

Zeitschrift: Cahiers d'archéologie romande
Herausgeber: Bibliothèque Historique Vaudoise
Band: 3 (1975)

Artikel: Géophysique et archéologie
Autor: Chapellier, Dominique
Kapitel: 4: La prospection sismique
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-835398>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Chapitre 4 — La prospection sismique

4.1 Introduction

Jusqu'ici la sismique n'a pas été très utilisée pour le repérage de structures archéologiques. Toutefois, de récentes expériences ont montré que cette méthode peut déjà fournir des résultats satisfaisants et qu'elle peut encore être perfectionnée.

4.2 Principe de la méthode

La méthode sismique consiste essentiellement à provoquer un ébranlement en un point déterminé du sol, et à mesurer les temps de propagation des ondes, ainsi créées, pour traverser le sous-sol et revenir à la surface.

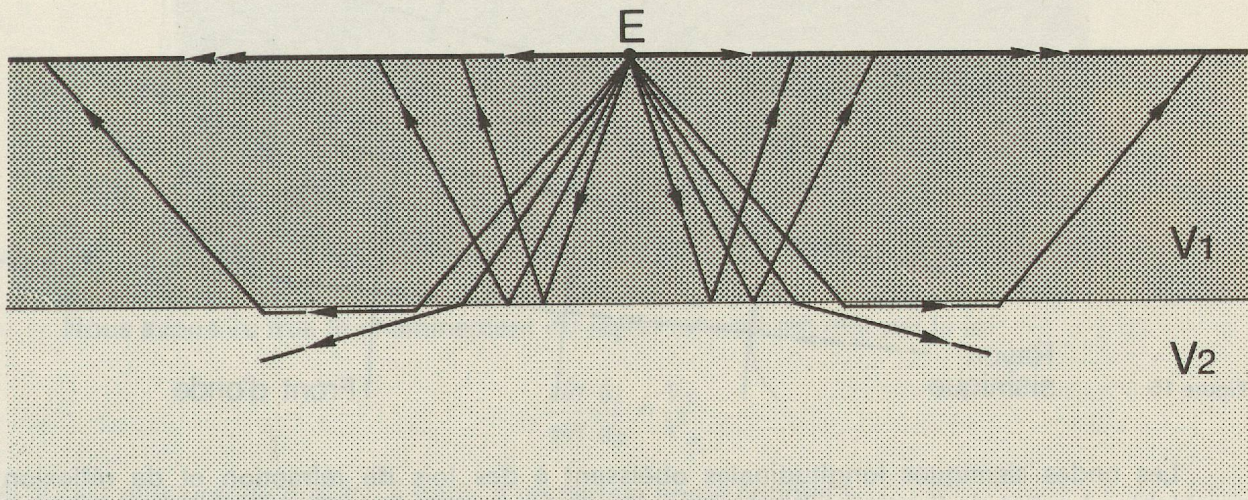


Figure 14

L'étude des ondes sismiques ne peut constituer une méthode de prospection que si certaines conditions sont remplies. Il faut en effet :

- Que les ondes produites en surface puissent se propager dans le sous-sol.
- Que les diverses formations géologiques ou archéologiques soient capables d'affecter de façon variable le cheminement des ondes (ce sont les vitesses qui varient pour chaque formation).
- Que les déformations du cheminement des ondes soient décelables à partir de la surface.
- Enfin que ces déformations soient interprétables.

La célérité des ondes est fonction de l'élasticité et de la densité du milieu où elles se propagent et l'on peut dire que, dans une certaine mesure, la vitesse dépend du degré de cimentation de la formation considérée, ainsi que l'indiquent les exemples ci-dessous.

Terrains meubles de surface	400 à 800 m/s
Argiles	1800 m/s
Calcaires	3000 à 6000 m/s
Roches volcaniques	3000 à 7000 m/s
Air	330 m/s
Eau	1450 m/s

Ces chiffres montrent que souvent une formation donnée se caractérise par une vitesse qui lui est propre. Ces différences de vitesse affectent le cheminement des ondes en leur faisant subir divers avatars (ondes réfléchies, réfractées,...)

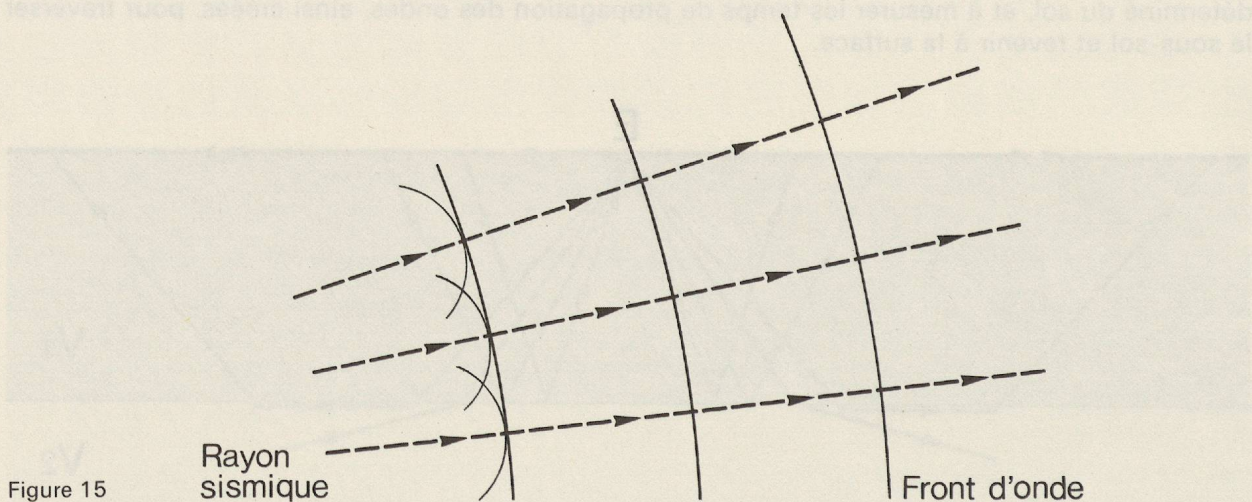
Les ondes sismiques artificielles

Nature et forme

Les ondes sismiques sont des ondes élastiques qui, dans un milieu homogène, se propagent dans toutes les directions à la même vitesse. Les plus rapides de ces ondes sont les longitudinales qui seules nous intéressent ici.

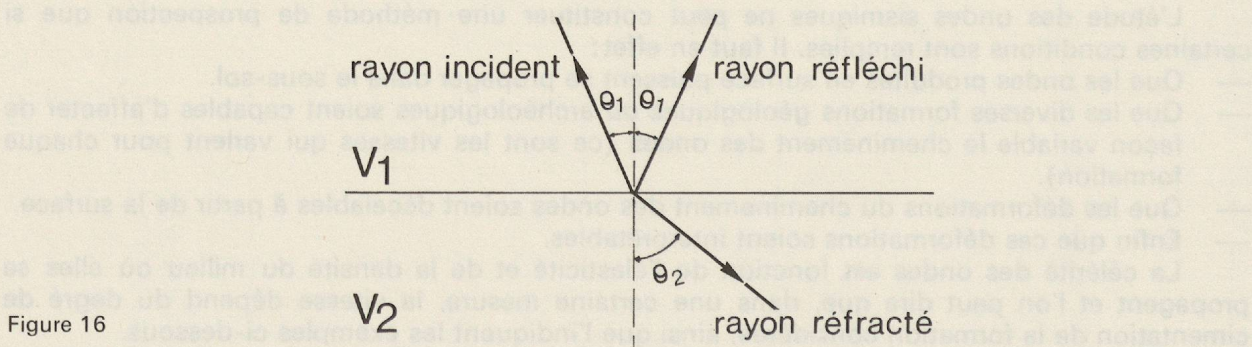
La surface qui en un instant t délimite le volume déjà soumis à l'ébranlement sismique et le sépare de la zone non ébranlée est appelée le front d'ondes. C'est la limite bruit-silence au temps t .

Le rayon sismique est par définition perpendiculaire au front d'ondes en tout point.



Les ondes sismiques longitudinales obéissent à des lois de réfraction et de réflexion semblables à celles de l'optique, il est commode de les étudier en utilisant la notion de rayon sismique qui est l'analogue du rayon lumineux.

Lorsqu'un tel rayon atteint l'interface qui sépare deux milieux de vitesses différentes, il donne naissance à un rayon réfléchi et à un rayon réfracté.



On montre que $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{V_1}{V_2}$

La sismique appliquée étudie d'une part les rayons réfractés et d'autre part les rayons réfléchis, ces études constituent respectivement: la sismique réfraction et la sismique réflexion.

Pour l'investigation des terrains de surface, la sismique réfraction est la méthode la plus appropriée, aussi nous nous en tiendrons à l'examen de cette méthode particulière.

La sismique réfraction

Certains rayons réfractés après un parcours dans le sous-sol réapparaissent à la surface. Etudions le trajet d'un de ces rayons.

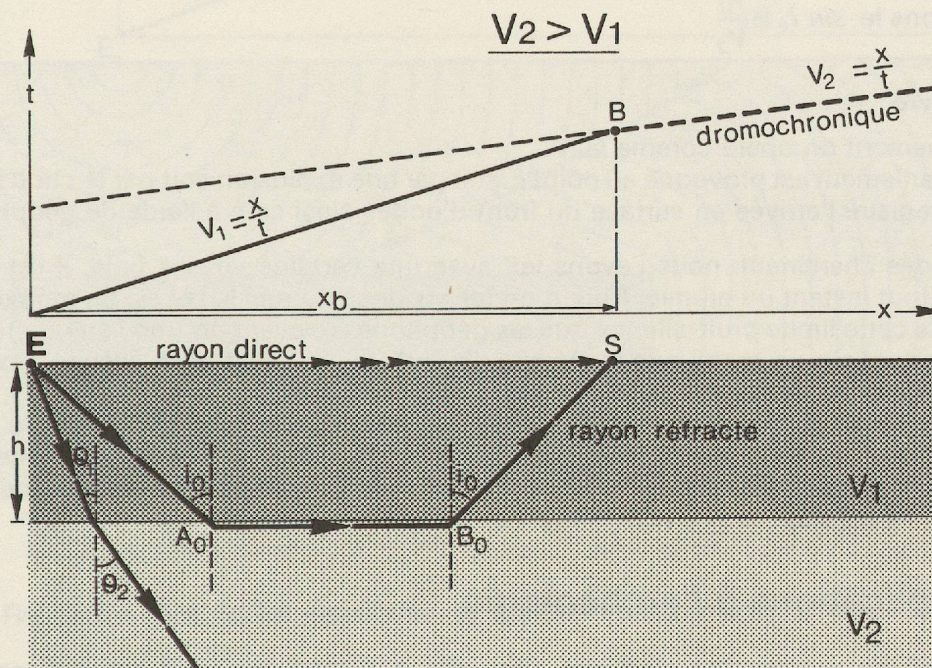


Figure 17

Nous avons vu que le cheminement du rayon réfracté est régi par la loi:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

Si V_2 est plus grande que V_1 , à partir d'un certain angle critique I_0

$$\sin I_0 = \frac{V_1}{V_2}$$

le rayon réfracté se propage le long de l'interface avec la vitesse V_2 .

En tous points de la surface situés au-delà de S, les rayons réfractés arrivent avant le rayon direct issu de E, car dans la partie A_0B_0 de leur trajet ils se propagent à la vitesse $V_2 > V_1$.

En mesurant les temps d'arrivée en une succession de points sur la surface, on établit le graphique distance-temps, la dromochronique. Sur ce graphique les temps sont portés en ordonnée et les distances en abscisse.

La pente du premier bras de la dromochronique, image des temps d'arrivée de l'onde directe, fournit la vitesse V_1 , la pente du second bras, correspondant à l'arrivée des ondes réfractées, fournit, pour des couches horizontales, la vitesse V_2 .

On peut obtenir la profondeur de la discontinuité, h , en utilisant le point de brisure qui est un point particulier de la dromochronique. On montre que

$$h = \frac{X_b}{2} \cdot \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

X_b = abscisse du point de brisure.

Pour le calcul de h , on peut aussi faire intervenir l'intercept time, t_i , qui est le point où le deuxième bras de la dromochronique coupe l'axe des temps. On arrive à la relation suivante :

$$h = \frac{t_i}{2} \cdot \frac{V_1}{\cos I_0}$$

avec rappelons le $\sin I_0 = \frac{V_1}{V_2}$

Mise en œuvre

Pratiquement on opère comme suit :

- Un ébranlement est provoqué au point E , soit par une explosion soit par le choc d'une masse.
- On enregistre l'arrivée en surface du front d'ondes ainsi créé à l'aide de géophones.

Les ondes cheminant, nous l'avons vu, avec une certaine vitesse finie, il est possible de distinguer à tout instant un premier front d'ondes en deçà duquel le sol est en mouvement. C'est la position de cette limite bruit-silence que les géophones relèvent en une série de temps $t_1, t_2...$

En reportant sur un graphique les temps d'arrivée de la limite bruit-silence aux géophones successifs, placés sur le terrain, on obtient la dromochronique.

Presque toute l'interprétation se fait sur cette dromochronique, qu'on utilise pour établir soit la profondeur de la discontinuité h , soit des cartes de vitesses (vitesse pour une profondeur donnée, par exemple), ou encore des cartes des temps (temps d'arrivée à une distance x choisie...).

4.3 Applications à l'archéologie

Pour qu'une prospection sismique soit utile à l'archéologue, il est indispensable que certaines conditions soient remplies. Il faut d'une part que la vitesse de la structure archéologique V_2 soit bien différenciée de celle des terrains environnants V_1 , et, d'autre part, que la déformation des ondes soit mesurable en surface.

Examinons ces conditions :

La vitesse des terrains de couverture varie généralement de 400 à 800 m/s. Par contre, un mur ou un dallage ont des vitesses de l'ordre de 1000 à 2000 m/s, qui dépendent de leur état de conservation. Ces structures pourront donc être décelées par la méthode sismique.

Des amas assez compacts de débris divers, tuiles, pierres, etc. peuvent encore montrer des vitesses sensiblement différentes de celle du milieu, par contre la sismique sera inefficace pour le repérage de fossés, de levées de terre, de fonds de cabane, etc.

Pour que notre deuxième condition soit satisfaite, c'est-à-dire pour que la déformation des ondes soit décelable en surface, il faut que le rapport entre les dimensions de l'objet recherché et la profondeur où il se trouve reste supérieur à certaines limites.

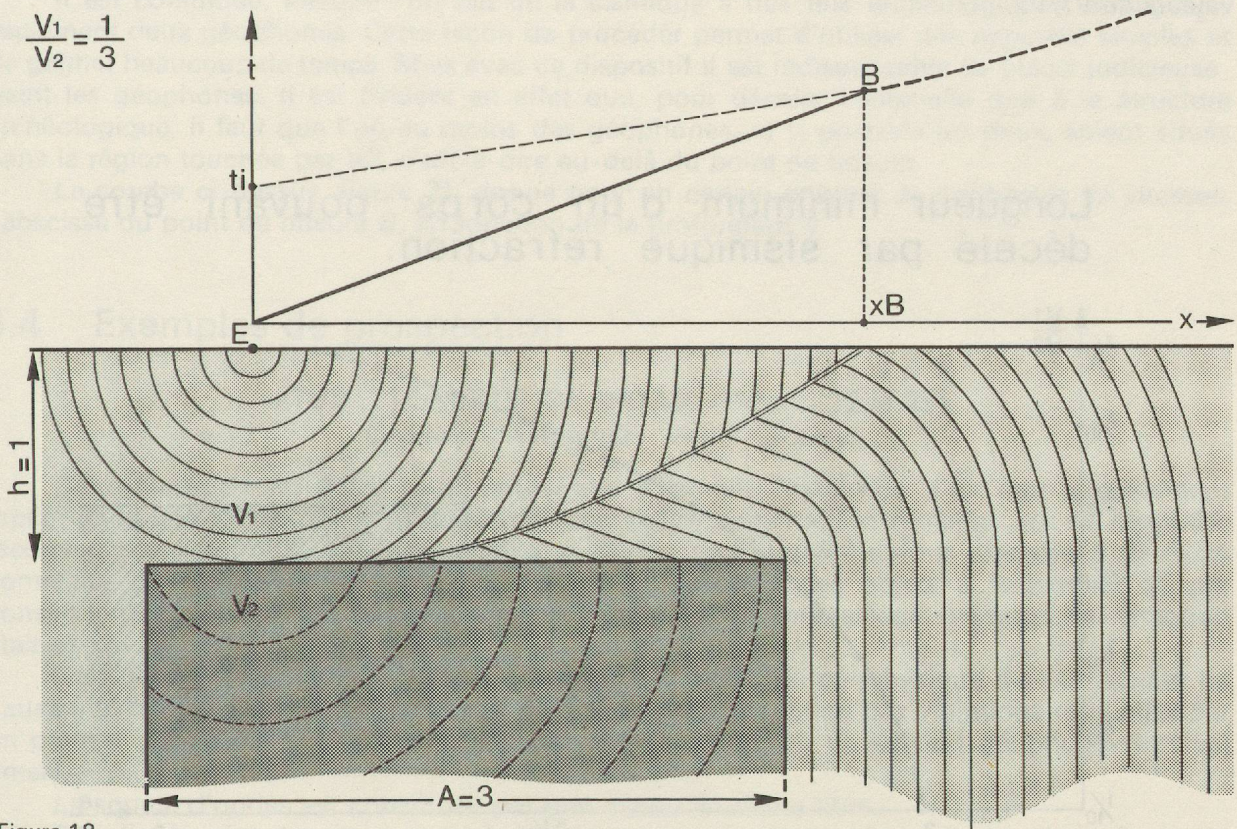
Les exemples qui suivent illustrent ce principe.

La figure 18 représente le cheminement des ondes affectées par la présence dans le sous-sol d'un corps long de 3 mètres, situé sous 1 mètre de couverture.

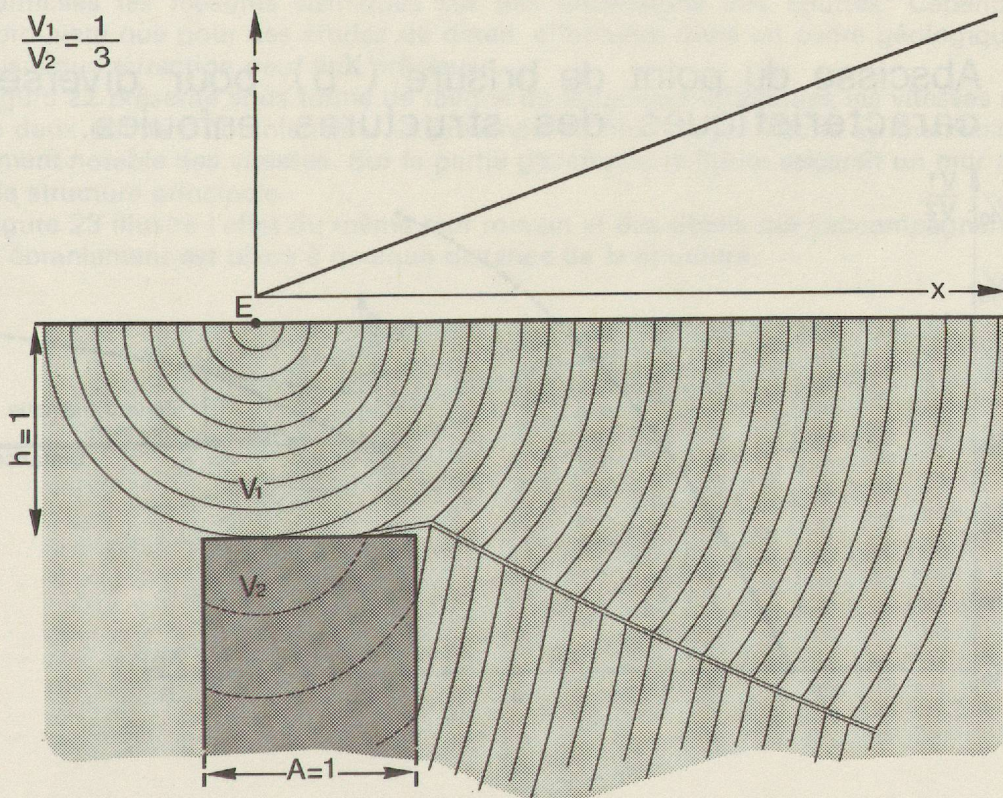
Nous voyons que dans ce cas, il est possible d'enregistrer en surface une altération du cheminement des ondes. La dromochronique montre au-delà du point de brisure B, une deuxième vitesse V_{2a} , due à la présence du corps.

Par contre, la figure 19, représentant un corps long de 1 mètre, situé sous 1 mètre de couverture, permet de se rendre compte que la déformation des ondes n'est pas décelable en surface. La dromochronique est ici une droite de vitesse V_1 .

Réfraction des ondes sismiques et dromochronique pour le cas $A = 3h$



Réfraction des ondes sismiques et dromochronique pour le cas $A = h$



Pour qu'il soit possible de détecter en surface l'effet de la structure enfouie, il faut que le rapport a/h soit compris, au minimum, entre 2 et 3. La figure 20 montre quels sont les rapports de a/h pour lesquels la déformation des ondes reste perceptible en surface et ceci pour diverses valeurs de $V1/V2$.

Longueur minimum d'un corps pouvant être décelé par sismique réfraction.

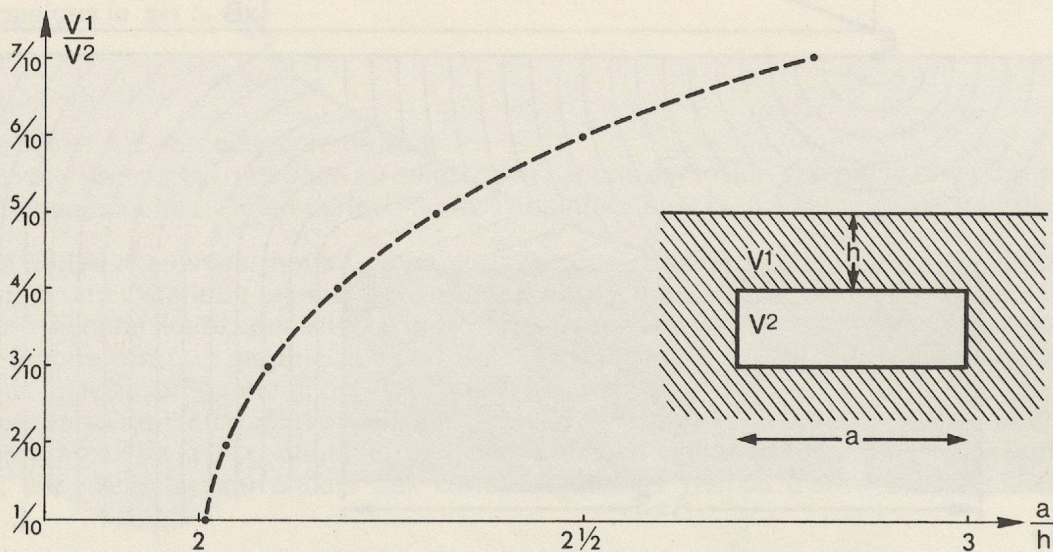


Figure 20

Abscisse du point de brisure (x_b) pour diverses caractéristiques des structures enfouies.

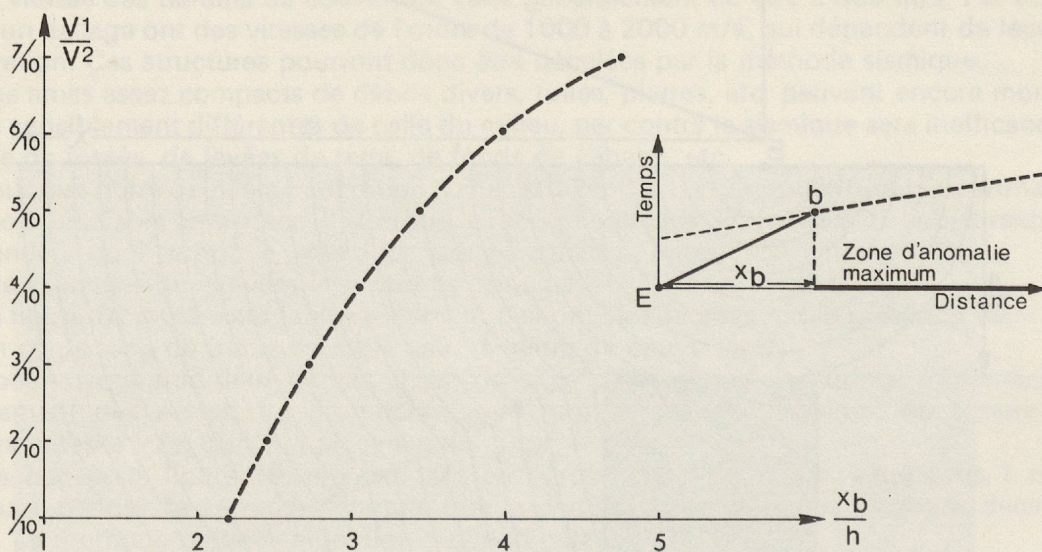


Figure 21

Avant d'envisager une prospection sismique à des fins archéologiques, il faut donc estimer le contraste des vitesses et les dimensions de la structure. Si cette dernière est susceptible d'être repérée par la sismique, divers problèmes de mise en œuvre se posent.

Il est commode, lorsque l'on fait de la sismique à des fins archéologiques, d'employer seulement deux géophones. Cette façon de procéder permet d'utiliser des appareils simples et de gagner beaucoup de temps. Mais avec ce dispositif il est indispensable de placer judicieusement les géophones. Il est évident en effet que, pour déceler l'anomalie due à la structure archéologique, il faut que l'un au moins des géophones, et si possible les deux, soient situés dans la région touchée par V_2 , c'est-à-dire au-delà du point de brisure.

La courbe ci-dessus, figure 21, donne pour un certain nombre de contrastes de vitesses, l'abscisse du point de brisure B , en fonction de la profondeur h .

4.4 Exemples de prospection

ÉTUDE SISMIQUE DE DÉTAIL (Figures 22 et 23).

Capitole d'Avenches - Vaud - Suisse.

Cette étude de fin détail avait pour objet d'estimer l'extension d'un mur partiellement repéré dans une fouille. Le mur recherché, une solide construction romaine, est en moyenne recouvert d'un mètre de terrains meubles. A priori, nous pouvions nous attendre à de bons contrastes de vitesses. Cependant, du fait de la petitesse des objets à rechercher et, par conséquent, des temps très courts à mesurer, l'emploi d'un appareillage classique de réfraction était exclu.

Nous avons utilisé un instrument construit à l'Institut de géophysique de l'Université de Lausanne. Il s'agit d'un chronomètre qui est enclenché par l'action des vibrations ressenties par un premier géophone et déclenché par cette même action sur un second géophone (interval timer).

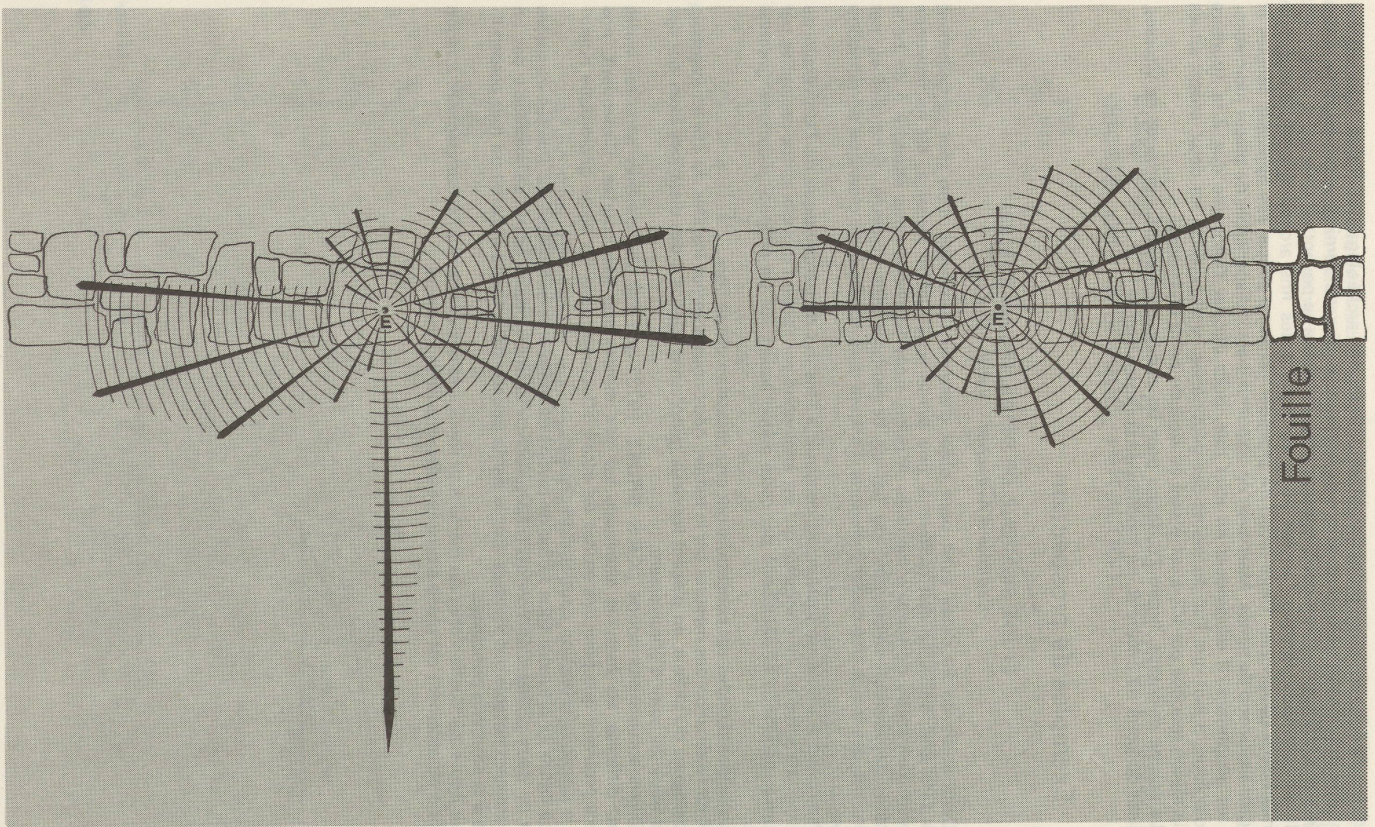
La source d'ondes est constituée par une masse en chute libre.

Pour l'exécution des mesures sur le terrain, nous nous sommes inspirés du «tir en éventail» des géologues du pétrole, en plaçant les deux géophones alignés à des distances fixes, sur des rayons issus du point d'ébranlement.

Divers auteurs ont montré (K.B.S. BRUKE, 1973) que des phénomènes parasites variés rendent difficiles les mesures sismiques sur des dimensions très courtes. Cependant, nos résultats prouvent que pour des études de détail, effectuées dans un cadre géologique homogène, la sismique réfraction peut être précieuse.

La figure 22 présente sous forme de rayons de longueurs différentes les vitesses mesurées autour de deux points d'ébranlement. La présence du mur romain caché se manifeste par un accroissement notable des vitesses. Sur la partie gauche de la figure apparaît un mur perpendiculaire à la structure principale.

La figure 23 illustre l'effet du même mur romain et des débris qui l'accompagnent lorsque le point d'ébranlement est placé à quelque distance de la structure.



AVENCHES (Capitole)

Sismique réfraction représentation des vitesses relatives

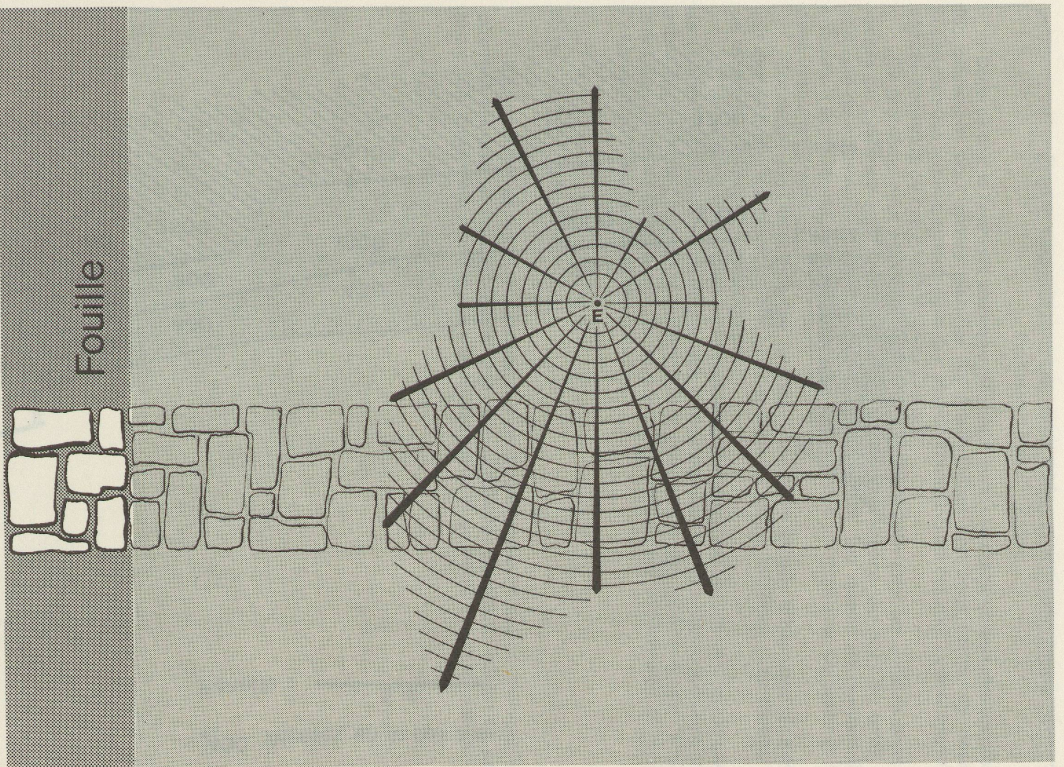


Figure 23

Etude de détail

AVENCHES Capitole

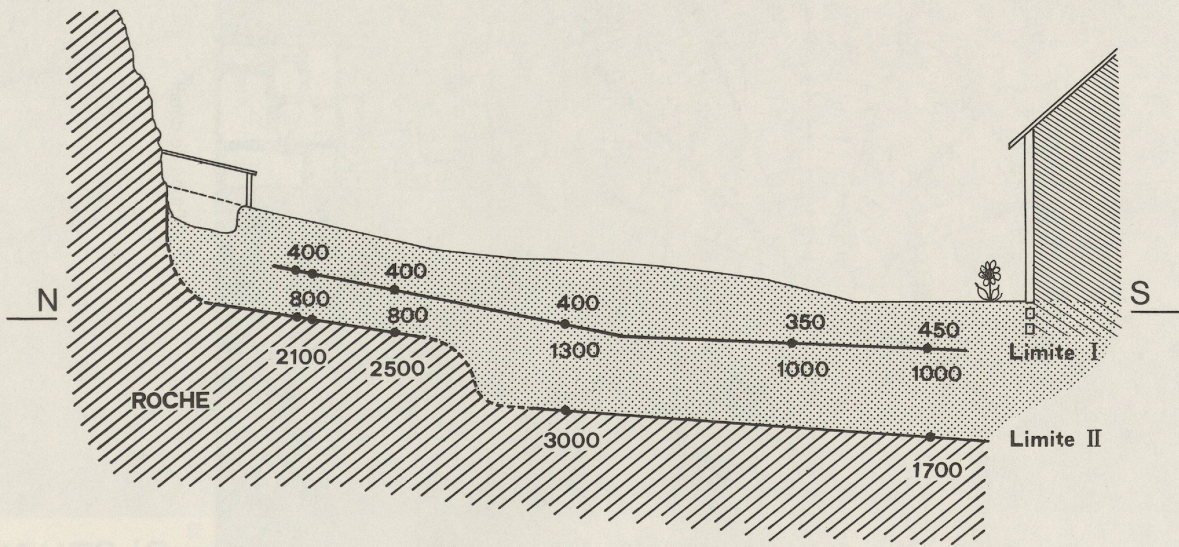
Sismique réfraction
Représentation des vitesses relatives.

BAULMES

Etude sismique

● 400 Vitesses en m. par sec.

Echelle : 5 m.



ÉTUDE SISMIQUE D'UN SITE PRÉHISTORIQUE (Figure 24).

Baulmes - Vaud - Suisse.

Dans ce cas, la méthode sismique réfraction a été utilisée pour résoudre un problème tout à fait classique: pour mieux planifier les fouilles d'un abri sous roche, on désire connaître l'épaisseur des terrains quaternaires aux abords immédiats de cet abri. Le soubassement rocheux semble constitué de calcaire massif du Crétacé.

Ce problème peut être résolu grâce à la sismique; en effet les vitesses dans les diverses roches en présence sont nettement différenciées. L'existence, au nord du profil, d'une paroi verticale de calcaire introduit cependant une difficulté. Les rayons ne pouvant être dirigés à volonté, il est évident que cette paroi peut agir comme un marqueur sismique et se confondre avec le soubassement.

Ces restrictions étant admises, on voit sur la figure 24 que la sismique permet de situer le toit des roches crétacées et permet ainsi de fixer les limites inférieures des terrains susceptibles de receler des vestiges archéologiques.

Dans un cas comme celui-ci, le problème théorique est simple: il s'agit d'une application de la sismique réfraction classique; les difficultés proviennent des conditions locales. Nous avons déjà signalé l'ambiguïté qu'introduit la présence d'une paroi verticale; il faut remarquer aussi que l'exiguïté du terrain et l'existence d'une fouille déjà commencée ne facilitent en rien l'exécution et l'interprétation des mesures.

4.5 Conclusions

Nos premiers essais et des recherches en cours prouvent que la sismique réfraction est propre à apporter aux archéologues une aide précieuse. La nature même de cette méthode restreindra cependant son usage à des études précises de détail et fort localisées.

