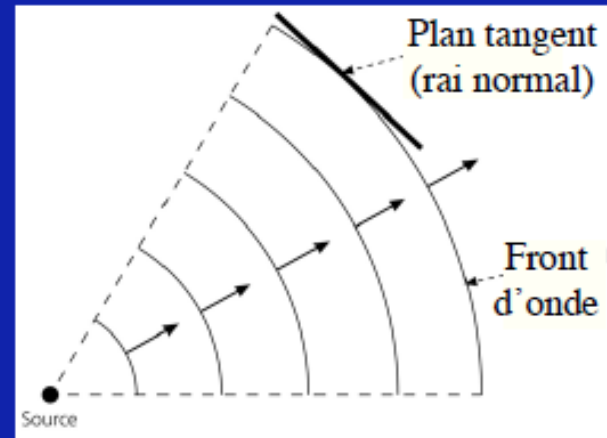


Distance ( $\Delta$ )

# ATTENUATION DES ONDES

## 1. Ondes de volume

**Géométrie** : l'onde se propage avec un front d'onde sphérique. L'énergie se conserve (à peu près). La surface mise en mouvement au front croît en  $r^2$  ( $r$  = distance de la source). Donc l'énergie de l'onde décroît en  $r^{-2}$ .



## Technique de mesure

La méthode sismique implique la production d'énergie qui est transmise au sous-sol. Après un certain temps cette énergie ayant été **réfléchi**e ou **réfractée** sur **une ou plusieurs discontinuités** retourne en surface ou elle est perçue par des **récepteurs ou géophones**.

**L'amplitude du signal reçu**, qui dépend de l'énergie parvenant aux récepteurs, ainsi que la forme du signal sont affectées par des causes artificielles (appareil, source, etc. ) et des causes naturelles (coefficient de réflexion, distance, absorption, etc.).

## Les sources d'énergie

Il existe de nombreux moyens d'émission utilisés en prospection sismique (explosifs; camion de vibration (vibroscis)). Pour les travaux à faible profondeur, on peut utiliser à la place des explosifs le choc d'un marteau sur une plaque posée sur le sol ou encore le fusil (cartouches à blanc). Les endroits où ont eu lieu les tirs sont appelés des points de tirs.

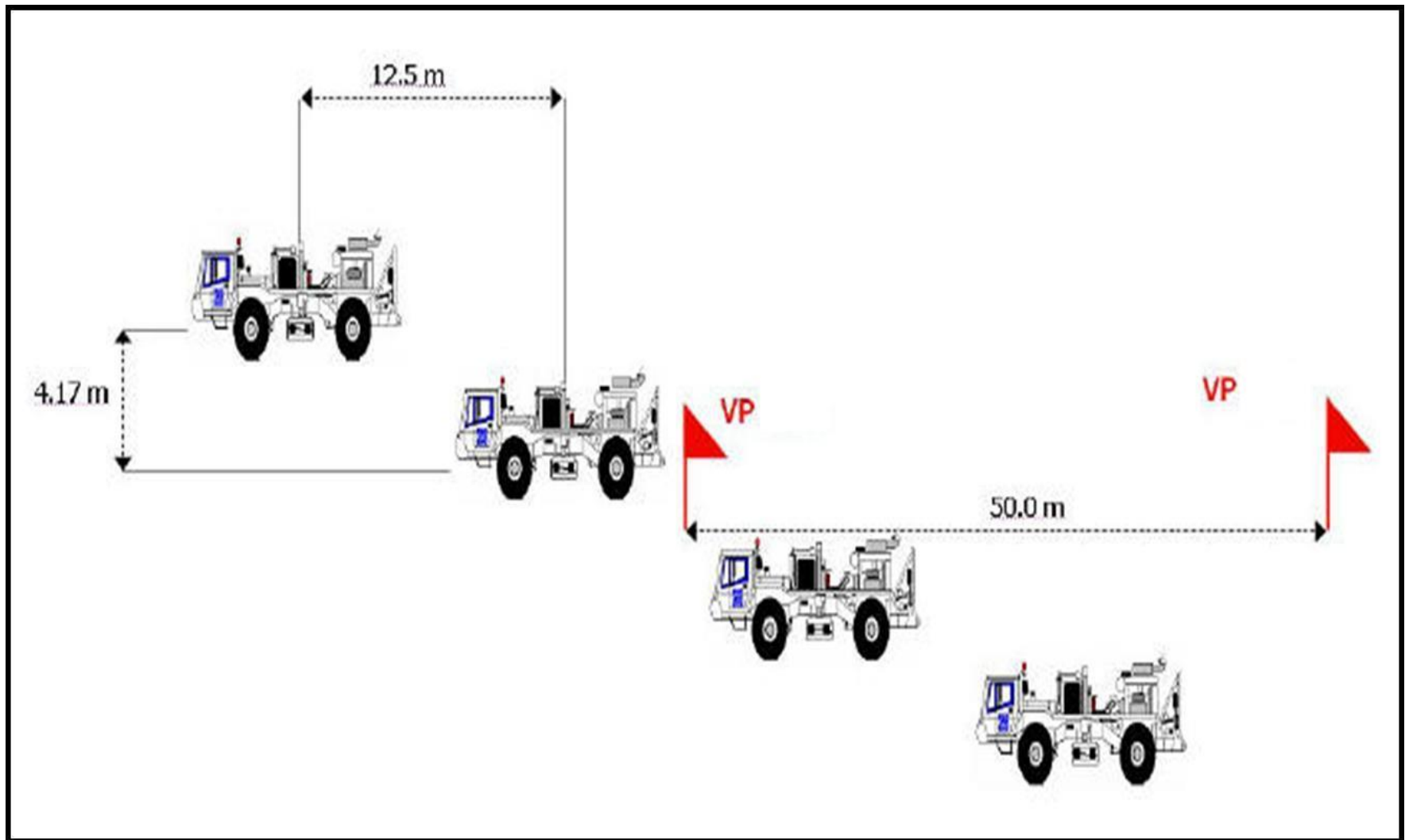




**vibroseis**







# Les récepteurs

Le mouvement du sol provoqué par le passage des ondes sismiques générées par l'explosion ou la chute du marteau, est perçu par des récepteurs que l'on appelle des géophones. Le géophone est un petit appareil qui traduit en tension électrique le mouvement du sol, surtout sa composante verticale (ondes P).

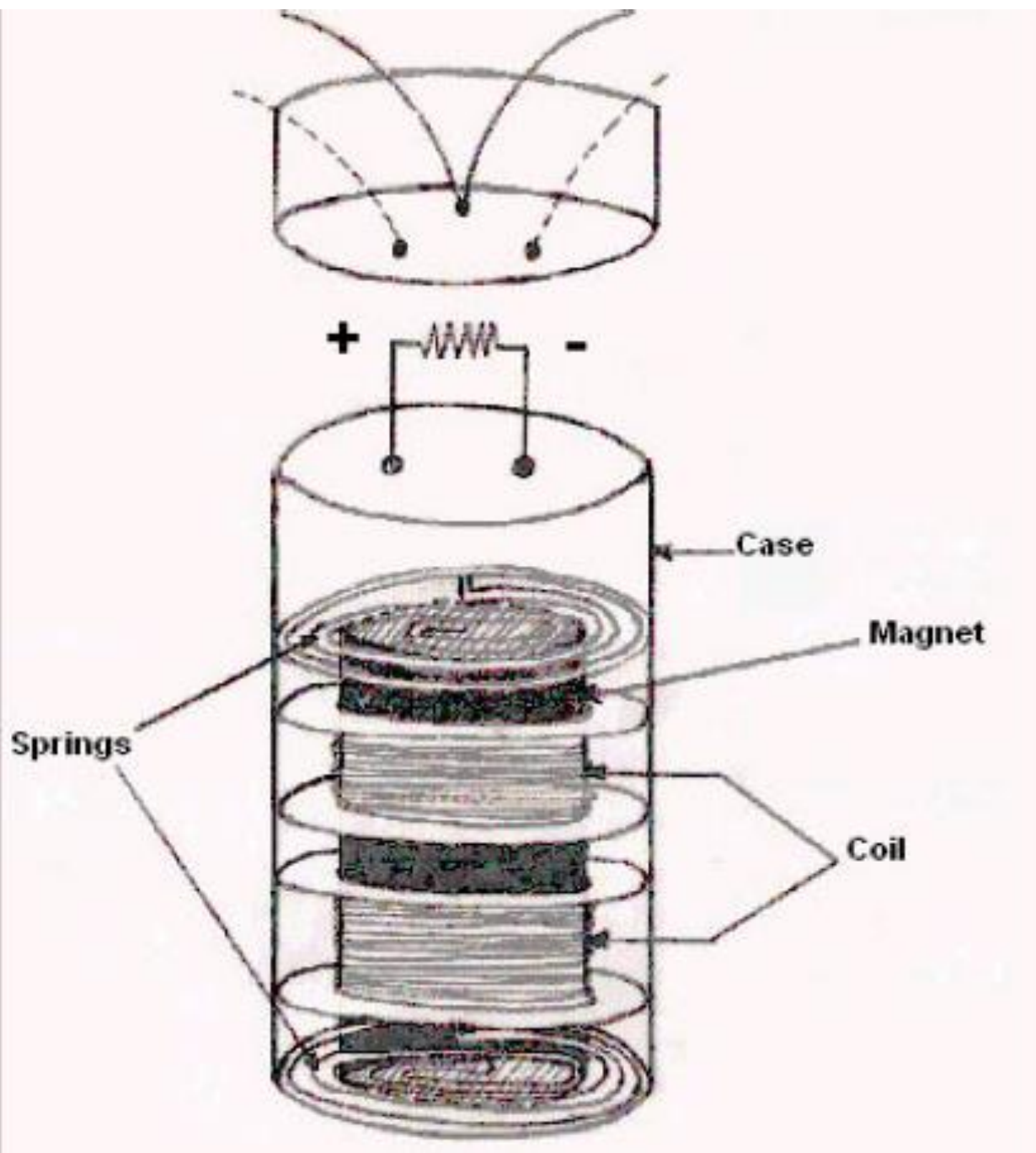
L'amplitude des oscillations de l'appareil est proportionnelle à celle des arrivées sismiques. La fréquence d'oscillation dépend essentiellement de l'instrument.

L'amplitude du signal dépend aussi du couplage du géophone avec le sol. Le couplage sol-géophone est très important si l'on désire avoir une représentation fidèle du mouvement du sol.

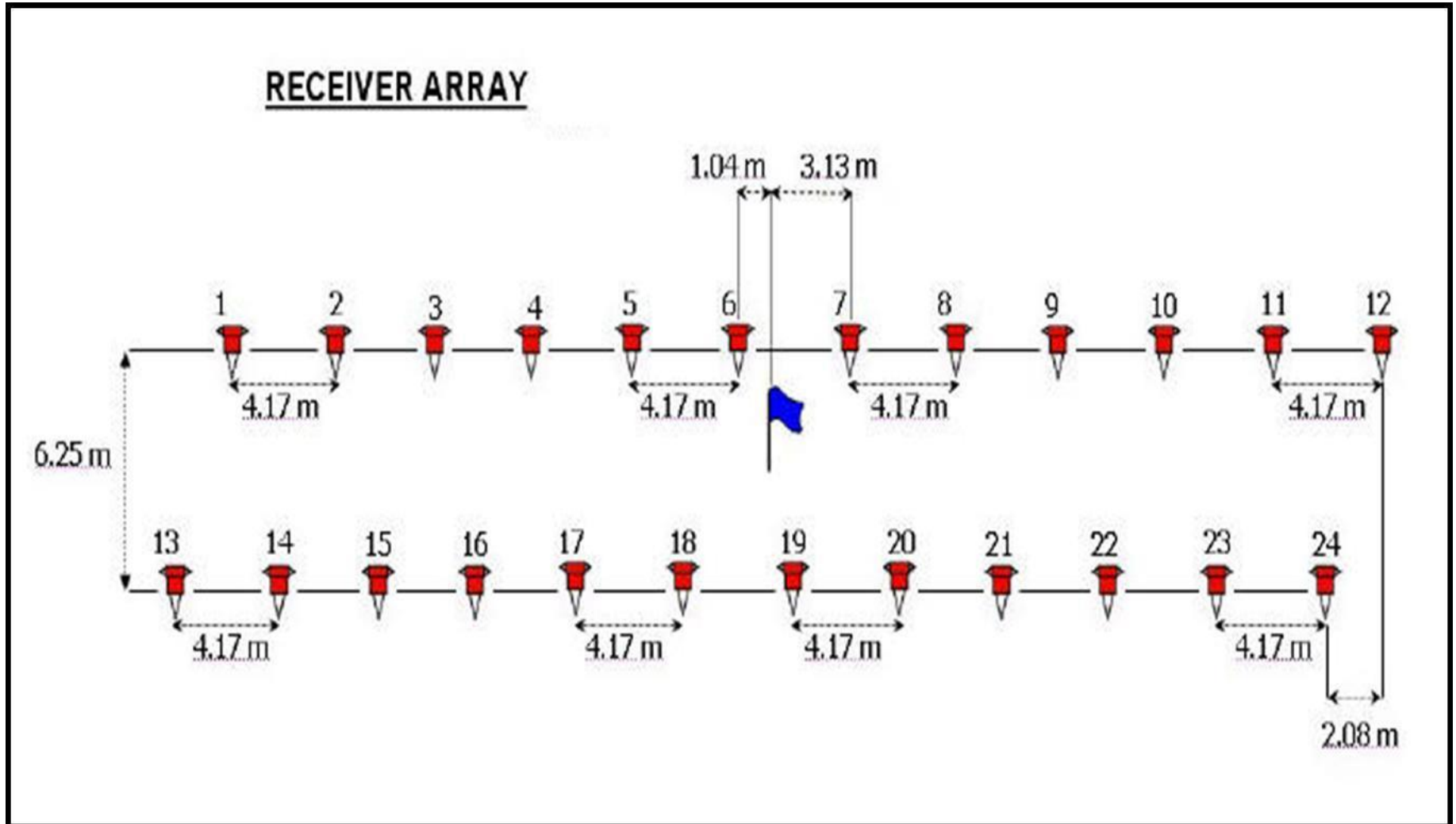
# Geophones

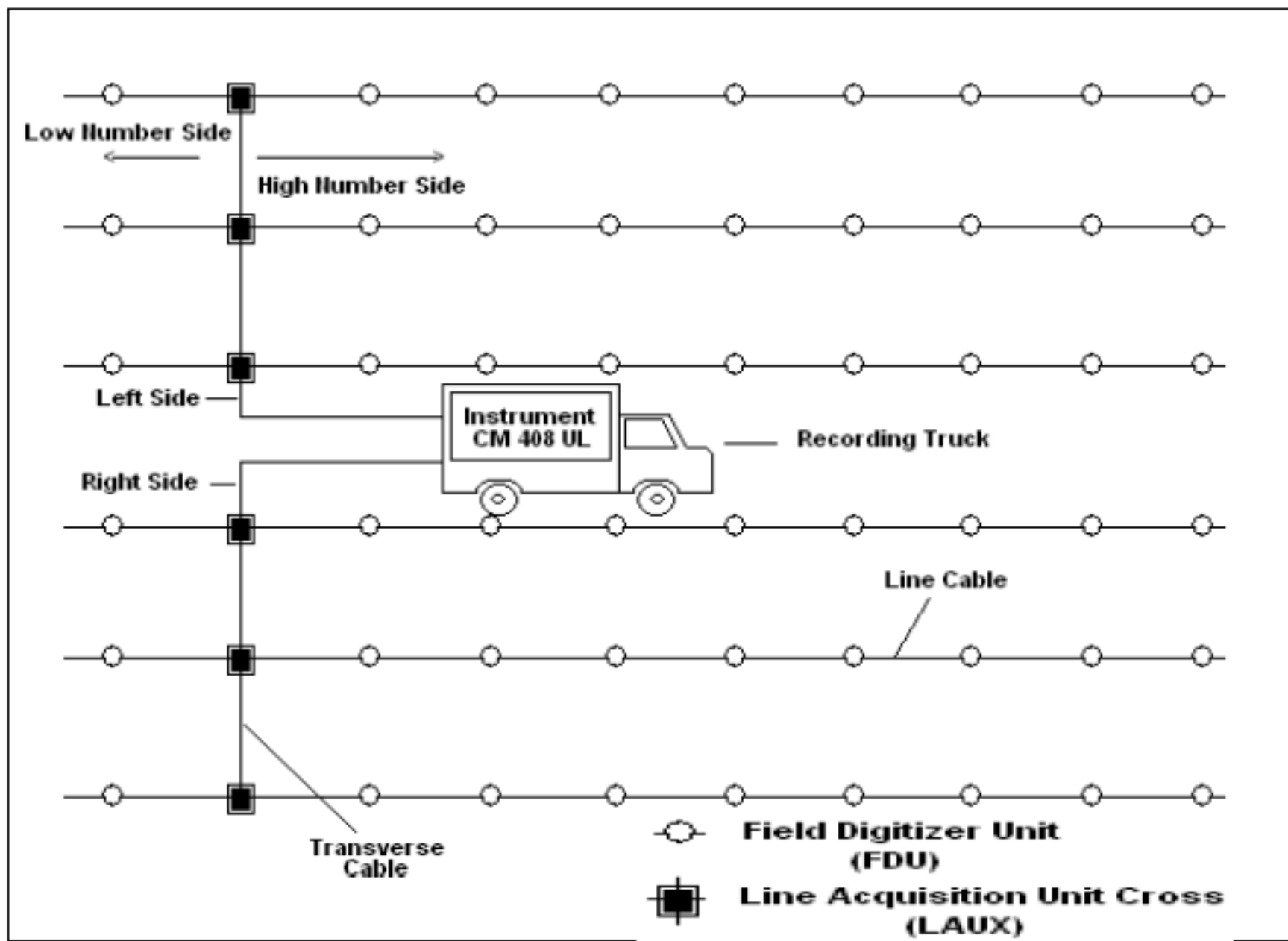




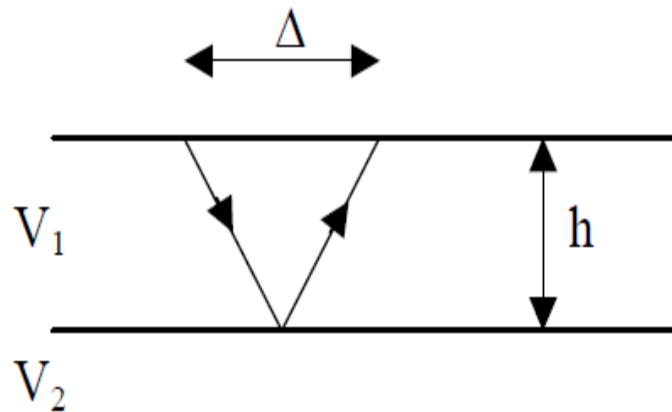


# Dispositif d'enregistrement (Geophones)





## Sismique réflexion

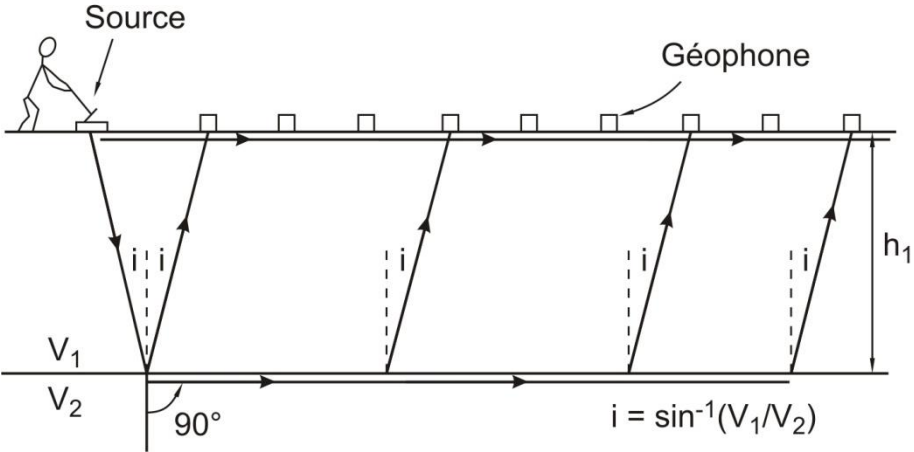
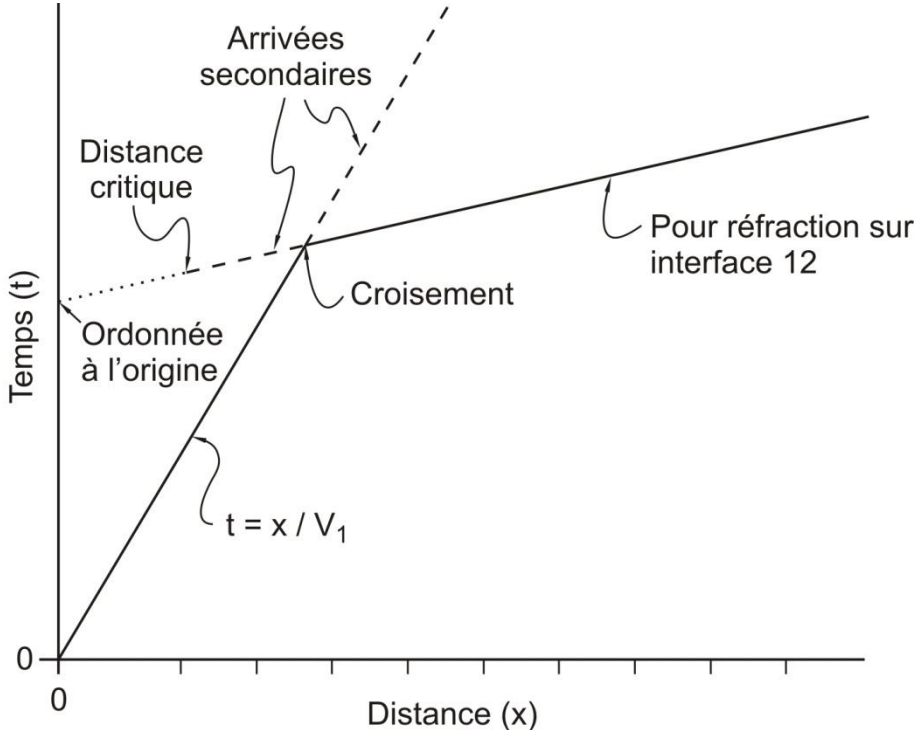


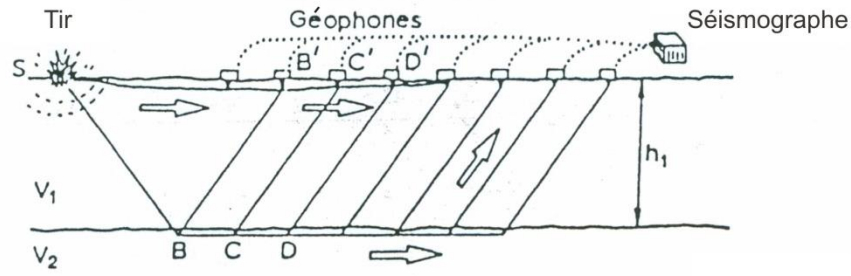
Du fait de l'égalité entre les angles d'incidence et de réflexion, le parcours de l'onde réfléchie se divise en deux segments égaux et son temps d'arrivée a pour expression :

$$t_r = \frac{\sqrt{\Delta^2/4 + h^2}}{V_1}$$

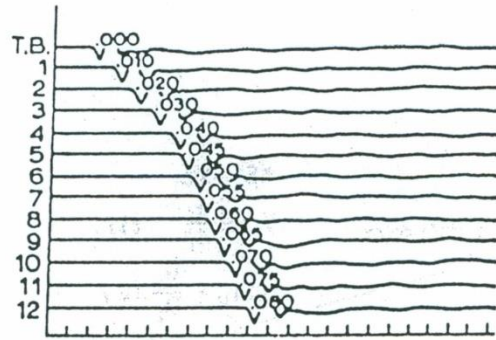


# Principes

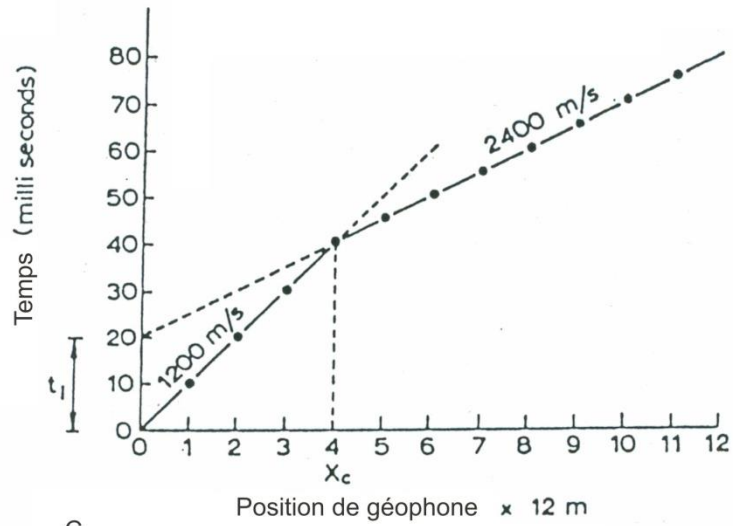




A

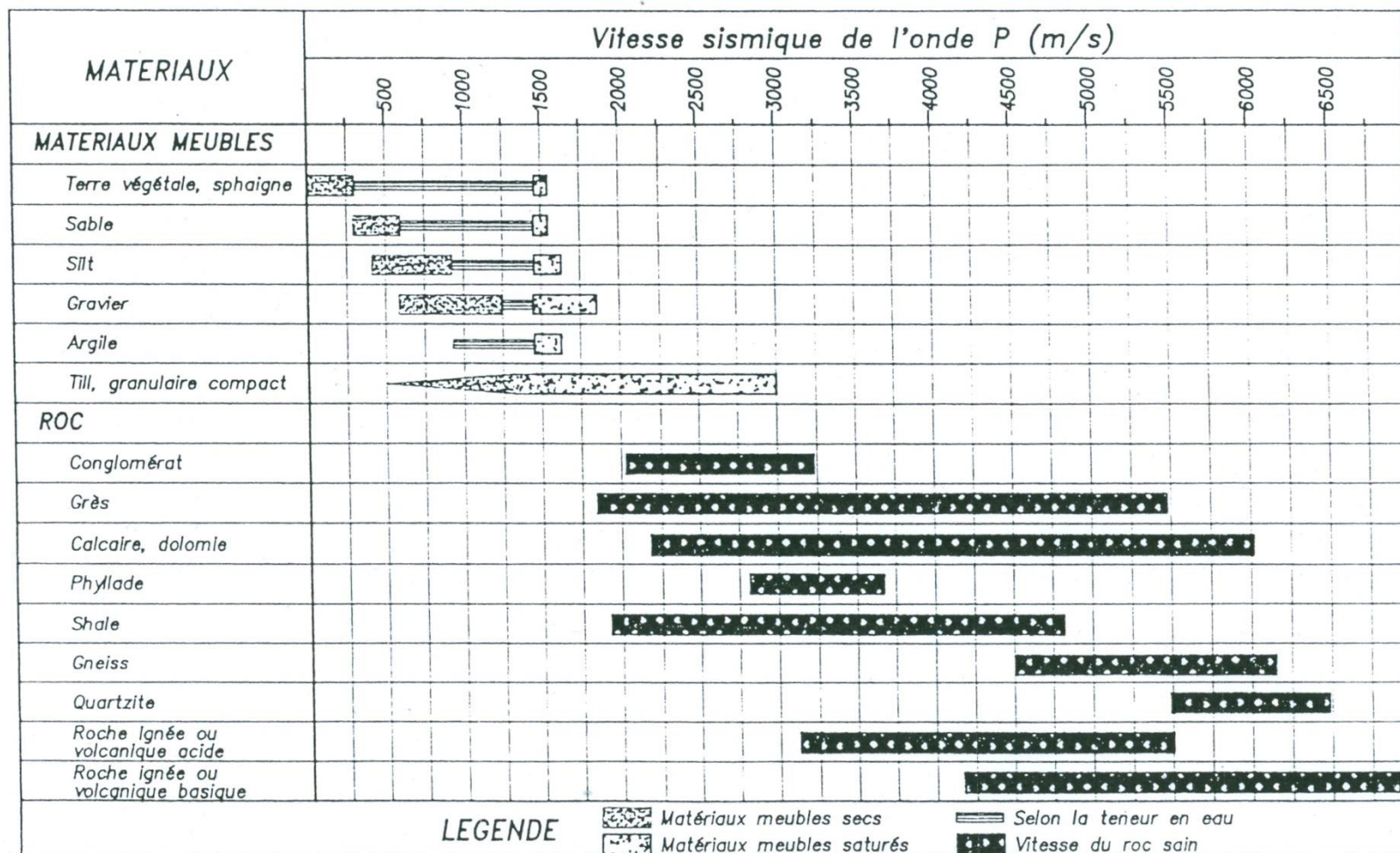


B

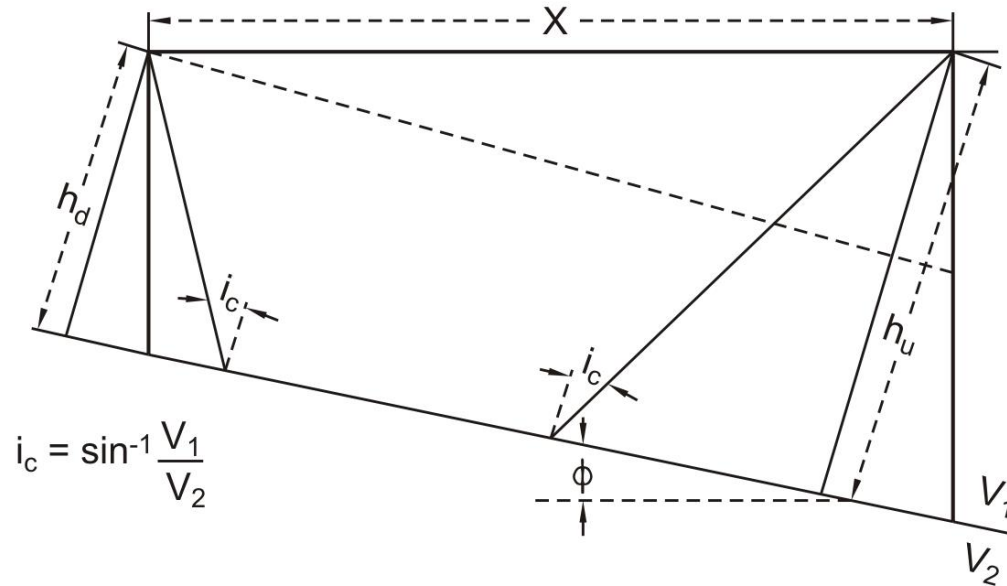
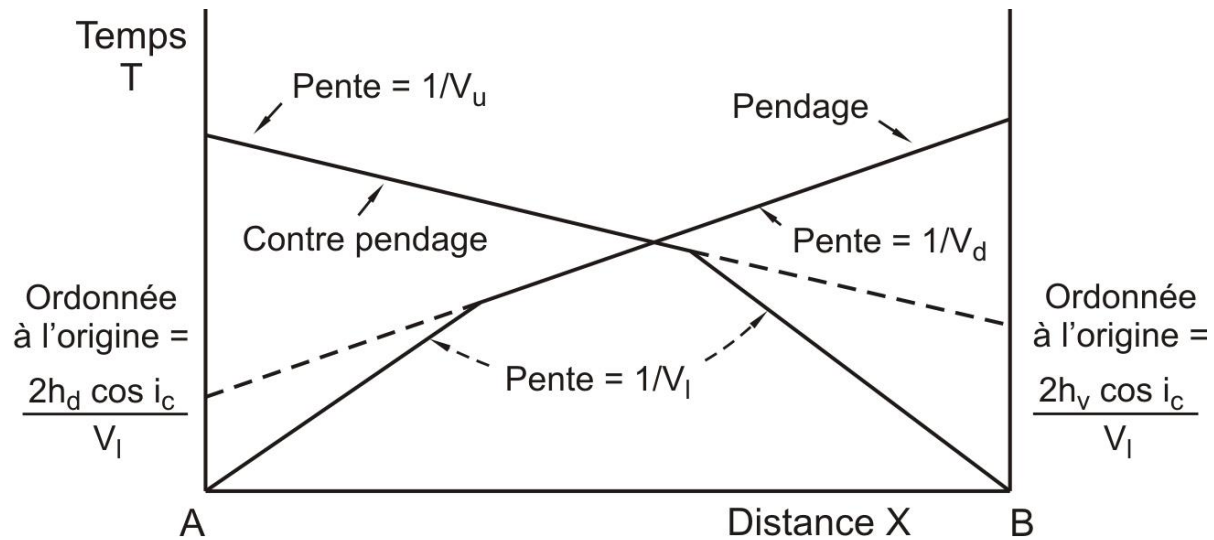


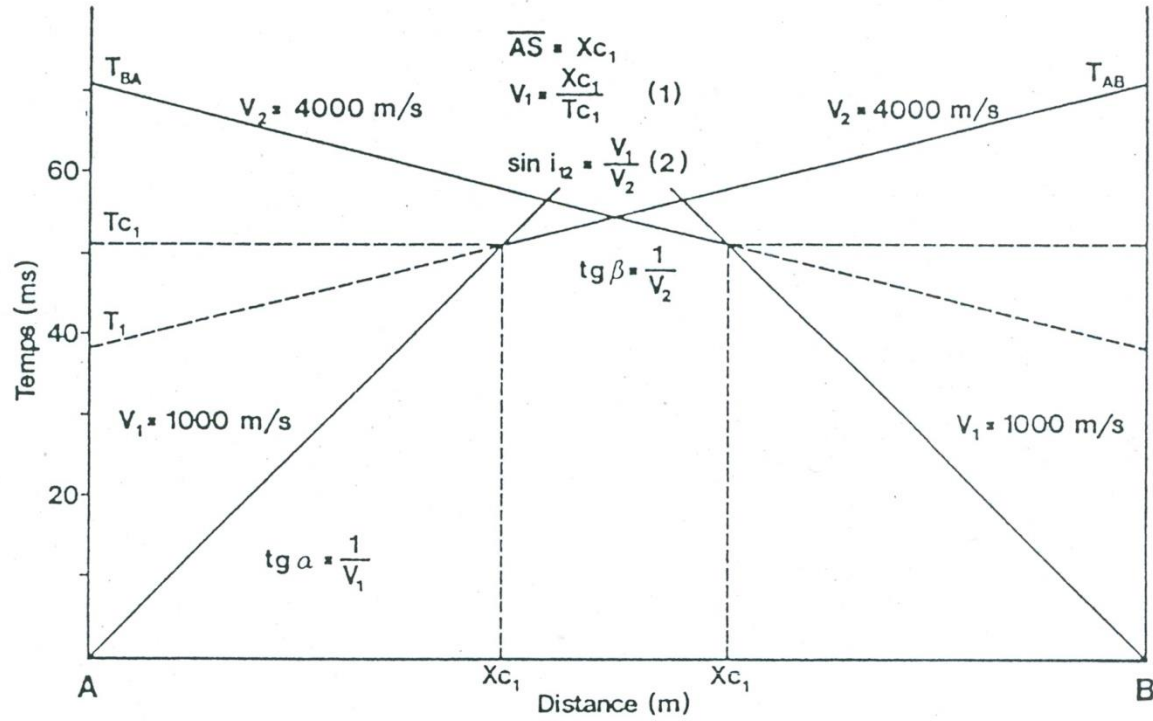
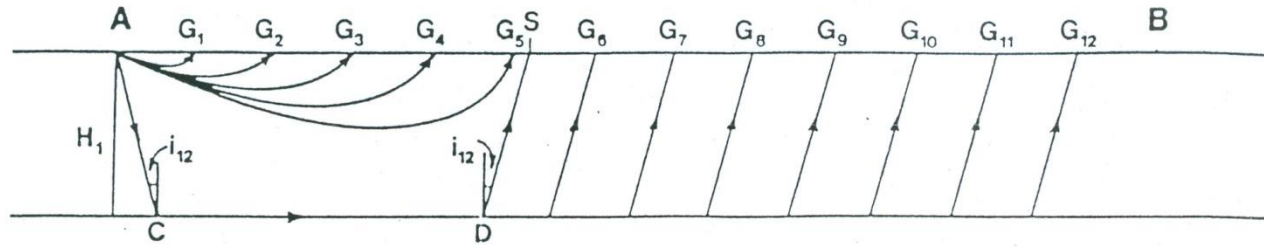
C

# NATURE DES MATERIAUX EN FONCTION DE LA VITESSE SISMIQUE

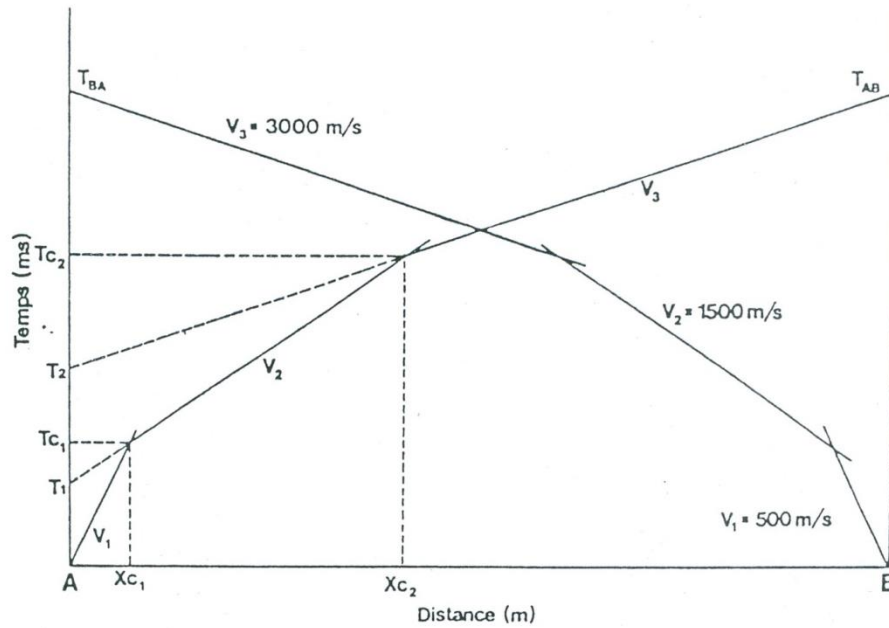


# Couche inclinée



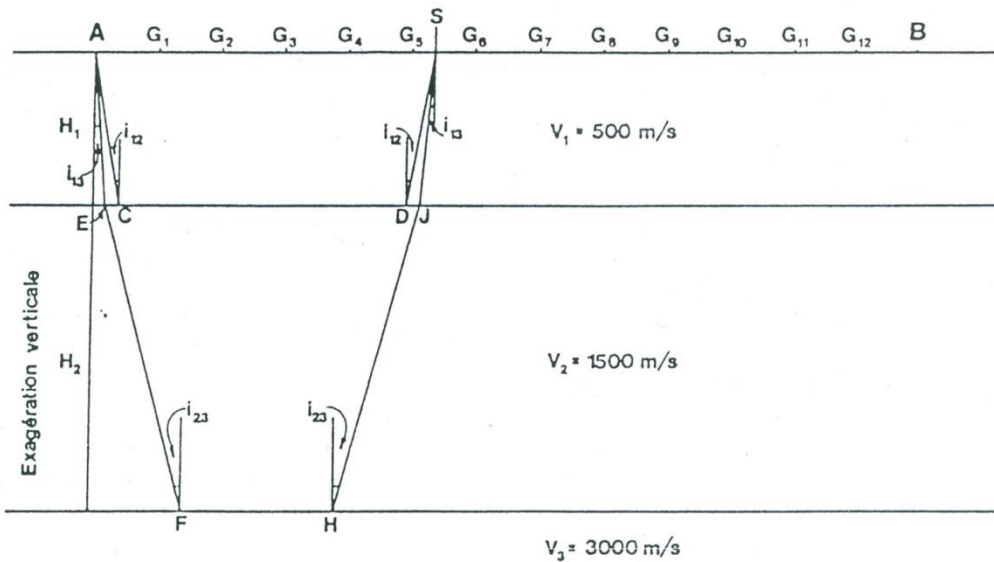


# 3 couches



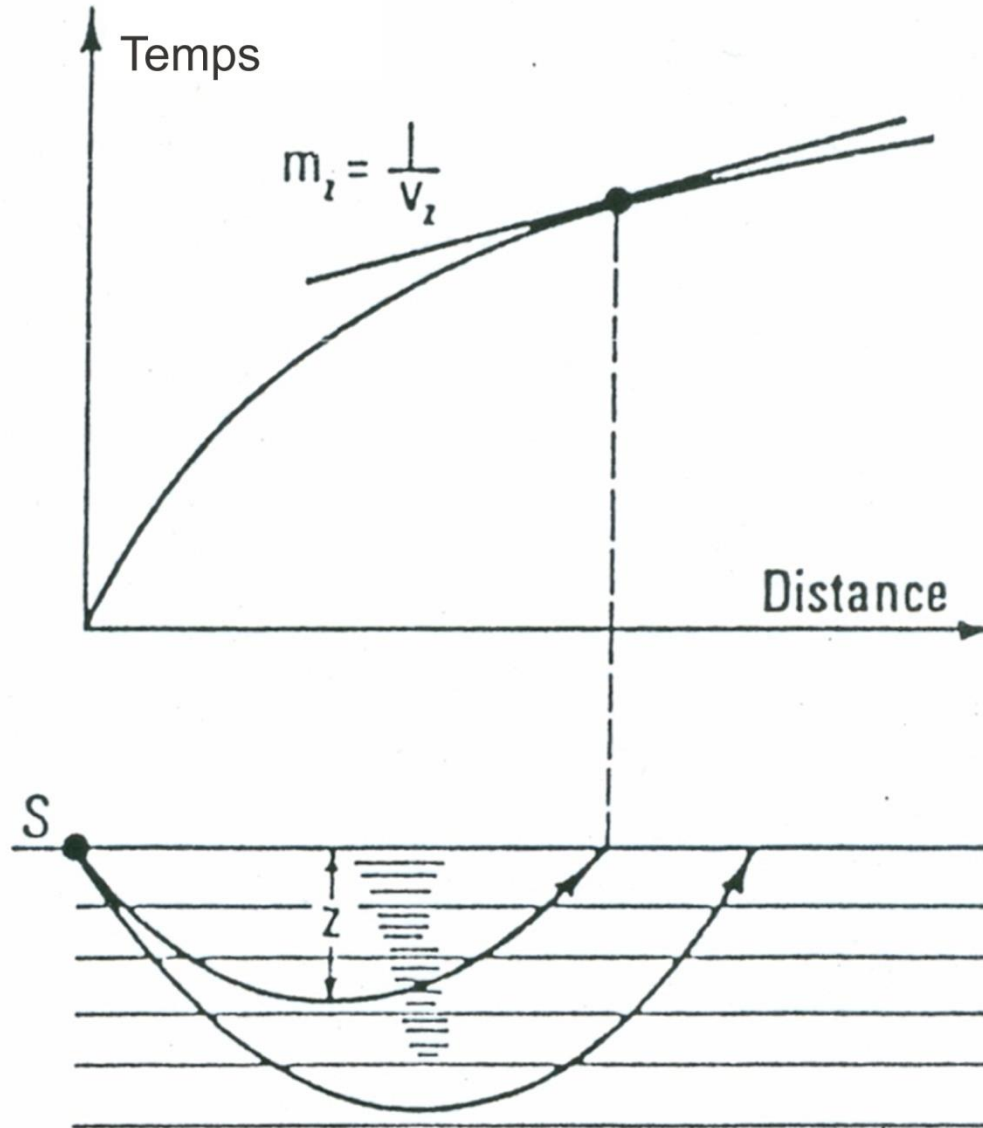
$$H_2 = \frac{X_{c2}}{2} \sqrt{\frac{V_3 - V_2}{V_3 + V_2}} - H_1 \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_3}\right)^2} - \sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 - \left(\frac{V_1}{V_3}\right)^2}}$$

$$H_2 = \frac{T_2}{2} \frac{V_2 V_3}{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}} - \frac{H_1 \cos i_{13}}{\sin i_{12} \cos i_{23}}$$

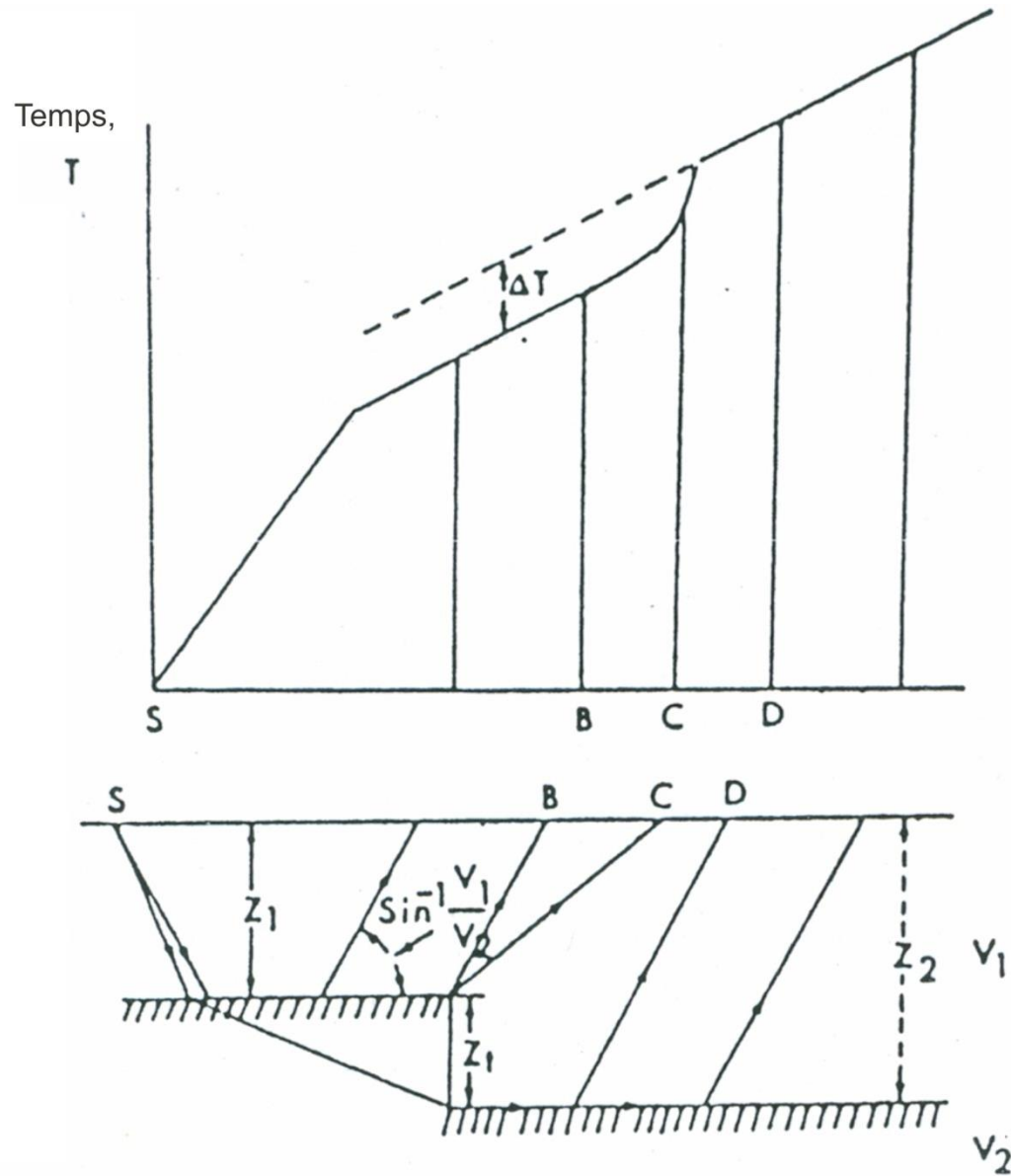




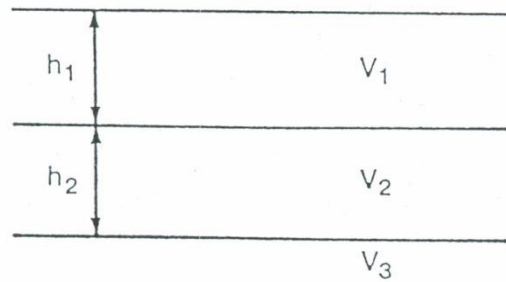
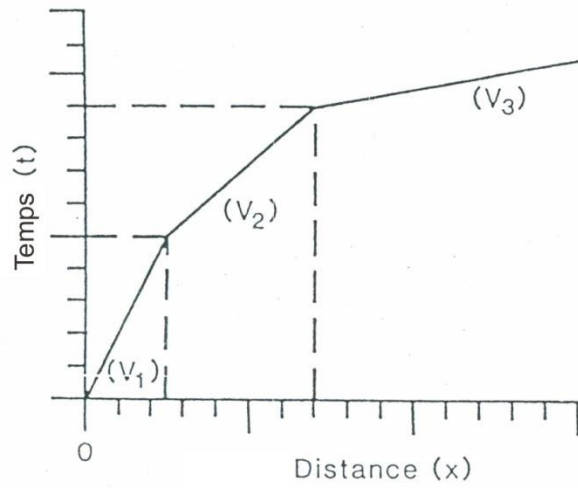
# Gradients de vitesse



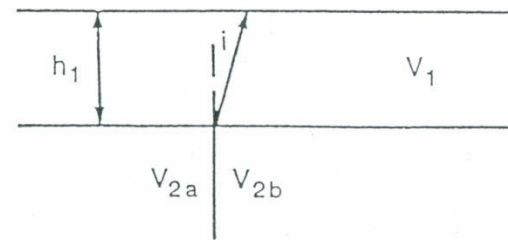
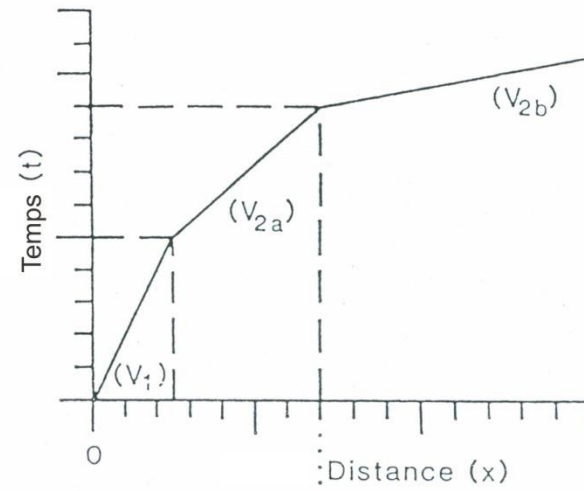
# Décrochement



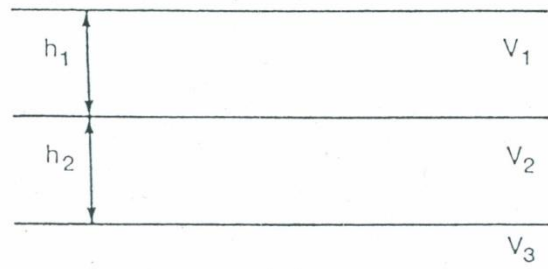
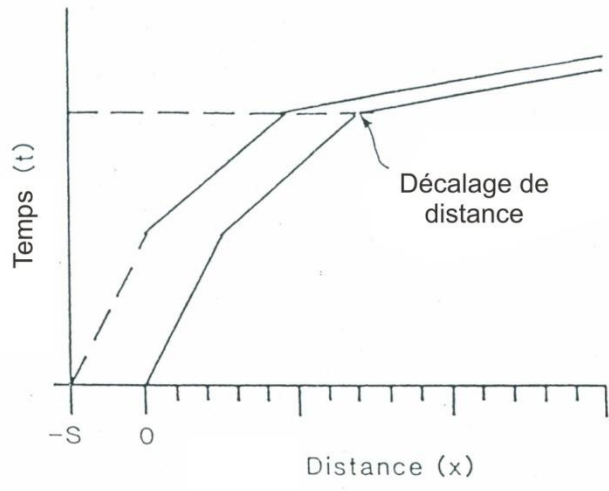




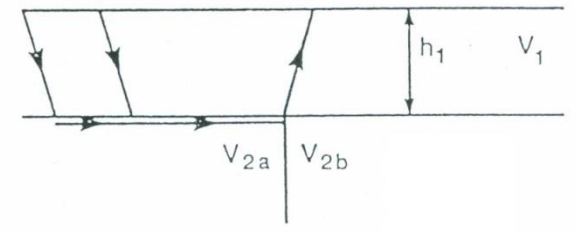
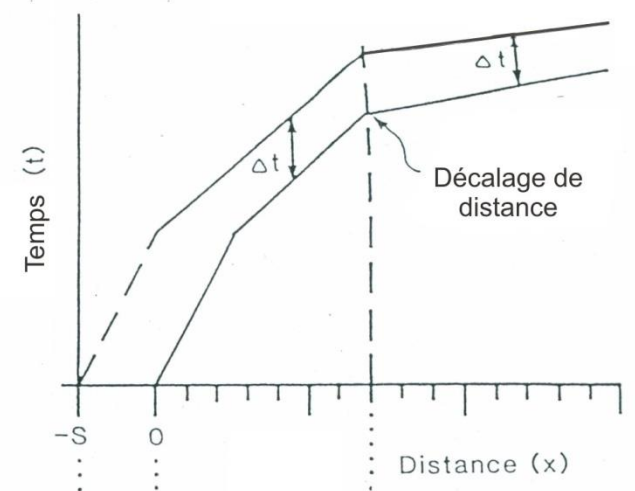
(a)



(b)

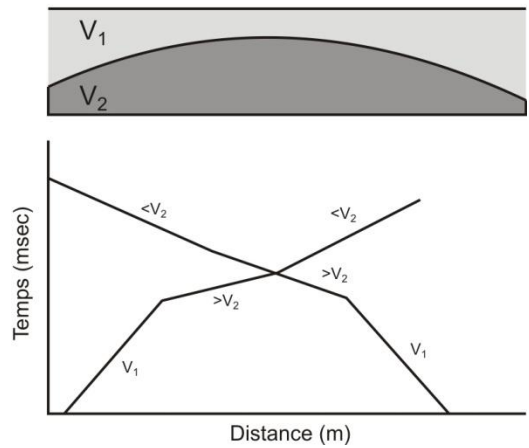
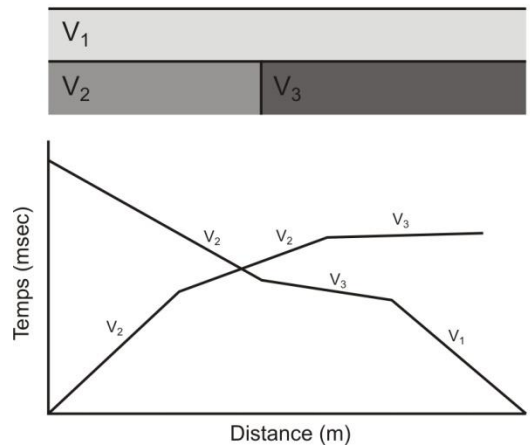
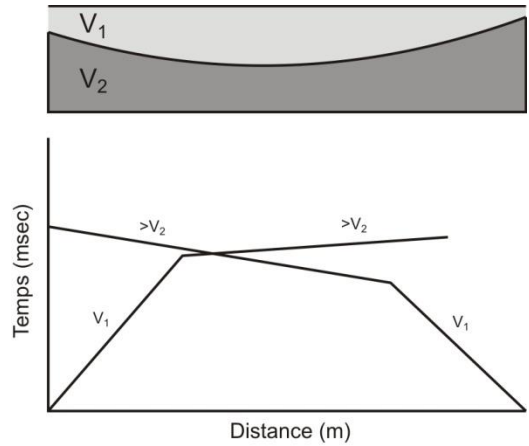
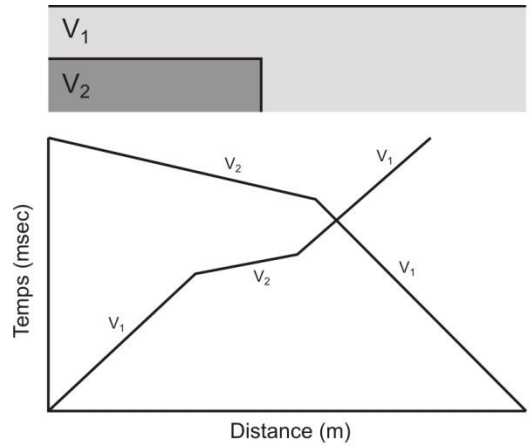


(a)

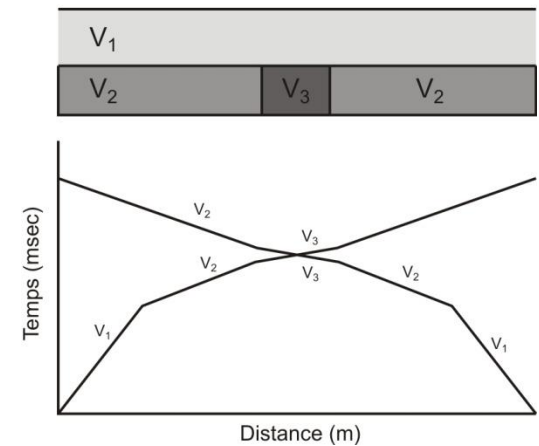
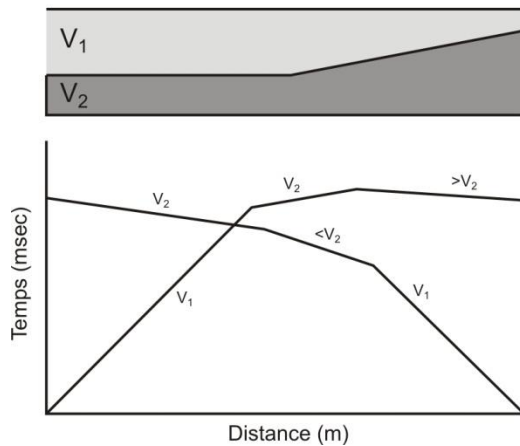
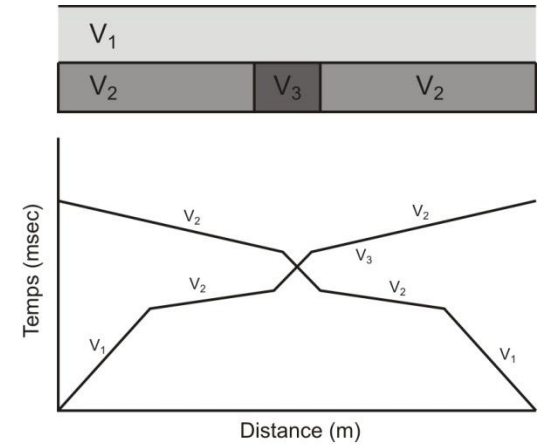
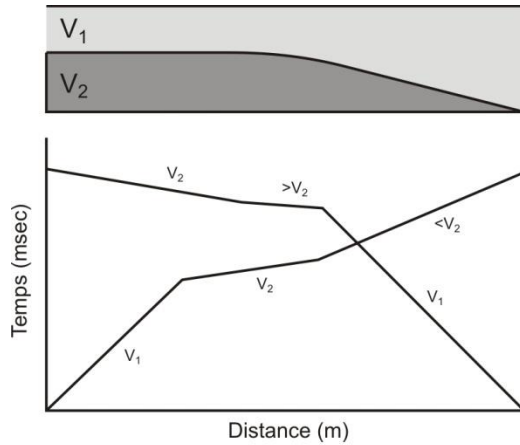


(b)

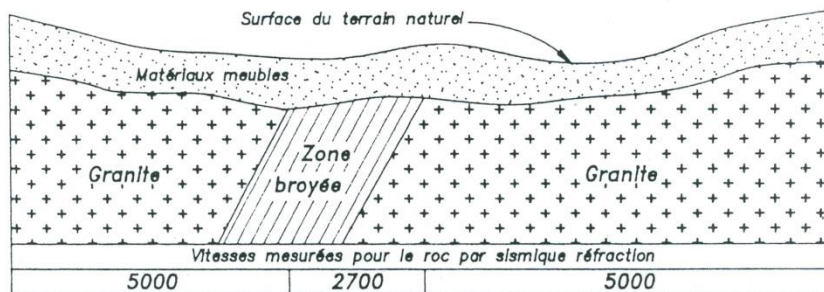
# Effets de structures bidimensionnelles



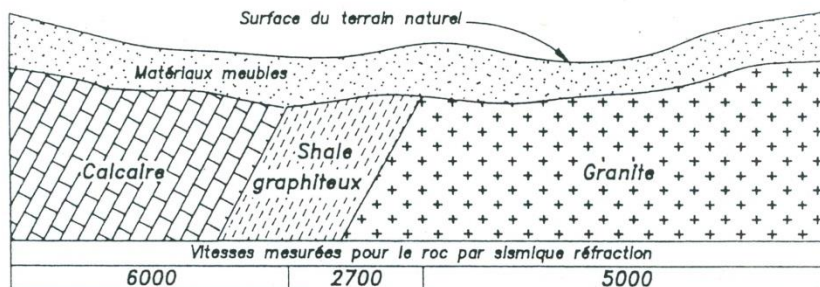
# Effets de structures bidimensionnelles



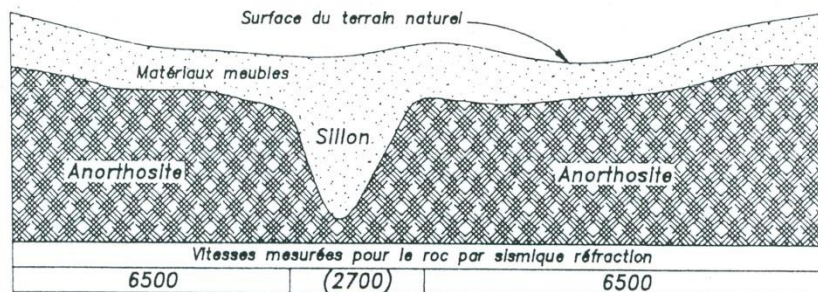
# CAUSES PROBABLES D'UNE ANOMALIE DE VITESSE



Cas d'une zone broyée



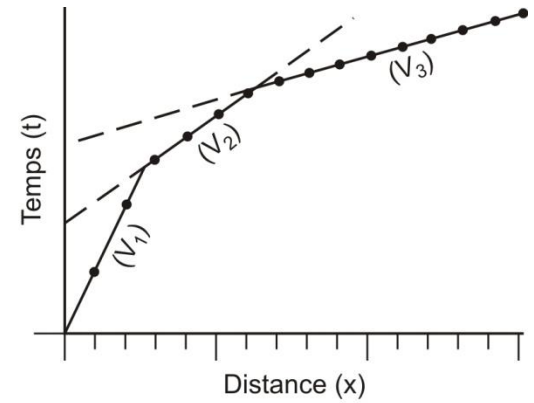
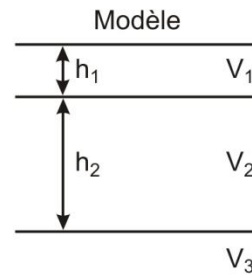
Cas d'un changement de la nature du roc



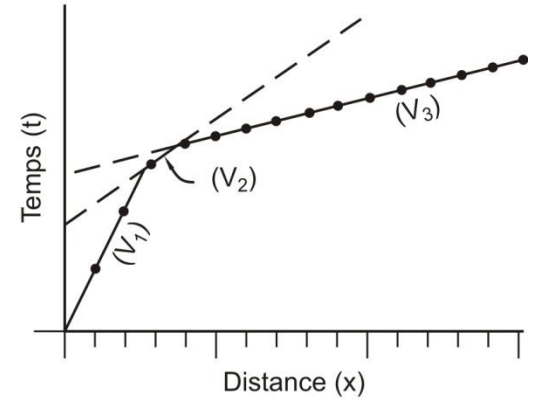
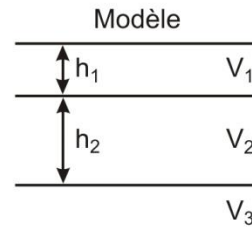
Cas d'un sillon

# Couche cachée

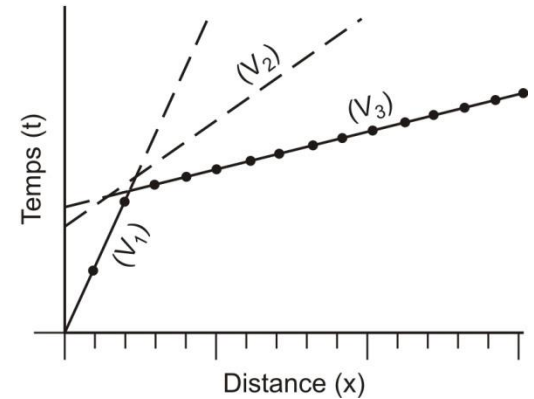
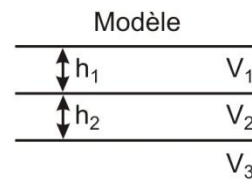
(a)



(b)

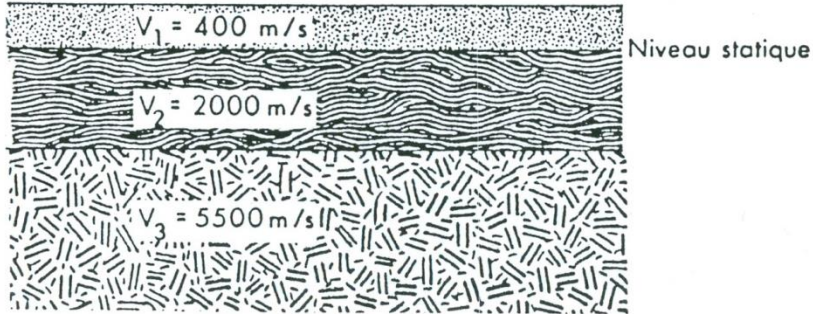
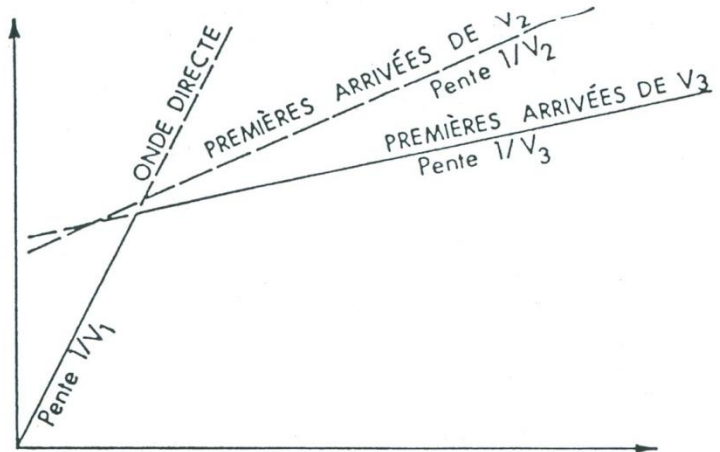
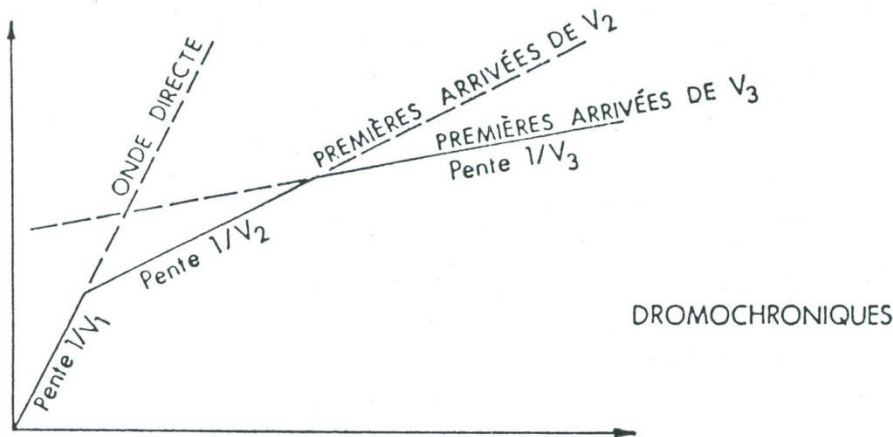


(c)

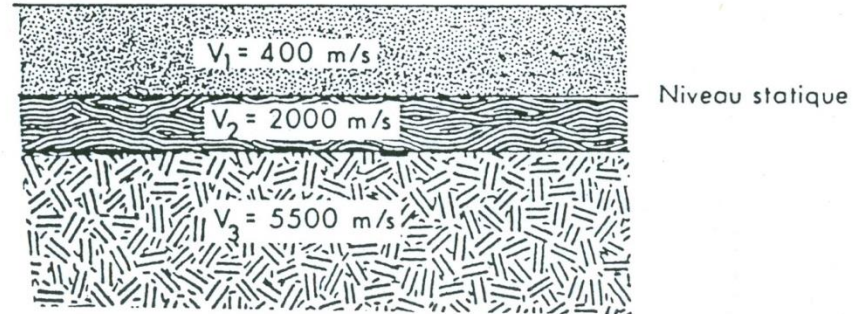




# Couche cachée



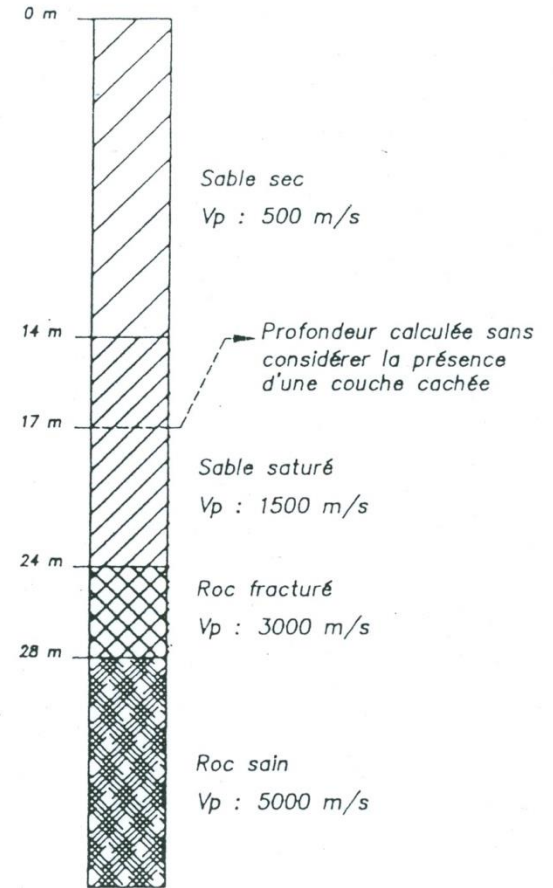
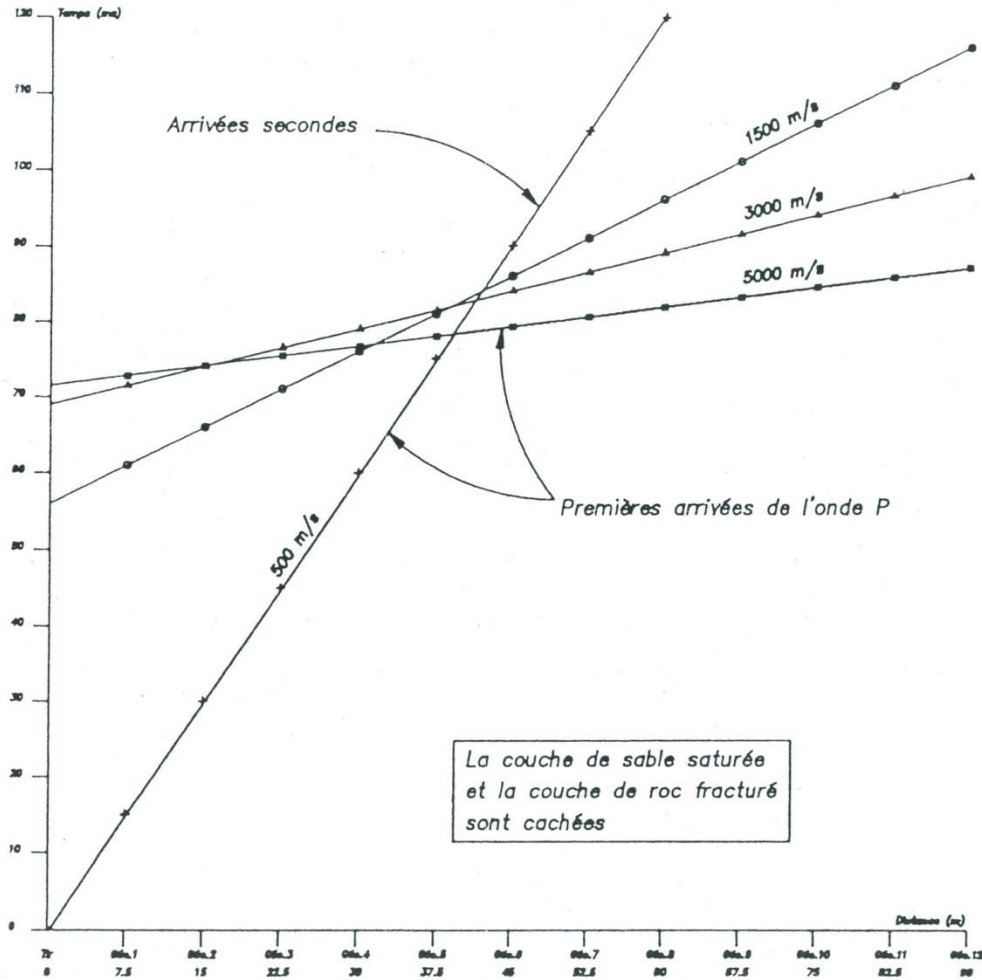
CAS COURANT : trois couches donnant des arrivées premières



$V_2$  ne donne pas d'arrivée première  
 la couche  $V_2$  est trop mince comparée à  $V_1$

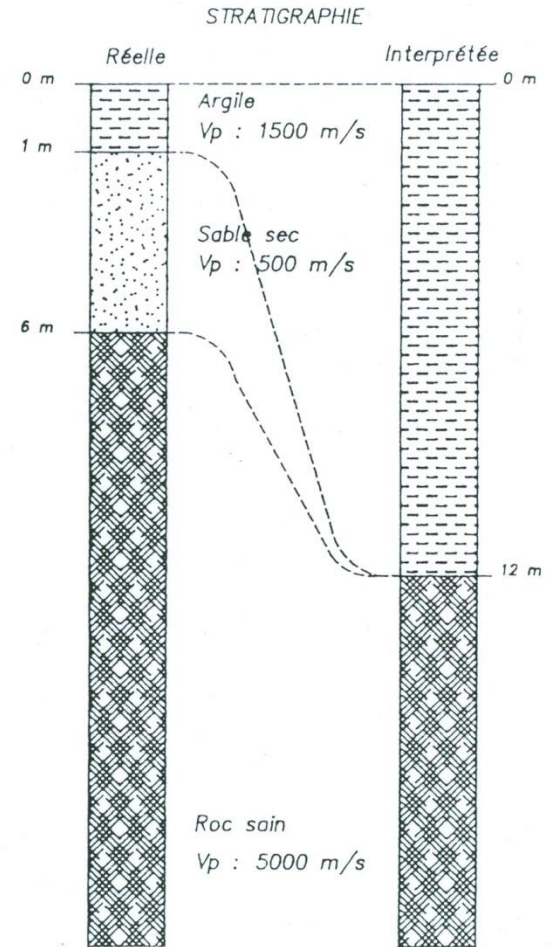
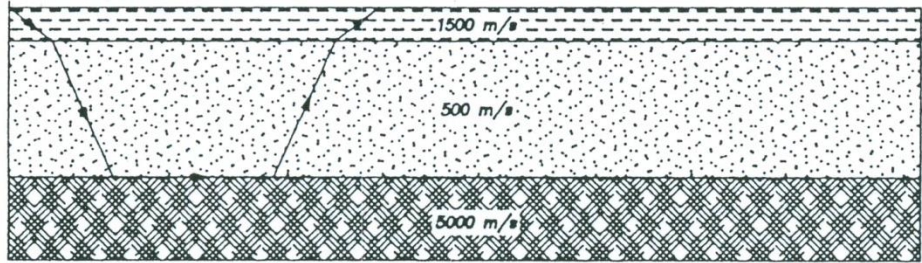
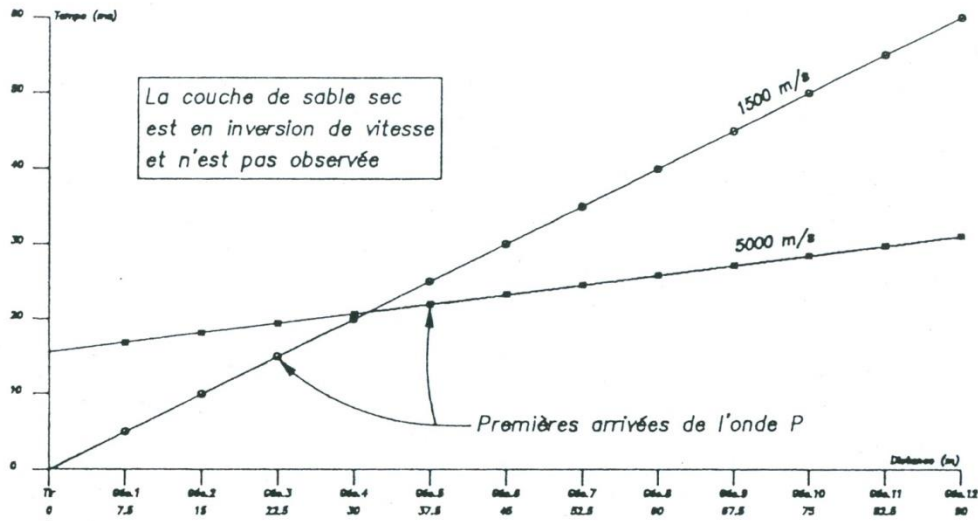
DISPARITION DE MARQUEUR

# EXEMPLE D'UN CAS DE COUCHES CACHEES

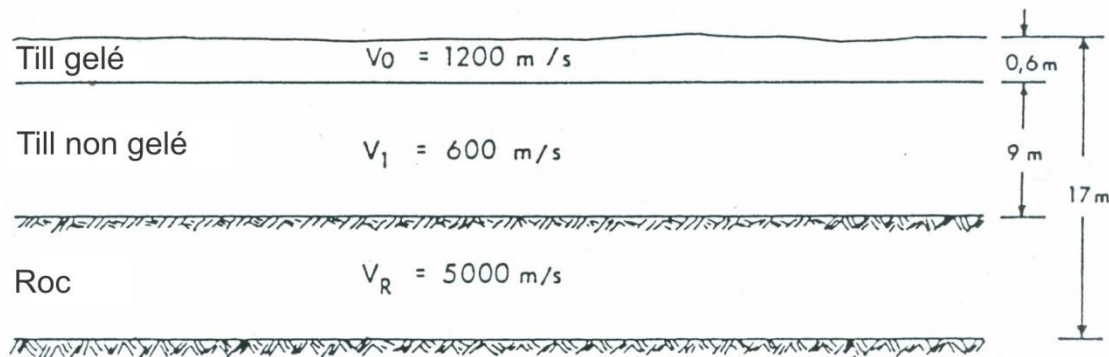
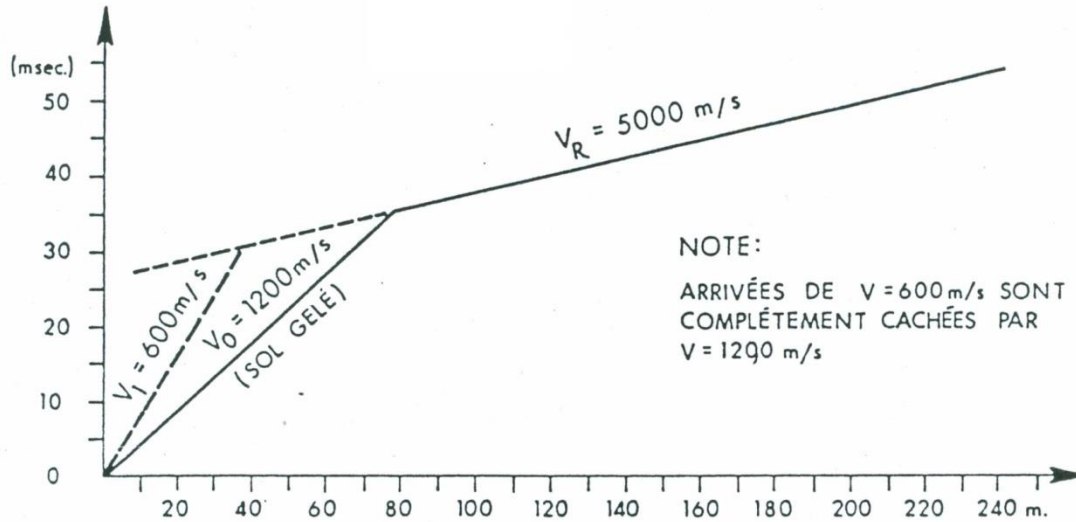




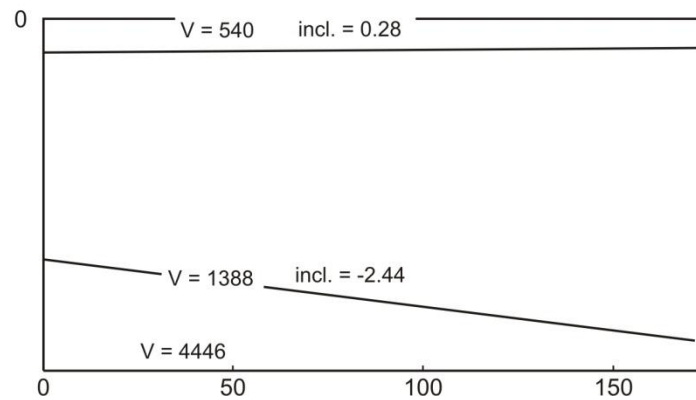
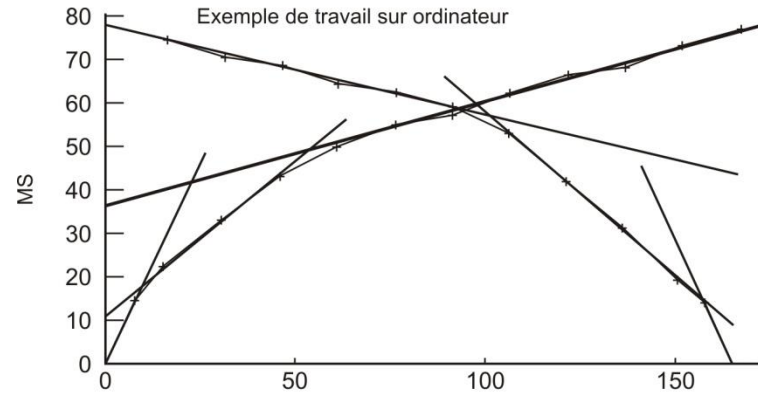
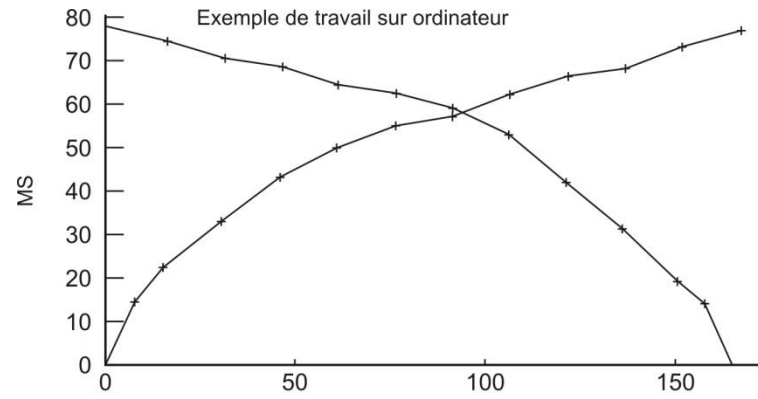
# EXEMPLE D'UN CAS D'INVERSION DE VITESSES



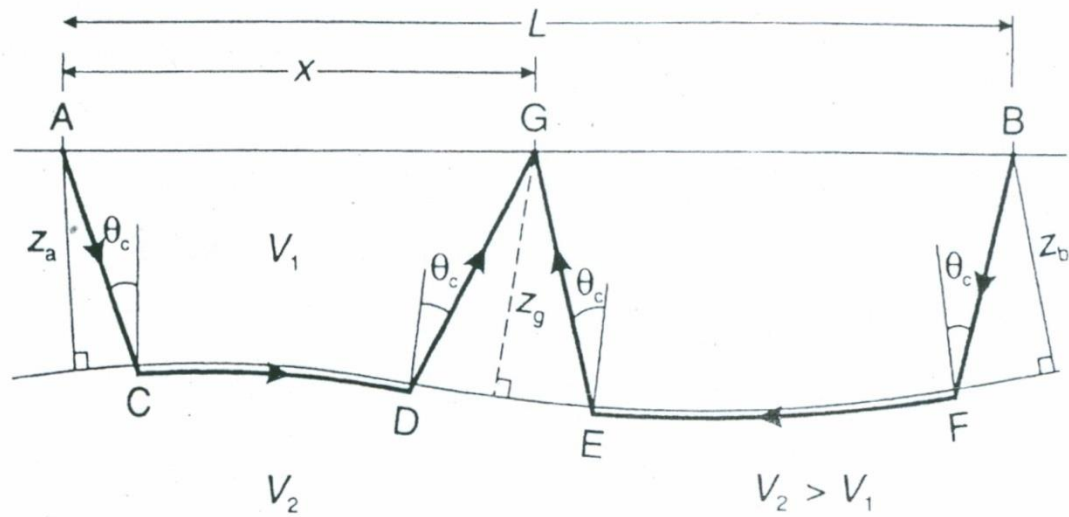
# Inversion de vitesse



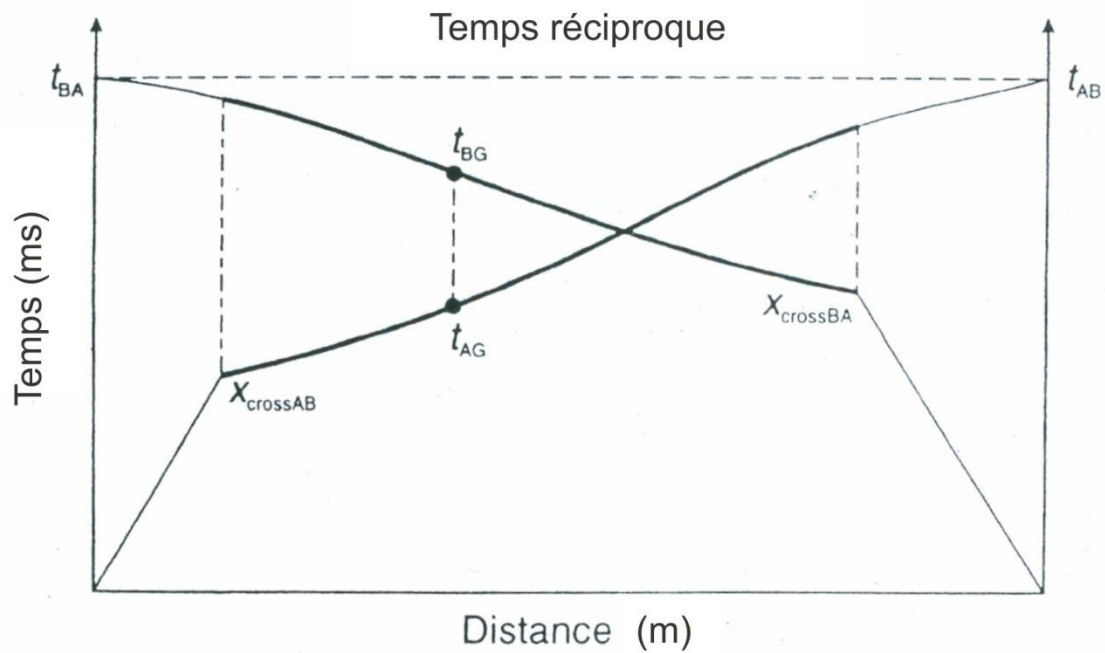
ROC INTERPRÉTÉ AVEC INVERSION DE VITESSE

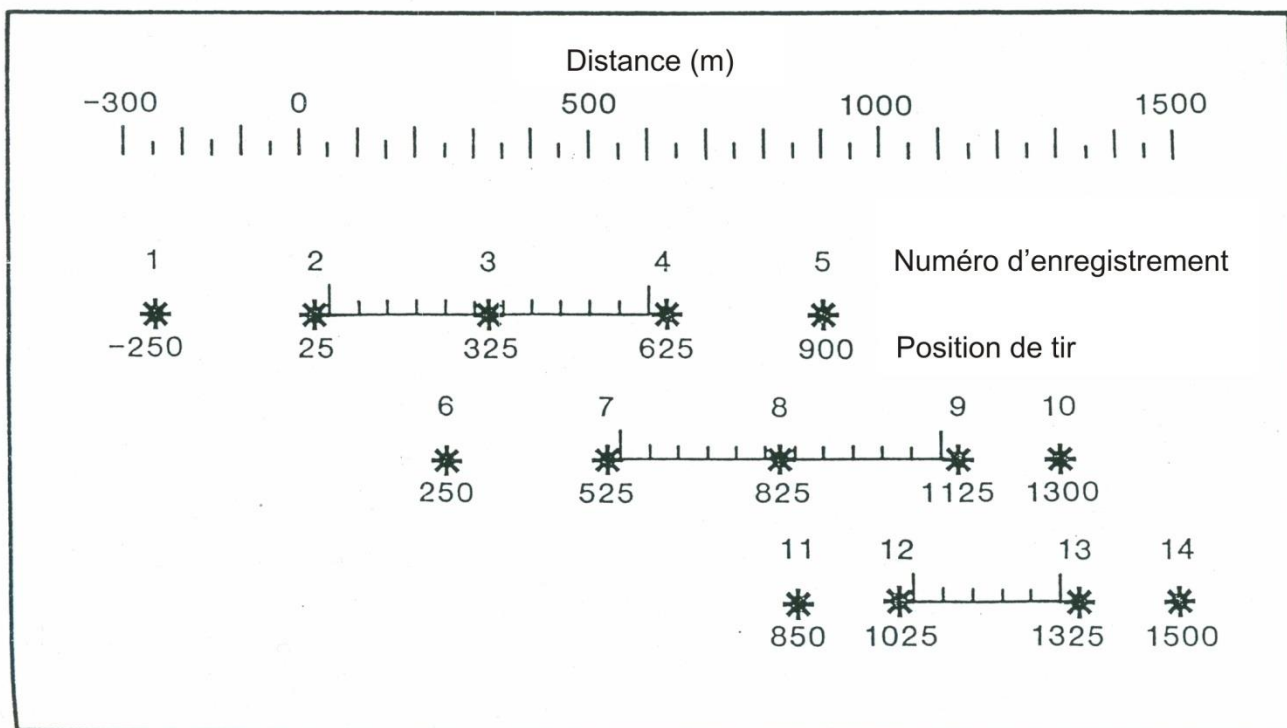
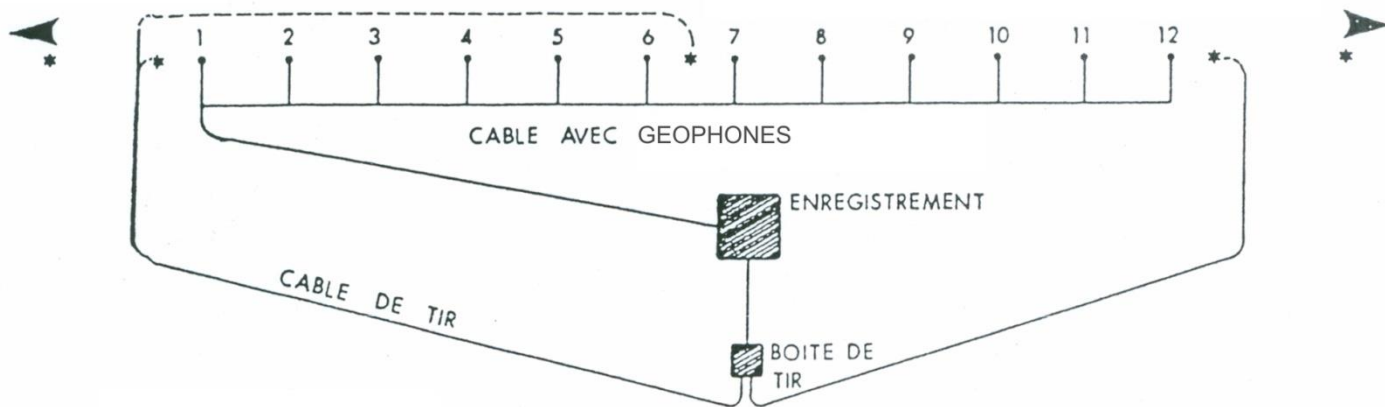


(A)

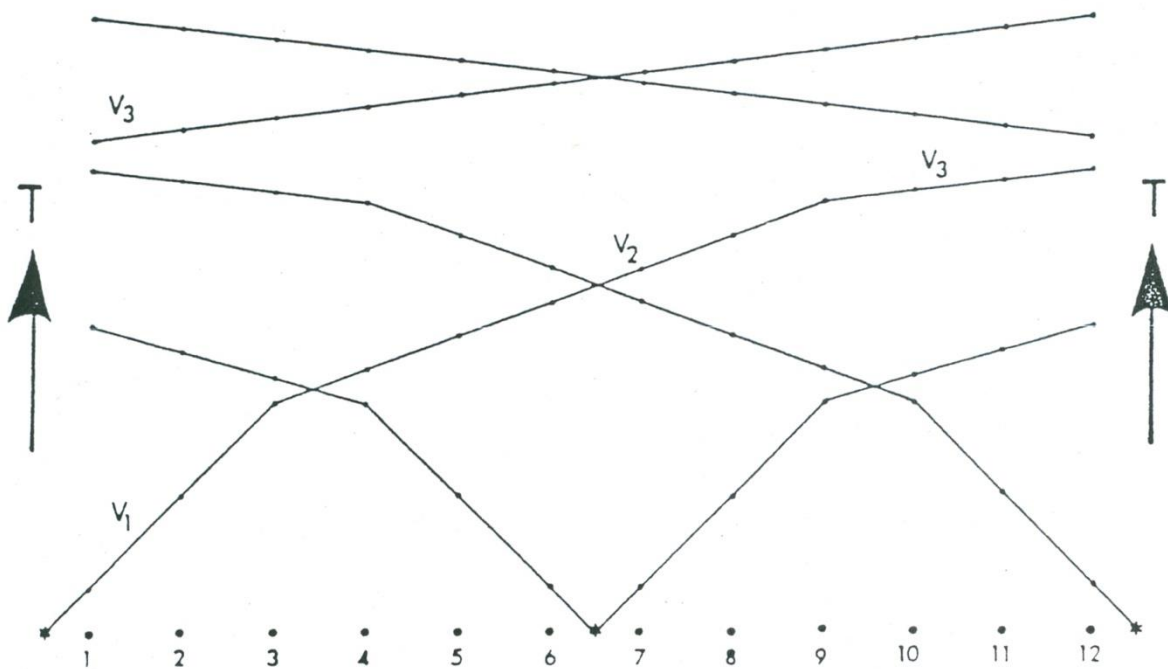
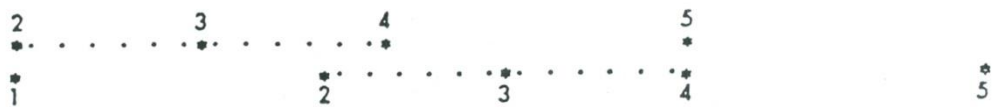


(B)





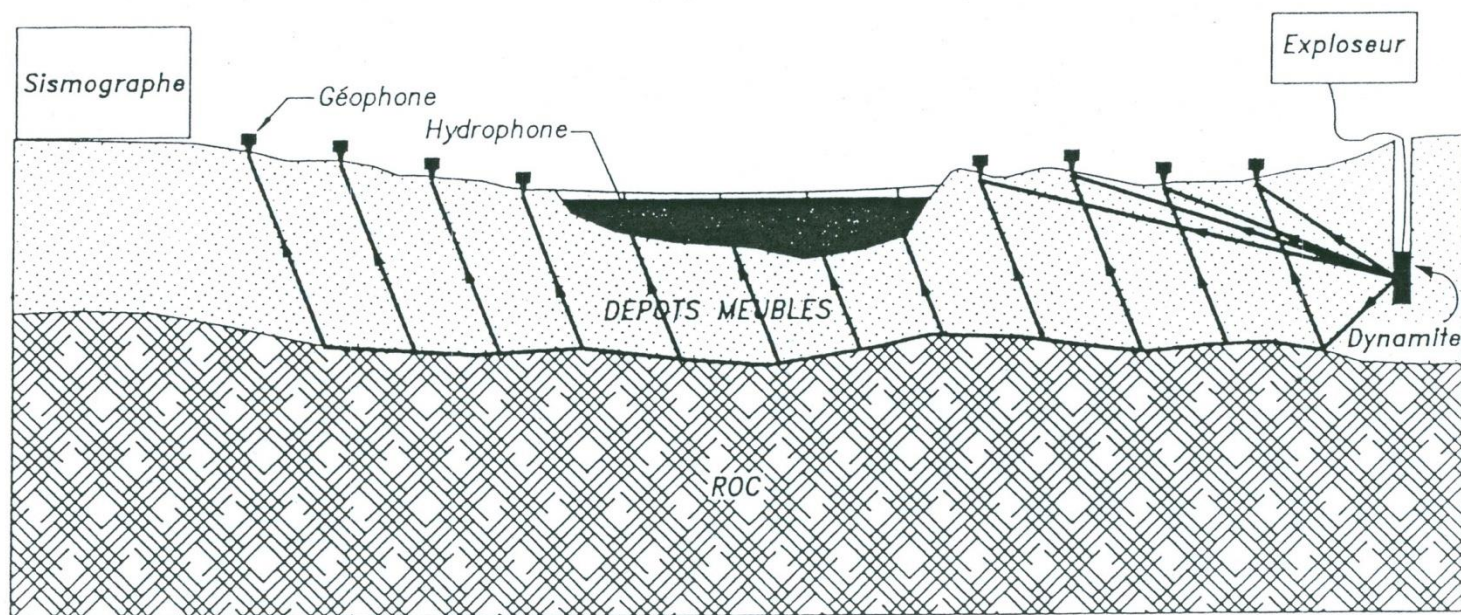
\* : POINT DE TIR



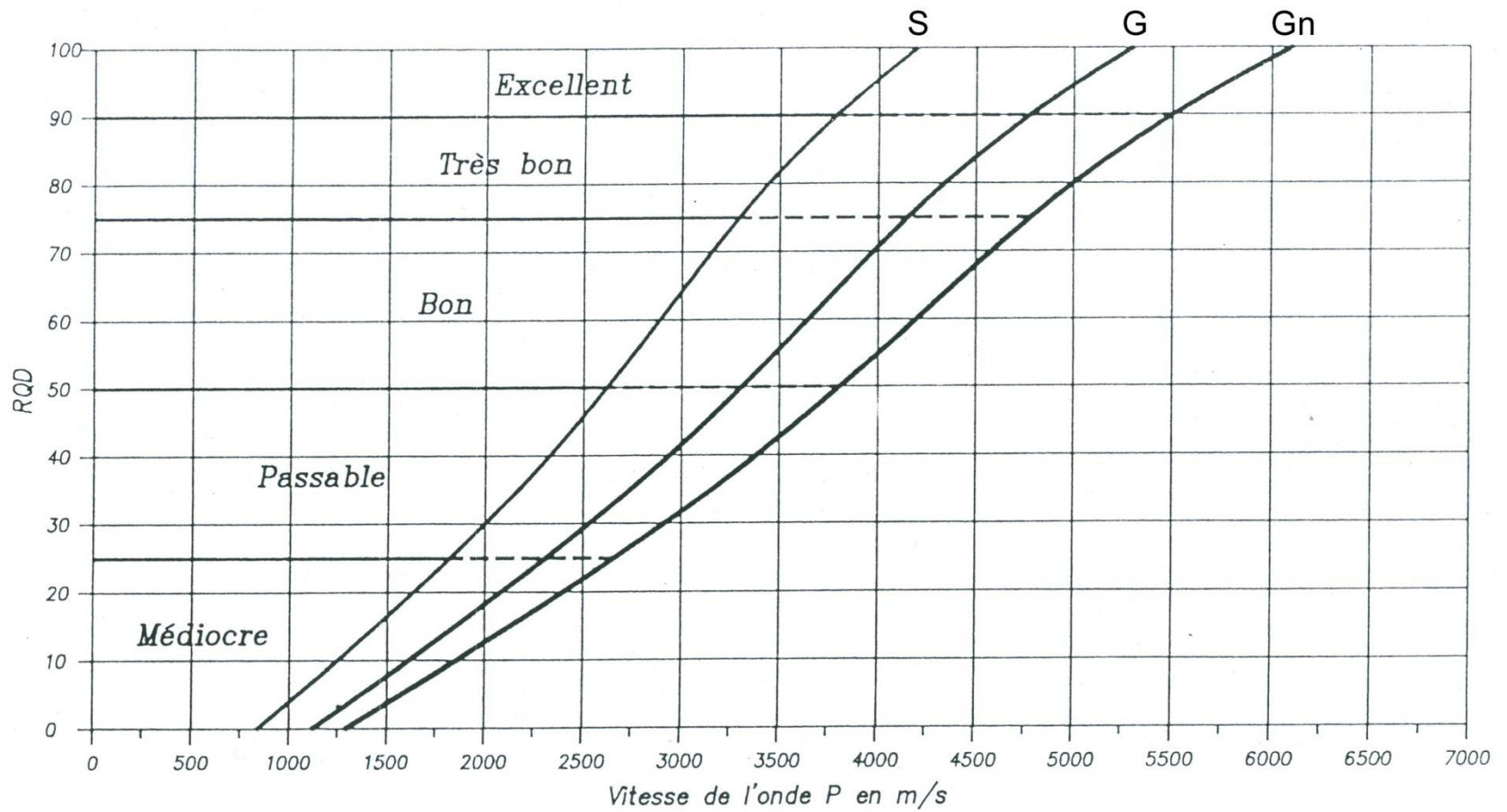


# TECHNIQUE D'ACQUISITION DES DONNEES

## LEVE SISMIQUE



# QUALITE DU ROC EN FONCTION DE LA VITESSE SISMIQUE



- Gneiss
- Granite
- Shales



# MODULES D'ELASTICITE EN FONCTION DE $V_p$

