

II. EXERCICES DE SISMOLOGIE ET STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE :

Exercice 1 :

1. Pour chaque question, une seule réponse est correcte, laquelle ?

A. Les séismes tectoniques sont :

1. des séismes qui permettent la libération de l'énergie provoquée par les mouvements de failles.
2. des tremblements de terre liés à des éruptions volcaniques
3. des vibrations sismiques provoquées par des explosions nucléaires

B. Les ondes P sont :

1. des ondes sismiques longitudinales qui ne se propagent que dans les solides.
2. des ondes de longues périodes qui font vibrer les particules du milieu dans le seul plan horizontal.
3. des ondes sismiques de compression - dilatation qui font vibrer les particules du milieu le long de la direction de leur propagation.

2. Répondez par vrai ou faux (cochez X dans la case exacte):

	Vrai	Faux
1. Les ondes S sont plus rapides que les ondes L		
2. La discontinuité de Moho est la limite entre la croûte et la lithosphère		
3. L'intensité d'un séisme est déterminée à l'aide des sismomètres		
4. L'asthénosphère est constituée par le manteau inférieur		
5. La densité de la croûte océanique est plus faible que celle de la croûte continentale		
6. L'origine des séismes tectoniques est le jeu des failles		
7. La partie superficielle du manteau forme la base de la lithosphère		
8. Le manteau est situé entre la croûte et le noyau		
9. La vitesse de propagation des ondes sismiques de surface augmente avec la distance épicertrale		
10. Dans la zone d'ombre ou «anneau de silence». On peut enregistrer des ondes sismiques tardives qui résultent d'une réflexion sur la discontinuité de Lehman		
11. Les ondes sismiques ont des vitesses classées dans l'ordre suivant: VS >VP >VL		
12. La discontinuité de Moho est la limite entre la croûte et la lithosphère		
13. La magnitude d'un séisme est déterminée à l'aide des sismomètres		
14. L'intensité d'un séisme mesure l'énergie libérée sous forme de mouvements de bloc rocheux.		

15. La probabilité qu'un séisme survienne est la même en tout point de la surface du globe.		
16. Il est possible de connaître les valeurs d'intensités de certains séismes historiques (avant 1800)		

Exercice 2 :

1. Dans quel cas et pourquoi utilise-t-on l'échelle de Mercalli ? :
2. Comment déterminer les magnitudes des séismes ?
- 3) Quelle est la différence entre l'échelle de Mercalli et celui de Richter. ?
4. Citer les facteurs qui déterminent la forme et l'allure d'un sismogramme ?
- 5- En fonction de quoi varient les intensités des séismes ?
- 6 Quelles sont les caractéristiques des ondes sismiques P S et L ?
- 7 Quelle est la principale caractéristique de l'onde S.
- 8- A quel type d'onde appartiennent les ondes de Rayleigh

Exercice3 :

La **figure 1** représente Le sismogramme d'un séisme enregistré par une station loin de l'épicentre. Repérez, sur cette figure les ondes P S et L ?

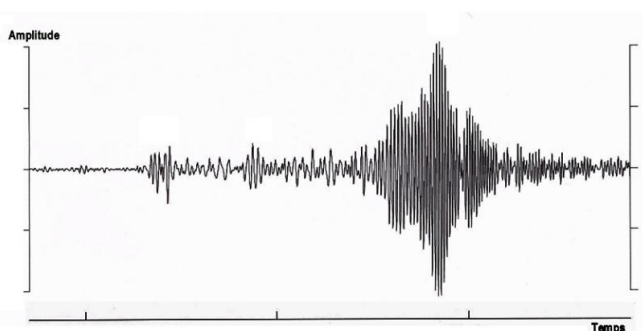


Figure 1

Exercice 4 :

La ville d'Al Hoceima a connu en 1994 un tremblement de terre qui a fait deux morts et des dégâts importants. La population a été questionnée et à chaque ville ou village a été attribué un chiffre correspondant à un degré de **l'intensité** sur l'échelle MSK.

Localité	intensité	Localité	intensité	Localité	intensité
Al Hoceima	8	Tafensa	9	Izemourene	8
Taousserte	8	Adouz	8	Tirhza	8
Rouadi	8	Imarnissene	8	Ait Kamra	8
Imzouren	7	BniBouayach	7	Mnoud	7
Ait Messaoud	8	Snada	6	Bniboufrah	5
L'assoutene	6	Boumeddour	5	Rabda	7
Ras Tarf	6	Saida	6	Imhaouchene	7
Izannayene	6	Bades	6	Boussekour	8

Adrar	7	Tenda	9	Khatabi	7
Tikkid	8				

1. Reporter les valeurs d'intensités pour chaque ville sur la carte de **la figure 2** ?
2. Tracer les courbes d'isoséistes ?
3. Localiser l'épicentre macrosismique du séisme ?

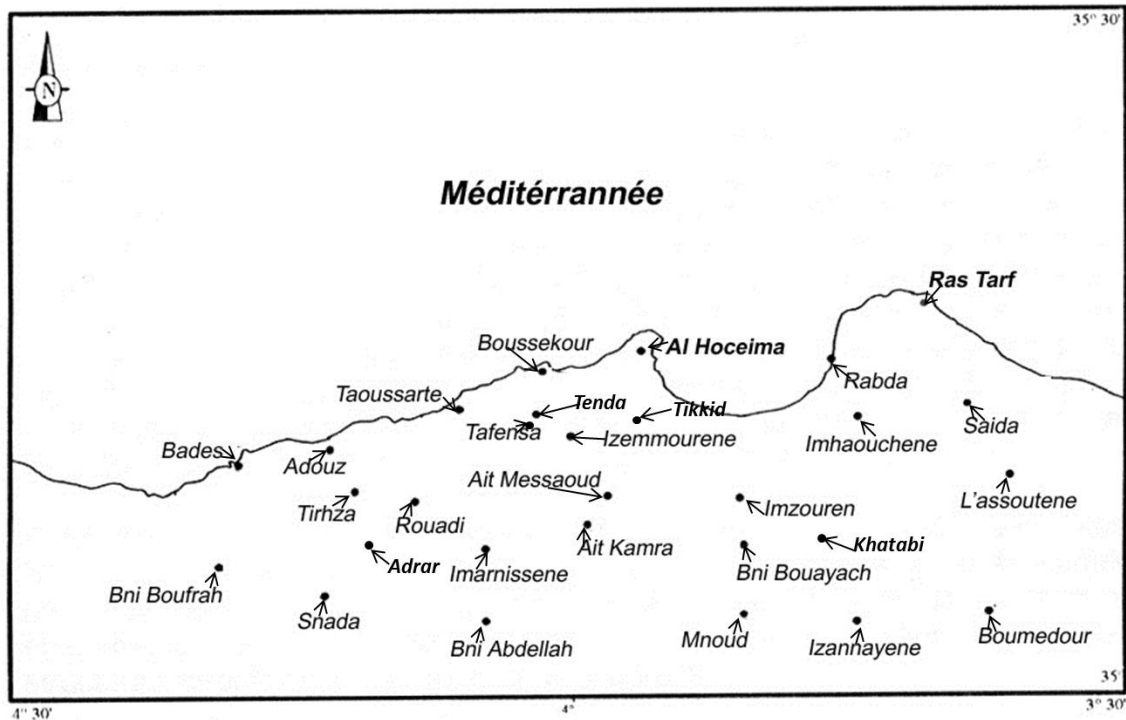


Figure 2

Exercice 5 :

Ce même séisme (Al Hoceima 1994, de l'exercice 1) a été enregistré par trois stations marocaines : Palomas(**PAL**) ; Touzarine(**TOU**) et Tazeka(**TZK**). La profondeur du foyer est de 13 km. Les temps d'arrivée des ondes P et des ondes S sont comme-suit :

Pour la station PAL : T_p est 08h 26mn 55,5s. L'arrivée des ondes S a lieu à 08h26mn57,5s.

Pour la station TZK : L'arrivée des ondes P a lieu à 08h 27mn 14,5s et celle des ondes S à 08h 27mn 30s ;

Pour la station TOU : Les ondes P sont arrivées à 08h 27mn 0,5s, celle des ondes S à 08h 27mn 5,5s.

Le tableau 1, (**table de Jeffreys-Bullen**) représente la variation des différences des temps d'arrivées (**$T_s - T_p$**) en fonction de la distance épicentrale **D**

1. Déterminez la distance épicentrale pour les trois stations PAL, TZK et TOU ?

2. A quelle heure s'est produit le séisme ? Sachant que la vitesse de propagation des ondes P dans profondeurs situées entre 5 et 15 km est de l'ordre de **6,0 Km/s**.

- 3- Localiser sur la **figure 2** l'épicentre du séisme, donnez sa position géographique en X et Y ?.
4. Comparer l'épicentre du séisme avec celui déterminé par les courbes d'isoséistes (épicentre macrosismique) de l'exercice 1 ?

Ts – Tp (en s)	D en km	Ts – Tp	D	Ts – Tp	D
0,0	00,0	6,5	55,6	14,3	122
0,6	05,6	7,2	61,6	15,0	128
1,3	11,1	7,8	66,7	15,5	131
2,0	16,7	8,4	72,3	16,4	139
3,2	27,8	9,1	77,8	17,7	150
3,9	33,4	9,8	83,4	19	161
4,6	38,9	10,4	89,0	20,4	172
5,0	44,5	11,7	100	25,6	217
5,8	50,0	13,6	117	28,8	245

Tableau 1 : table de Jeffreys-Bullen :

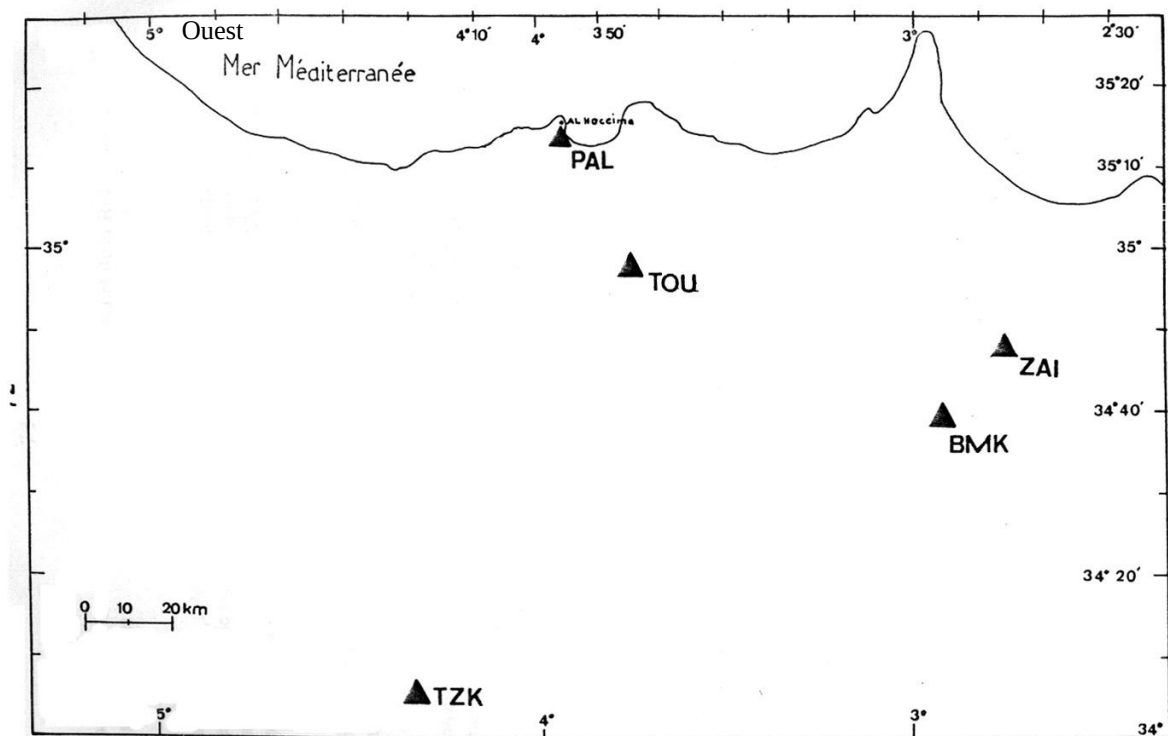


Figure 3

Exercice 6

La région d'Essaouira a connu le 21 novembre 1988, un tremblement de terre de magnitude 4,6. La **figure 4** représente le résultat de l'étude macrosismique de ce séisme,

1. Que représente la **figure 4**.
2. Donner l'intensité maximale observée du séisme.
3. Localisez sur la **figure 4** l'épicentre macrosismique. .
5. Quelle est la différence entre une étude macrosismique et une étude instrumentale d'un séisme ?

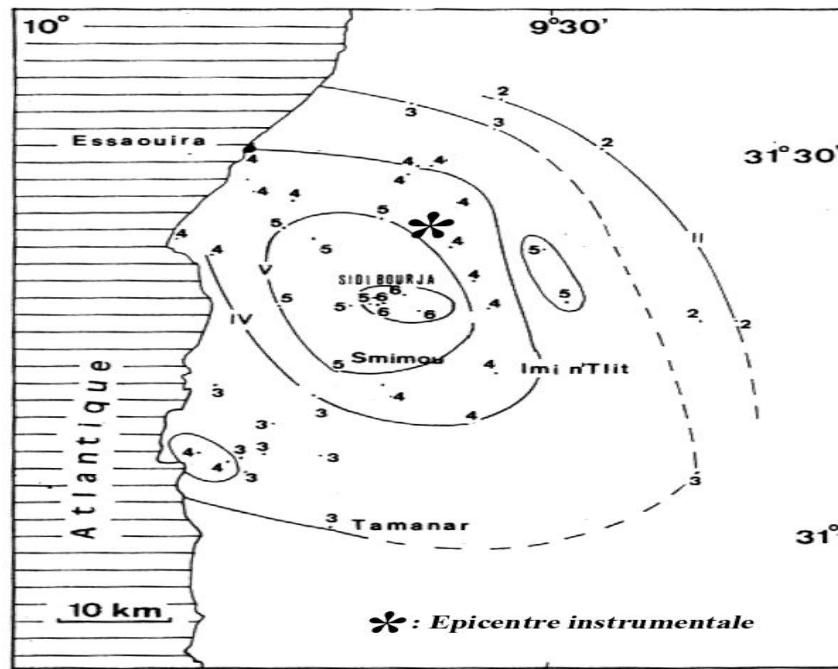


Figure 4

Exercice 7

La **figure 5** représente deux cartes sismiques de deux régions différentes (cartes A et B)

1. Que représentent les courbes numérotées des deux cartes ?
2. Comment réaliser ces cartes ?
3. En se basant sur les caractéristiques des deux séismes, expliquer la différence entre ces deux cartes ?

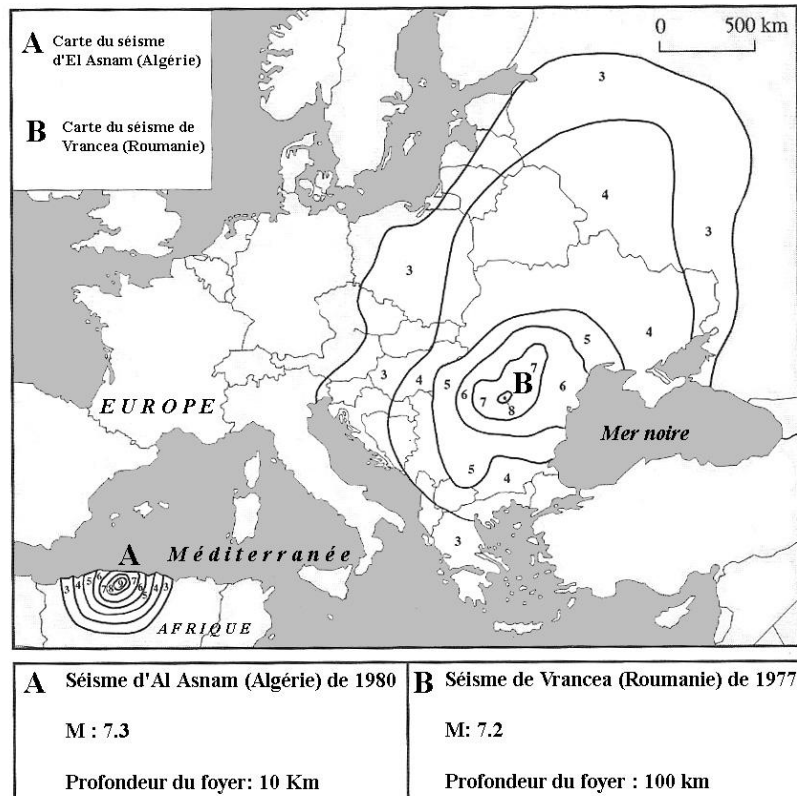


Figure 5

Exercice 8

Soient trois stations d'enregistrement sismiques A, B et C situées respectivement à 4 000 km, 10 000 km et 13 000 km de l'épicentre d'un séisme. Trois sismographes différents ont été enregistrés au niveau des trois stations. Pour la station A : l'intervalle de temps entre l'onde P et S est de 3 mn et celui entre l'onde S et L est de 1 mn.

Pour la station B : l'intervalle de temps entre l'onde P et S est de 5 mn et celui entre l'onde S et L est de 6 mn.

Pour la station C : l'intervalle de temps entre l'onde P et S est 6 mn

1. sur la **figure 6** tracer les hodochrones de chacune des ondes S et L à partir de celui de l'onde P.

2. quel est l'intervalle de temps entre l'onde S et L pour la station C située à 13 000 km de l'épicentre?

Nota : Les échelles du temps et des distances sont donnés à côté de la figure suivante.

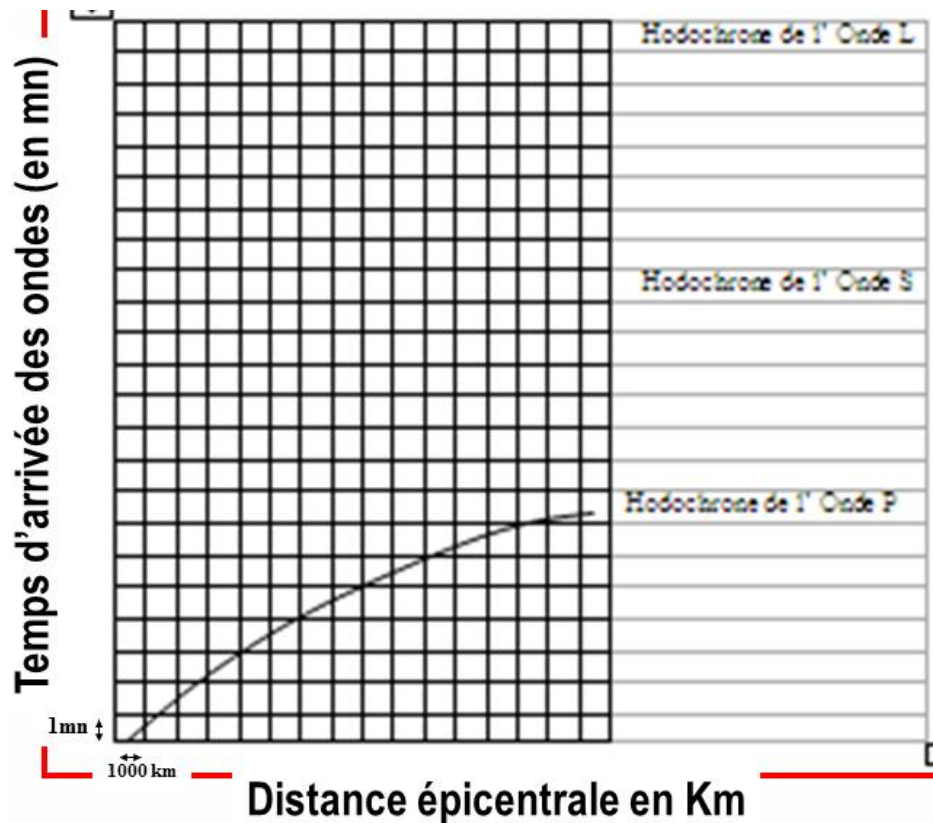


Figure 6: Hodographe hypothétique des ondes P et S et L

Exercice 9

Un tremblement de terre s'est produit à 23h 40min 14 sec (en TU). Les stations sismiques de Lisbonne (A), d'AddisAbaba (B) et de Caracas (C) ont enregistré les ondes P et S provenant de cet événement. Les heures d'arrivée des ondes P à ces trois stations sont :

Tp (A) = 23h 42 min 17s

Tp (B) = 23h 49 min 14s

Tp (C) = 23h 50 min 14s

TU : Temps universel

La figure 7 montre les courbes de vitesse des différentes ondes sismiques (Hodographe).

1. Déterminer à partir de l'hodographe de la **figure 7** les distances à l'épicentre (en km) des trois stations A, B et C
2. Reportez l'emplacement de ces 3 stations (A, B et C) sur la **figure 7**.
- c) Déterminez l'heure d'arrivée des ondes S (en h min sec) à chacune des trois stations A, B et C.
3. Localisez sur la carte de la **figure 8**, l'emplacement de l'épicentre du séisme, donnez approximativement les valeurs de ses coordonnées géographiques en ° (X= -.....°), Y= (....°).

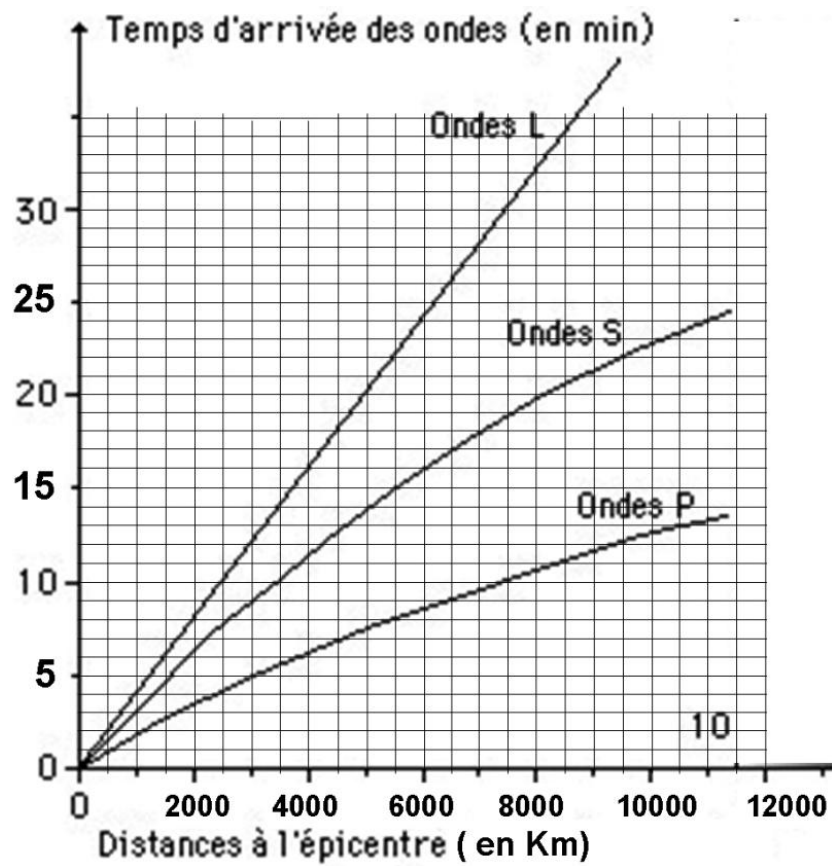


Figure 7: Hodographe des séismes lointains

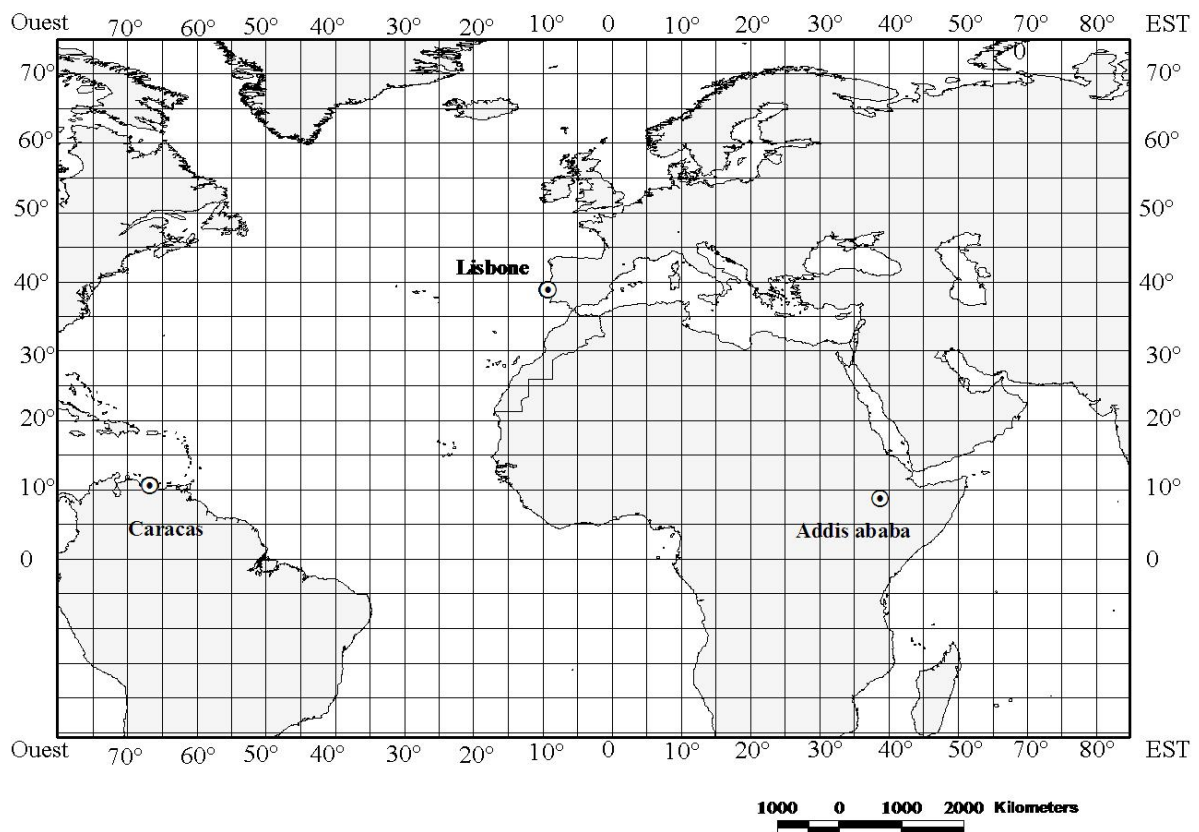


Figure 8

Exercice 10

Un séisme a été enregistré au Maroc par trois stations. **ZFT** (Zeft), **OUK** (Oukaimeden) et **CIA** (Chichaoua). Le temps d'arrivée des ondes P et S pour chaque station est le suivant :

ZFT: TP = 03h 36mn 38s; TS = 03h 37mn 22s

OUK: TP = 03h 35mn 58s; TS = 03h 36mn 07s

CIA: TP = 03h 36mn 13s; TS = 03h 36mn 34s

- 1 - Donner la différence du temps d'arrivée (en secondes) des ondes **S** (Ts) et celui des ondes **P** (Tp) pour chaque station.
- 2 - Calculer la distance épacentrale (D) pour chaque station sachant que pour les vitesses des ondes P et S dans la croûte on admet le plus souvent que : $(1/V_s - 1/V_p) = 1/8$
- 3 - Reporter le sur la **figure 9** l'emplacement de l'épicentre du séisme par la méthode d'intersection des cercles.

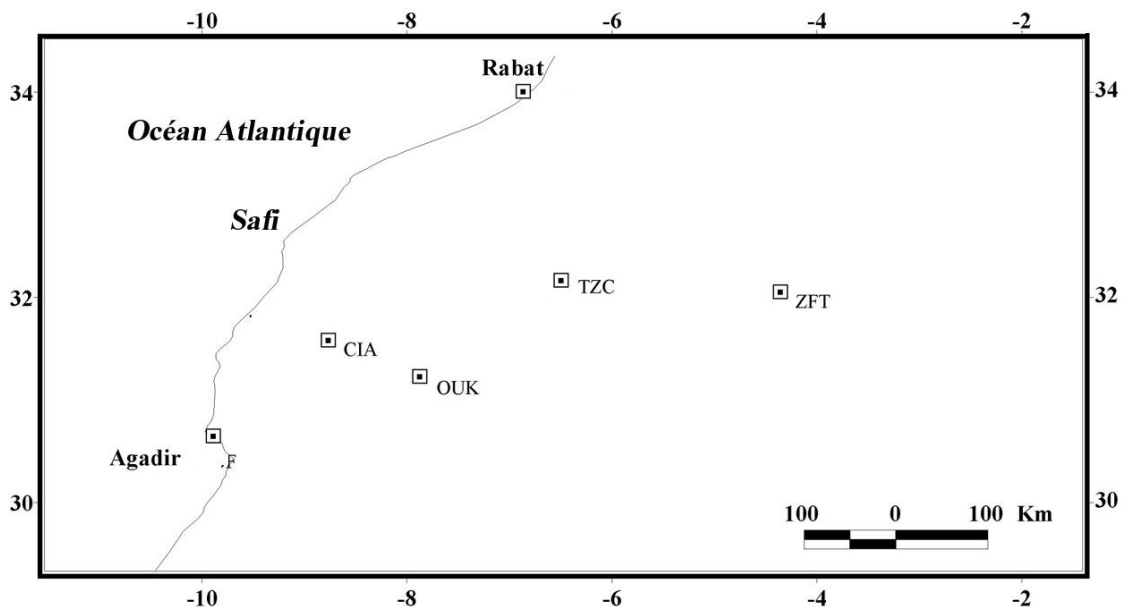


Figure 9: Carte schématique du Maroc central (voir l'échelle graphique sur la carte)

Exercice 11

Un séisme a été enregistré par quatre stations : LRG, FRT, LMR et CFV (voir **figure 10**).

1. Quelles sont les principales caractéristiques des ondes sismiques P et S ?
2. D'après ces sismogrammes, quelle est la station la plus proche et la station la plus éloignée de l'épicentre ? Justifiez votre réponse ?
3. Déterminez la différence des temps d'arrivées des ondes S et P en secondes pour chaque station ?
4. Calculer la distance épacentrale pour chaque station, sachant que pour des séismes proches de l'épicentre, on considère que les vitesses des ondes P et S sont des constantes et sont de l'ordre de 5 km/s Pour V_p et 3.2 km/s pour V_s ?
5. Reportez sur la **figure 11**, l'emplacement de l'épicentre du séisme en utilisant les données des quatre stations ?

6. Sachant que le temps d'arrivée de l'onde P à la station LRG est de : 10h 5 min 18.9 sec, Calculer le temps d'origine du Séisme ?

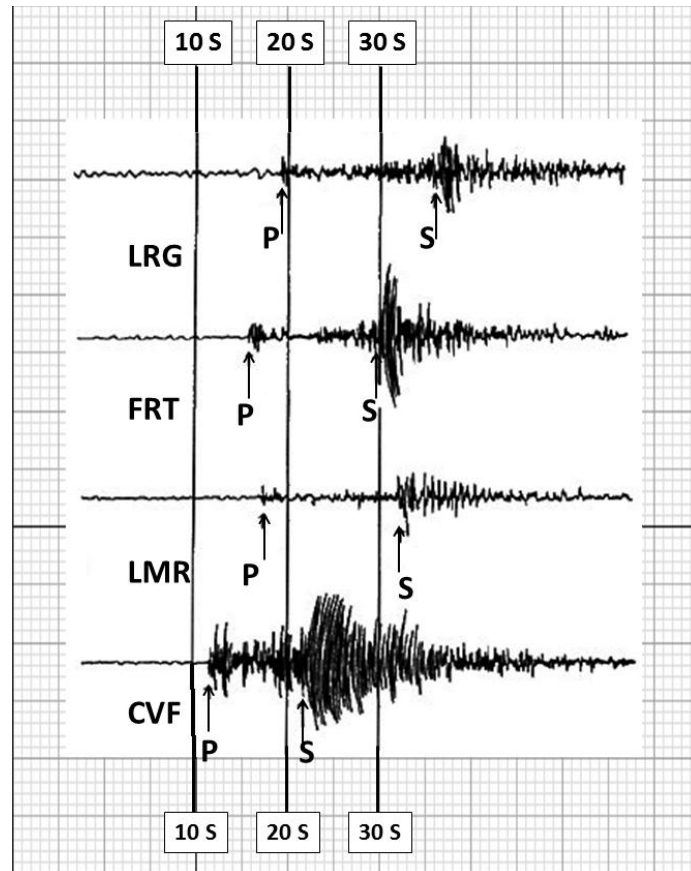


Figure 10

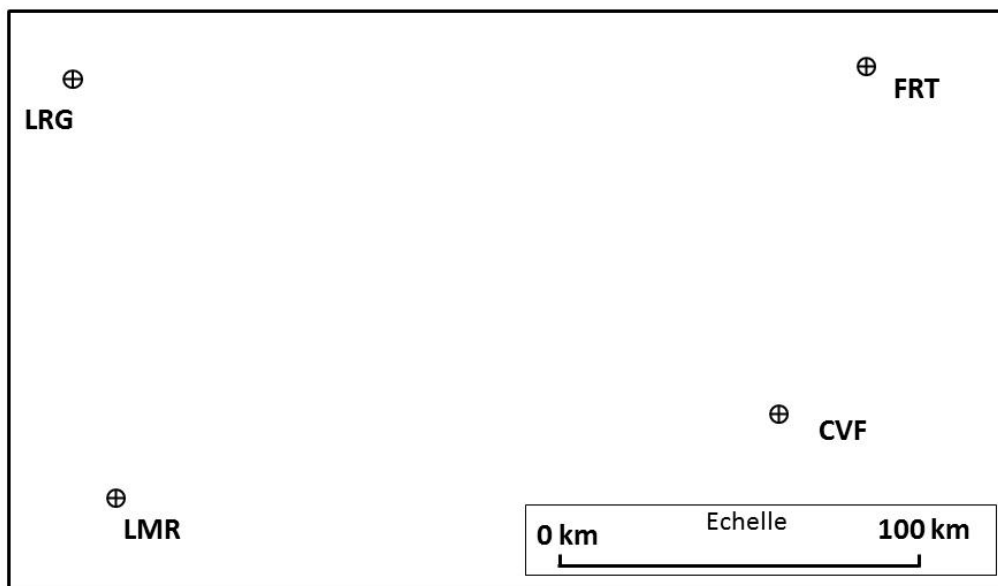


Figure 11

Exercice 12

Un séisme s'est produit au nord du Maroc le 10/3/1973 à **23h 30min 37sec**. Trois stations sismiques l'ont enregistré (**TSY, DKH et RSA**). L'épicentre du séisme est localisé sur la **Figure 13**.

1. Sur la figure des hodochrones des séismes proches de l'épicentre (**figure 12**), reportez l'emplacement des 3 stations (**TSY, DKH et RSA**).
2. Déterminez le temps d'arrivée des ondes P (T_p) et celui des ondes S (T_s) du séisme, pour les trois stations (**TSY, DKH et RSA**).

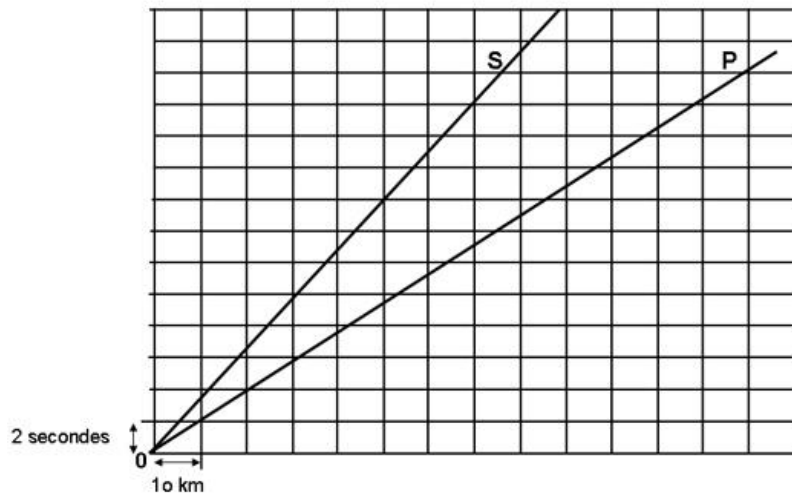


Figure 12 : Hodochrones des ondes P et S pour les séismes proches de l'épicentre

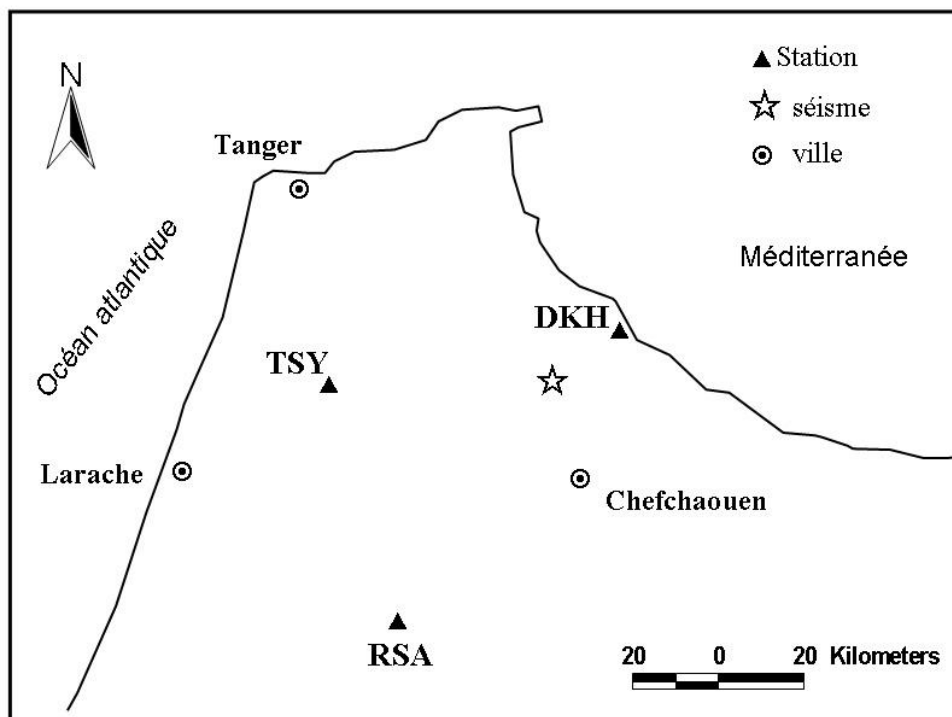


Figure 13

Exercice 13 :

I La région d'Agadir a connu durant son histoire des séismes importants dont le plus important est celui du 29 février 1960 qui a fait plus de 12000 morts, plusieurs milliers de blessés et plus de 75% des constructions de la ville ont été détruites. La figure n°14 montre la localisation dans cette région, des épicentres des séismes les plus importants (magnitude > 4) et dont la profondeur des foyers ne dépasse pas 9 km.

Le séisme n°6 a eu lieu le 5/4/1992 à 21h 16min et 35 secs. 3 stations sismiques l'ont enregistré (S1, S2 et S3).

1. Sur la figure des hodochrones des séismes proches de l'épicentre (figure n°15), reportez l'emplacement des 3 stations S1, S2 et S3 ?
2. Déterminer le temps d'arrivée des ondes P (T_p) et S (T_s) du séisme n°6 pour les trois stations S1, S2 et S3. ?
3. Calculer la vitesse de propagation des ondes P et S ?, Comparer les valeurs trouvées avec celles des vitesses de propagation des ondes P et S pour des séismes lointains ($V_p > 10 \text{ km/s}$ et $V_s > 6 \text{ km/s}$) ?

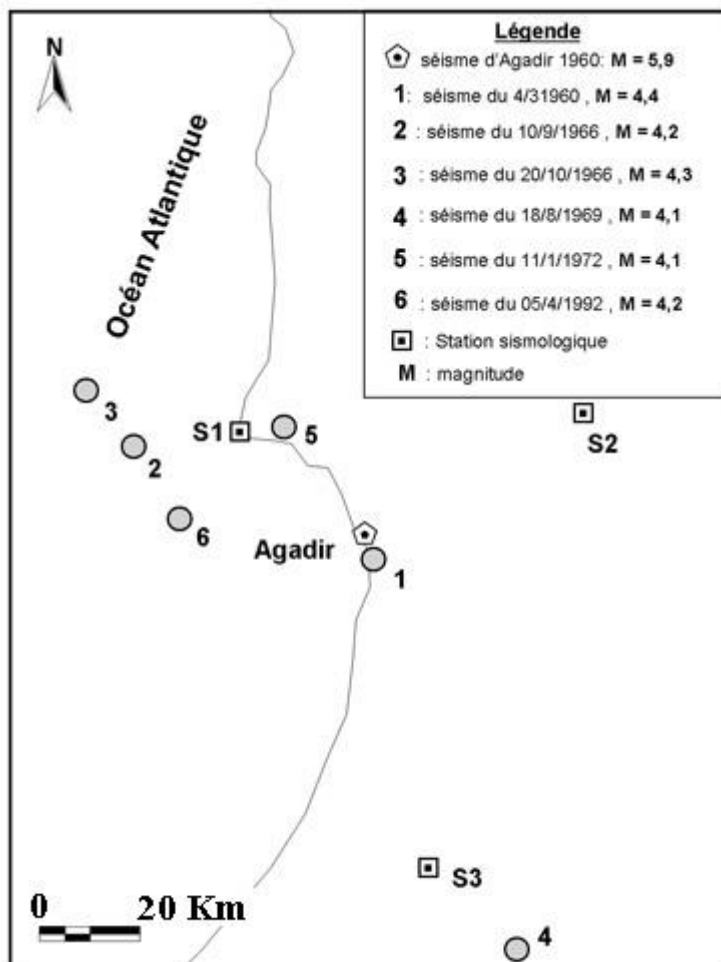


Figure 14 : Carte sismique de la région d'Agadir (voir l'échelle graphique sur la carte)

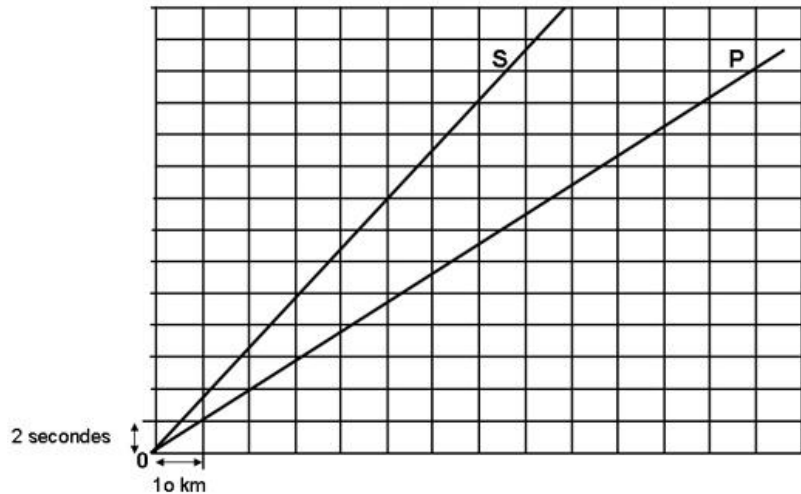


Figure 15

Exercice 14 :

Lors d'un tremblement de terre, les ondes P et S se propagent à l'intérieur du globe terrestre et elles sont enregistrées par les différentes stations d'enregistrements réparties sur le globe. On a remarqué cependant que les stations très éloignées du séisme (entre **11500 et 14500 km**) n'enregistrent pas d'ondes. Expliquez pourquoi? Illustrez votre réponse par un schéma.

Exercice 15 :

À l'aide des courbes de la **figure 16 et 17**, expliquez les variations des vitesses des ondes sismiques P et S avec la profondeur?

Reportez sur ces figures, à leurs emplacements exacts, les différentes zones internes de la terre ainsi que les discontinuités qui les séparent ?

Exercice 16 :

La **figure 18** représente le sismogramme d'un séisme enregistré par une station située à 15000 km de l'épicentre du séisme. Trois types d'ondes sismiques successives s'inscrivent sur le sismogramme onde P, S et L.

1. Sachant que les ondes P sont arrivées à la station **18 min** après le déclenchement du séisme, déterminez la vitesse des ondes P en **Km/seconde** ?
2. Quel est le temps mis par les ondes S puis L pour arriver à cette même station après le déclenchement du séisme ?
3. Déterminer les vitesses moyennes des ondes S et des ondes L en Km/s.

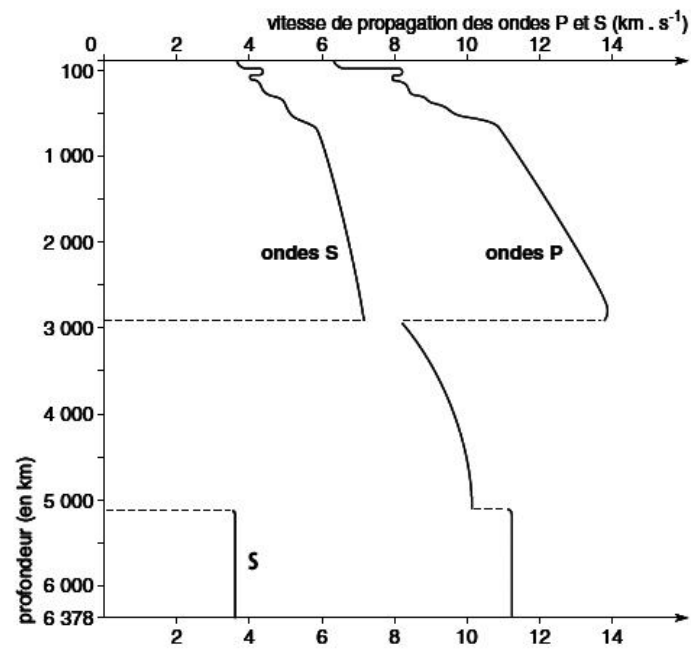


Figure 16

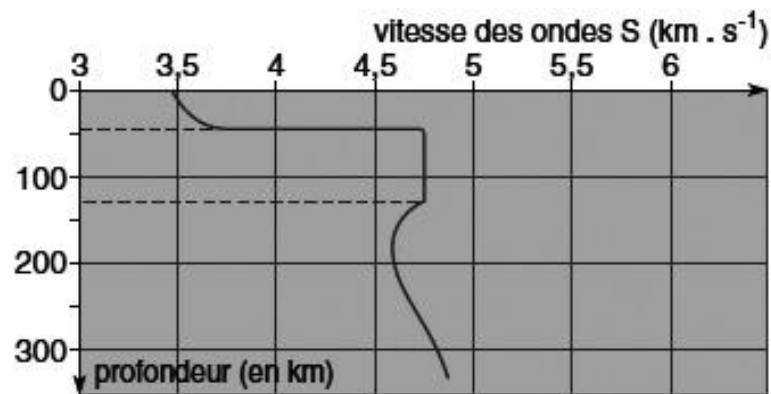


Figure 17: Variation de la vitesse des ondes sismiques S avec la profondeur (détail de la partie superficielle de la terre)

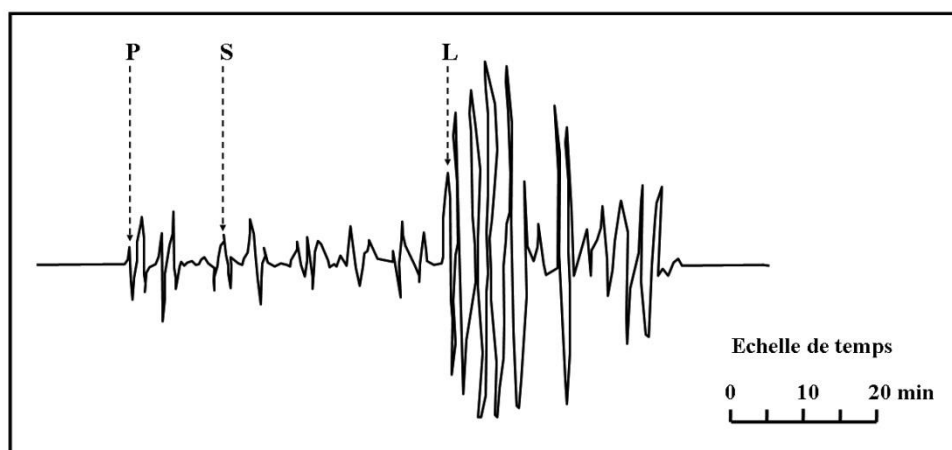


Figure 18

Exercice 17 :

Le Pérou a été secoué le 15 août 2007 à 23h 40 min par un tremblement de terre de magnitude 7.7 sur l'échelle de Richter. Ce séisme a été enregistré par une station sismique située à 10400 km de l'épicentre. Le sismogramme est représenté par la **figure 19**.

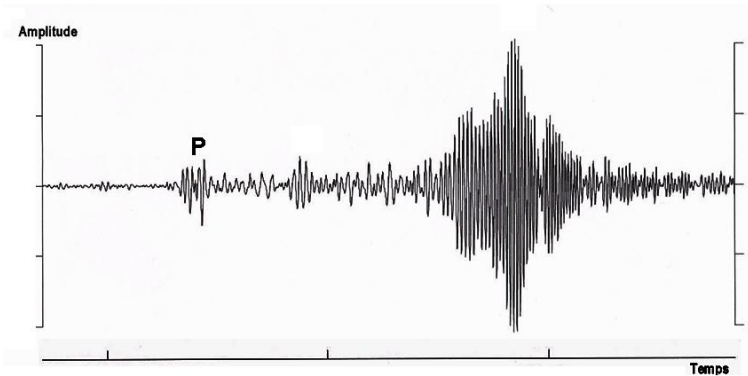


Figure 19: sismogramme du séisme de Pérou du 15 août 2007. (enregistré à 10400 km de l'épicentre)

1. Sur la **figure 19**, repérez les ondes S et L ?

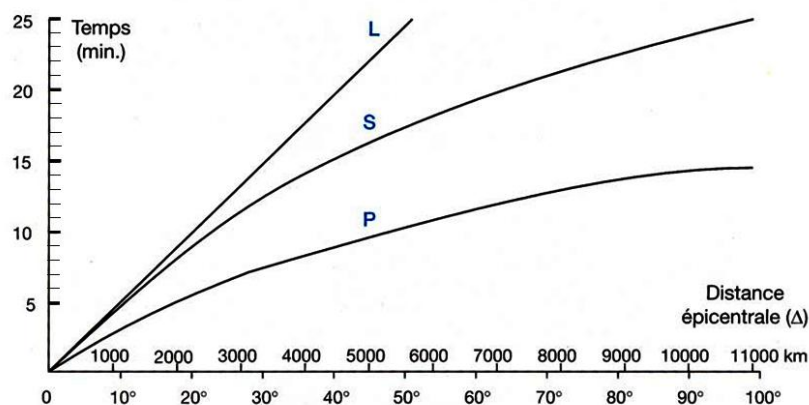


Figure 20 : Hodographe des séismes lointains

2. A partir de la **figure 19**, donnez la différence du temps d'arrivée des ondes S (T_s) et celui des ondes P (T_p) du séisme de Pérou ?

3. Déterminez les heures d'arrivée des ondes P et des ondes S du séisme à la station ?

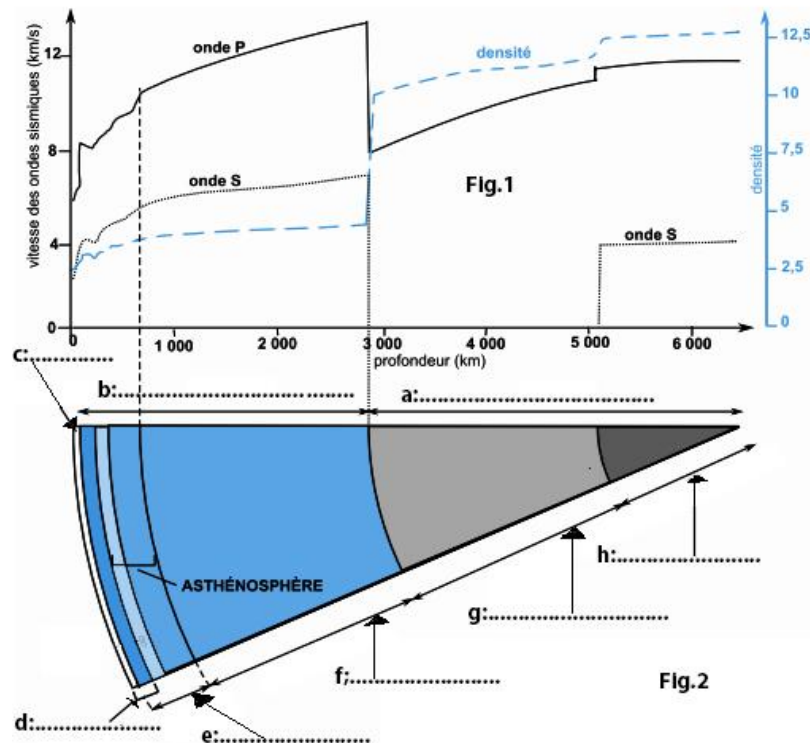
4. À partir de la **figure 20**, comparez les vitesses des 3 types d'ondes ? Comment cela se traduit-il sur le sismogramme ?

Exercice 18 :

Gutenberg, Mohorovicic et Lehman ont découvert, chacun, une des discontinuités du globe terrestre. A l'aide d'un texte de quelques lignes, expliquez le raisonnement suivi pour aboutir à la mise en évidence de ces discontinuités.

Exercice 19 :

- 1 : Complétez la légende de la **figure 21**: (a, b, c, d, e, f, g, h)
- 2 : Placez sur la **figure 21** à leurs emplacements exacts, les trois principales discontinuités de la terre ;
3. Expliquez la variation des vitesses des ondes sismiques P et S avec la profondeur.
(Uniquement pour des profondeurs supérieures à 1000 km)



(Figure.20) : variations de la vitesse de propagation des ondes sismiques et de la densité en fonction de la profondeur ;

(Figure.21) schéma d'interprétation associé de la structure interne de la Terre.

Exercice 20 :

La **figure 22** représente la variation de la vitesse des ondes sismiques S en fonction de la profondeur de la terre (entre 0 et 900 Km).

1. Complétez la légende de la **figure 22**? (A quoi correspondent chacune des zones : a, b, c, 1, 2 et 3) ;
2. Reportez sur la **figure n°22**, à son emplacement exact la principale discontinuité qui existe dans cette partie interne de la terre (écrivez le nom de cette discontinuité ?)
3. Expliquez la variation de la vitesse des ondes sismiques S avec la profondeur à partir de la **figure 22**

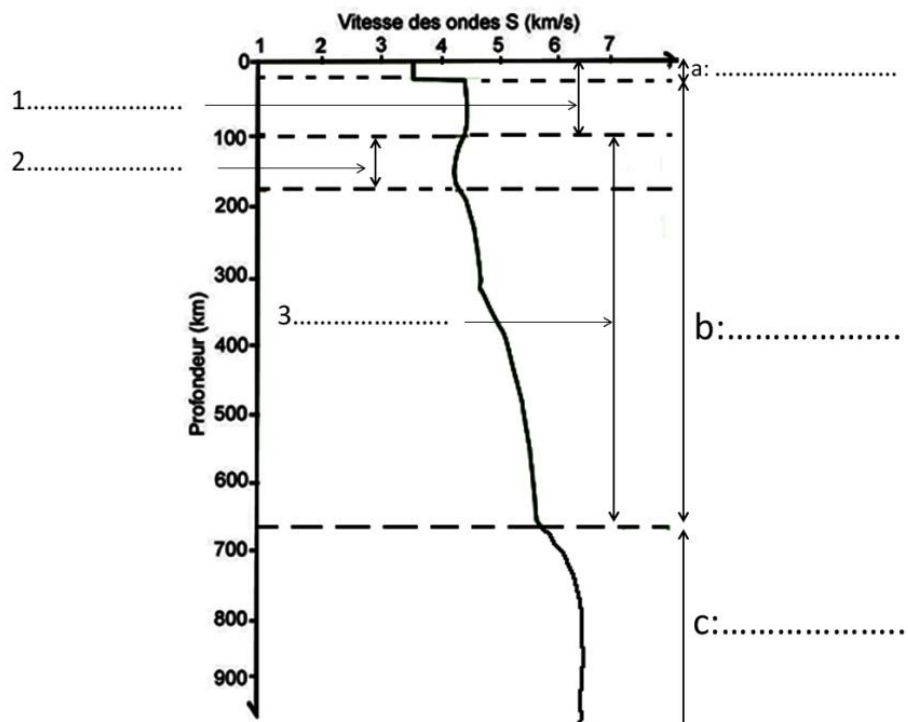


Figure 22

Exercice 21 :

Montrez par un schéma les principales zones internes de la terre et les discontinuités qui les séparent. (Veuillez répondre dans le cadre ci-dessous)