

CENTRE UNIVERSITAIRE DE MILA
INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT GÉNIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

*Génie parasismique
(Master2 G.C)*

👉 **Responsable:** Dr. GUETTICHE ABDELHEQ

👉 ANNEE UNIVERSITAIRE 2022- 2023

PROGRAMME DU COURS :

1. Chapitre 01 : Eléments de sismologie (1 semaine)

- ✓ Causes des tremblements de terre,
- ✓ Ondes sismiques,
- ✓ Systèmes de mesures des séismes,
- ✓ Aléas sismiques, Etude d'un cas pratique.

2. Chapitre 02 : Objectifs de la protection parasismique et méthodes de dimensionnement (1 Semaines)

- ✓ Objectifs de comportement
- ✓ Méthodes de dimensionnement
- ✓ Principes de vérification
- ✓ Principes de conception

3. Chapitre 03 : Caractéristiques des bâtiments résistant aux séismes (2 Semaines) Principes de base de la conception

- ✓ Simplicité de la structure
- ✓ Uniformité, symétrie et hyperstaticité
- ✓ Résistance et rigidité dans les deux directions, (effet de la torsion)
- ✓ Action des diaphragmes au niveau des étages
- ✓ Fondations adéquates
- ✓ Critères de régularité de la structure: Critères de régularité en plan et critères de régularité en élévation

✓

I.1. PROGRAMME DU COURS :

4. Chapitre 04: Critères de classification (1 Semaine)

- ✓ Zones sismiques - coefficient d'accélération de zone
- ✓ Ouvrages selon leur importance
- ✓ Sites d'implantation - facteur d'amplification dynamique moyen
- ✓ Systèmes de contreventement - coefficient de comportement global de la structure

5. Chapitre 05: Règles de calcul de la force sismique - Méthode statique équivalente (3 Semaines)

- ✓ Conditions d'application- Principe – Modélisation
- ✓ Calcul de la force sismique totale – Distribution de la force sismique suivant la hauteur (étages)
- ✓ Effets accidentels de torsion
- ✓ Distribution horizontale des forces sismiques aux éléments de contreventement -
- ✓ Justification de la sécurité - combinaisons d'actions

I.1. PROGRAMME DU COURS :

6. Chapitre 06: Méthode dynamique modale spectrale (3 Semaines)

- ✓ Principe – Modélisation – Spectre de réponse de calcul – calcul des forces sismiques.
- ✓ Prescriptions communes aux deux méthodes :
 - Stabilité au renversement.
 - Calcul des déplacements.
 - Justification de la sécurité.

7. Chapitre 7. Concept de ductilité et Dispositions constructives (2 Semaines)

- ✓ Concept de ductilité et introduction au dimensionnement par la capacité.
- ✓ Dispositions constructives
 - Spécifications particulières aux éléments structuraux.
 - Prescriptions complémentaires aux éléments non structuraux

Mode d'évaluation :

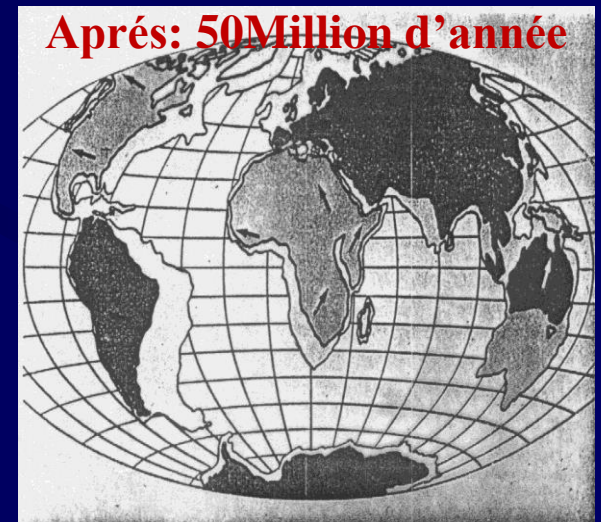
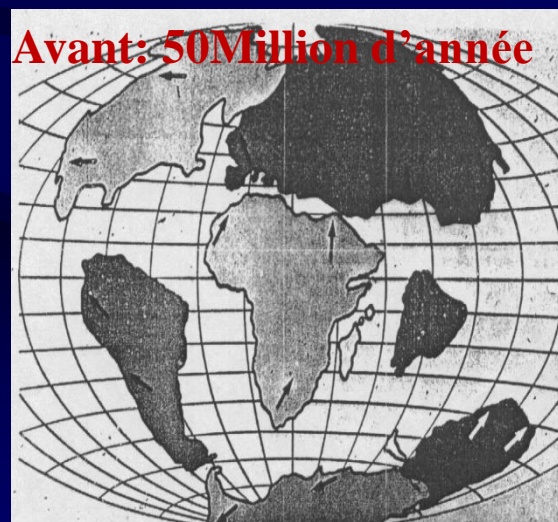
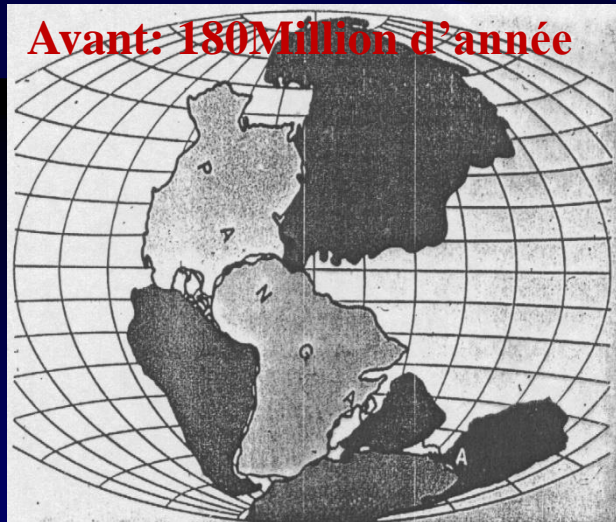
Contrôle continu : 40% ; Examen : 60%.

« Ce ne sont pas les séismes qui tuent l'être humain, mais plutôt l'effondrement des conceptions qu'ils réalisent »

On appelle « **Conception parasismique** » toute conception conçue et réalisée de manière à respecter les règles parasismiques, qui ont pour objectif la sauvegarde du maximum des vies humaines.

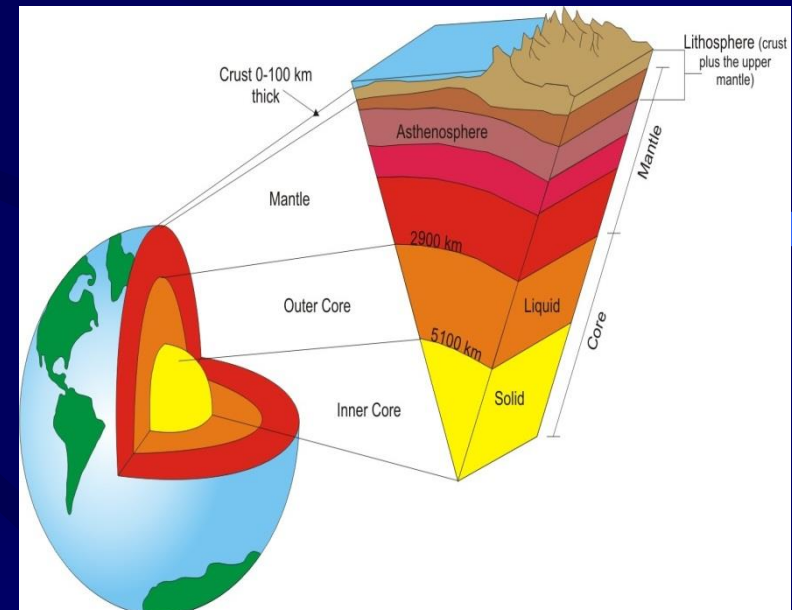
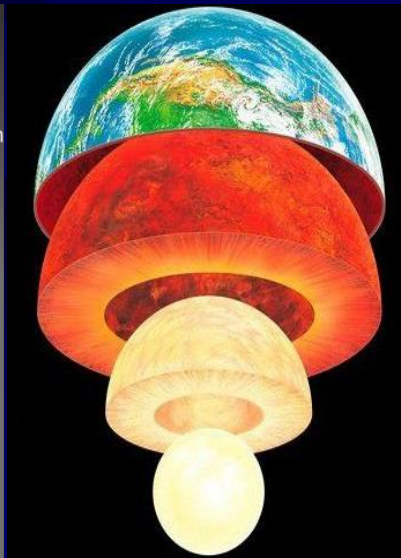
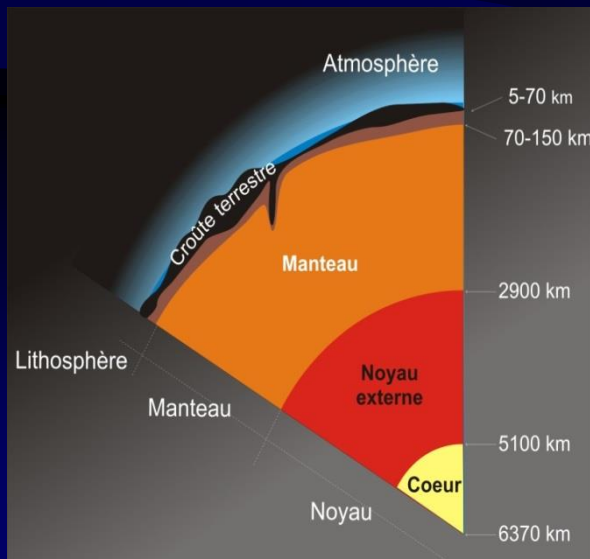
Il s'agit donc de concevoir des structures capables de résister à un niveau d'agression sismique défini réglementairement pour chaque zone de sismicité.

1.introduction: La terre est vivante. Les continents s'assemblent et disloquent, les mers apparaissent et disparaissent, à l'échelle des temps géologiques bien sûr.



2. Structure de la terre: La terre est constituée d'une succession de couches de composition chimique, de densité et de température différentes.

- ✓ Au centre, le noyau, qui représente **17% du volume terrestre**, et qui se divise en noyau interne solide et noyau externe visqueux ;
- ✓ Puis se trouve le manteau, qui constitue l'essentiel du volume terrestre, **81%**, et qui se divise en manteau inférieur solide et manteau supérieur principalement plastique, mais dont la partie tout à fait supérieure est solide
- ✓ Vient ensuite la croûte (ou écorce), qui compte pour moins de **2% en volume** et qui est solide.

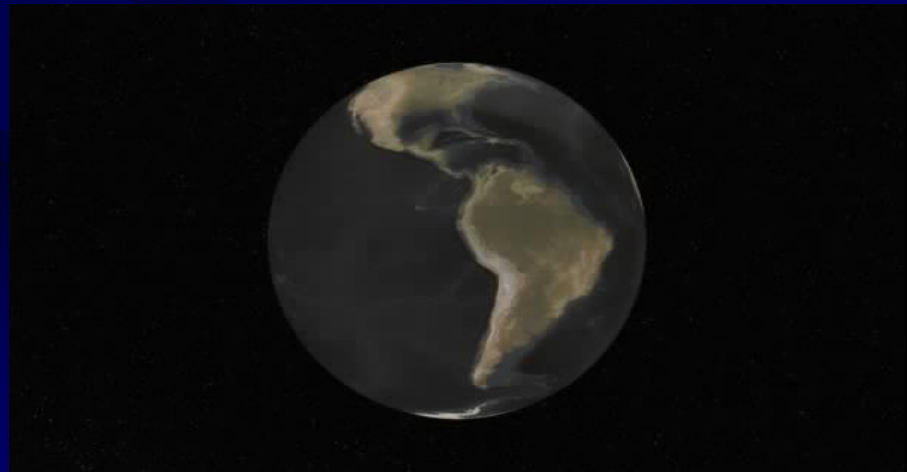


3. Notion de dérive des continents :

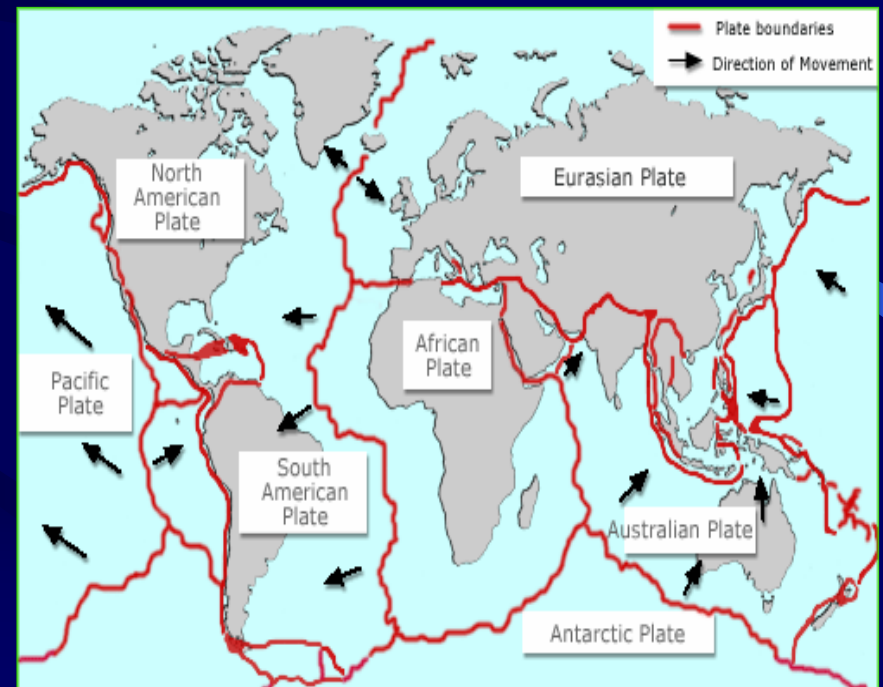
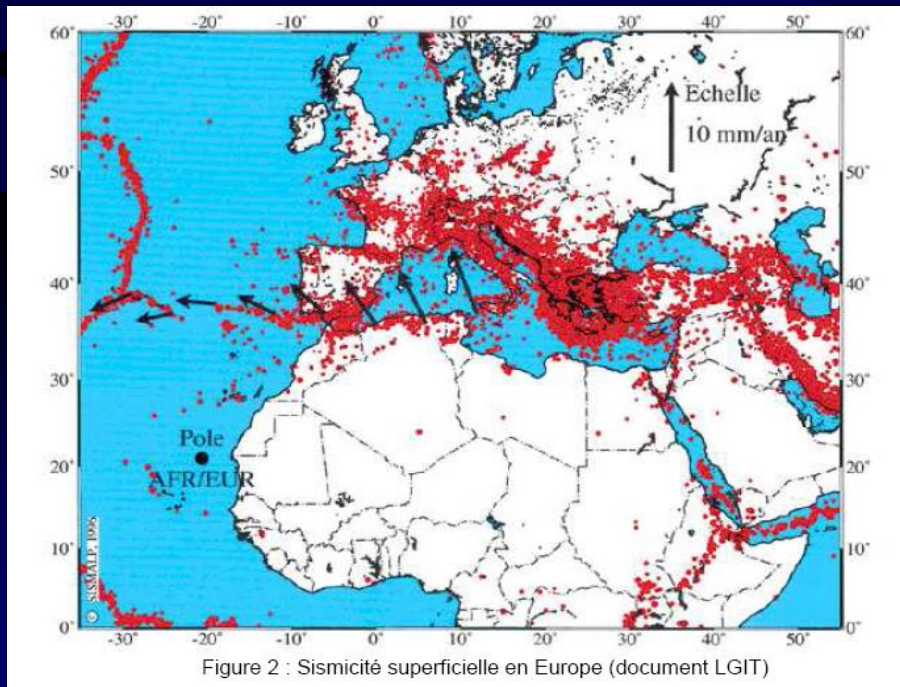
La dérive des continents est une théorie proposée au début du 20ème siècle par le physicien-météorologue **Alfred Wegener** qui développa et argumenta l'idée du déplacement des continents à la surface de la planète. Sa théorie est étayée par la coïncidence des contours géologiques de part et d'autre de l'Atlantique sud, la similitude des séquences de roches et les indicateurs paléo-climatiques et autres concordances géologiques.

Cette théorie fut ensuite confirmée par les études sur le paléomagnétisme des fonds océaniques.

Le rôle des dorsales océaniques génératrices de matière sous l'action des courants de convection dans le manteau fut expliqué, ce qui permit de déduire le phénomène de création continue de fonds océaniques.



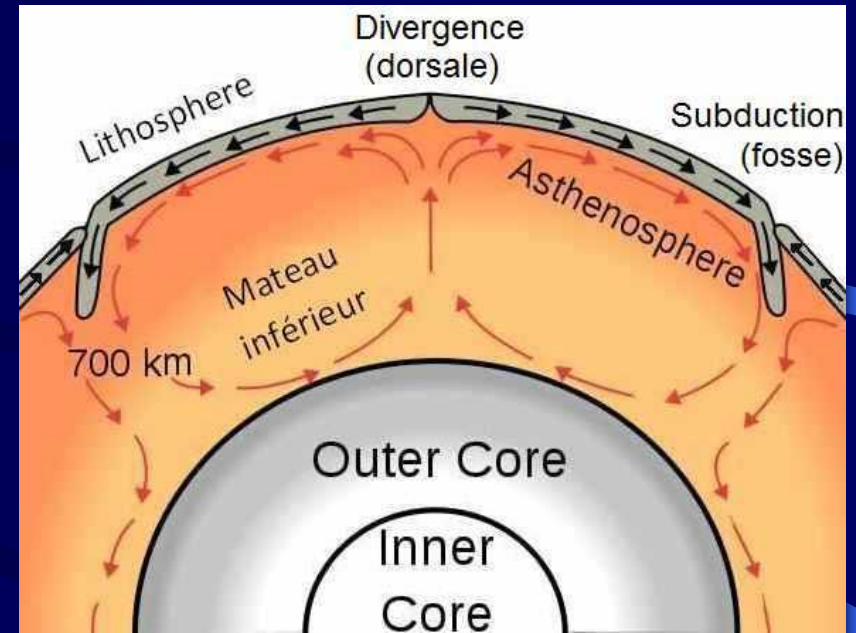
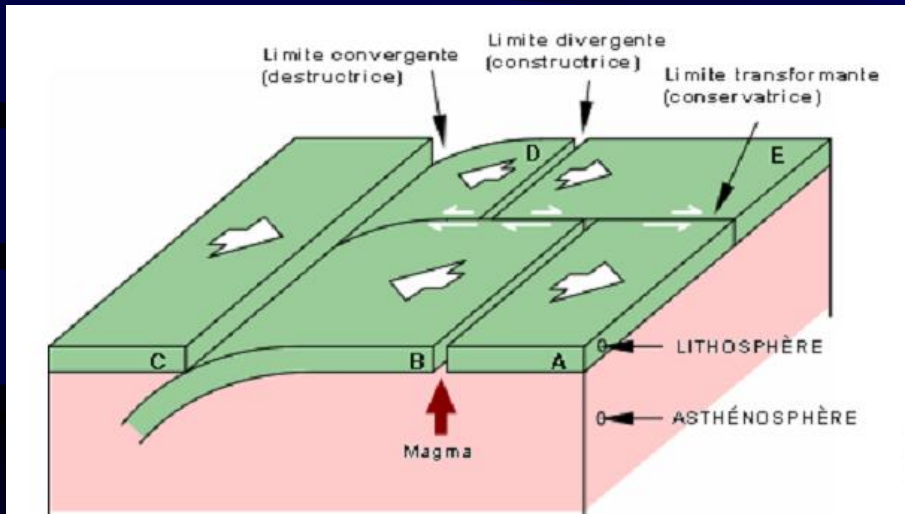
4. Plaques tectoniques : Les séismes n'ont pas une répartition aléatoire à la surface de la planète, mais sont localisés pour leur immense majorité sur les frontières des plaques lithosphériques. La tectonique est la partie de la géologie qui étudie la nature et les causes des déformations des ensembles rocheux, plus spécifiquement à grande échelle de la lithosphère terrestre. Cette théorie fut développée à la fin des années 1960, a eu des incidences énormes sur toutes les Sciences de la Terre



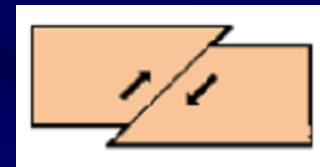
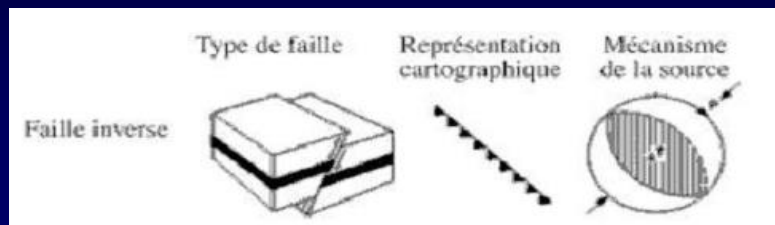
5. L'origine du mouvement des plaques: La croûte terrestre repose sur le manteau plastique. Il est animé de mouvements de convections qui entraînent les plaques.

Les frontières des plaques s'appellent les failles.

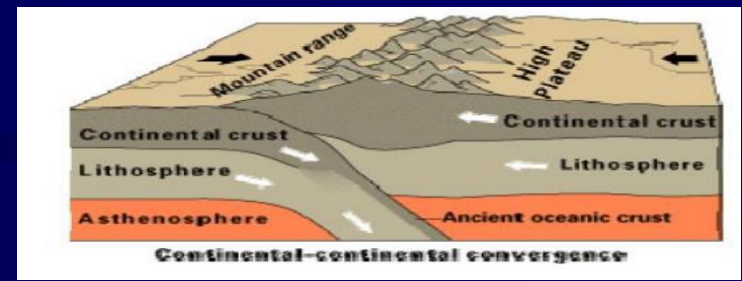
Elles sont de type différents en fonction des mouvements des plaques :



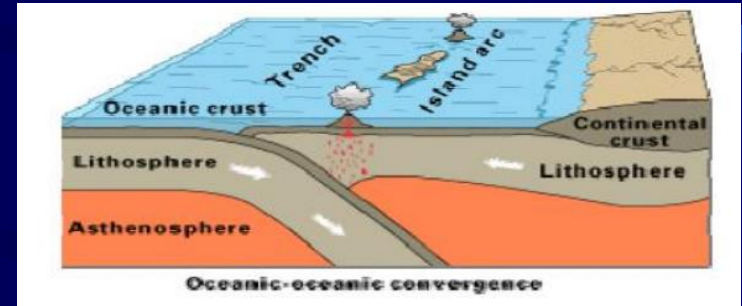
a- Les failles convergentes (plaques D et C). On parle aussi de faille inverse.



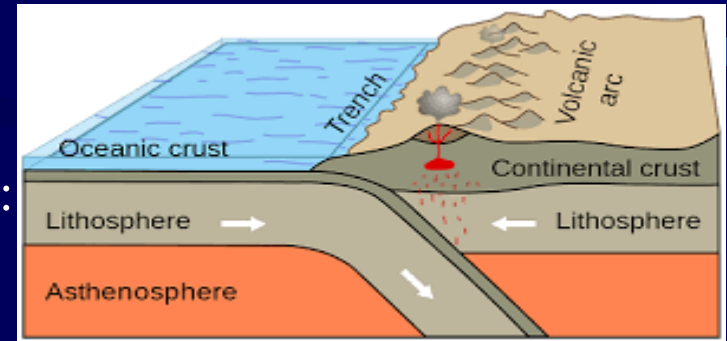
- Si les 2 plaques sont continentales :
- Chaînes de montagne (Himalaya, Alpes).



- Si les 2 plaques sont océaniques :
- création d'un arc insulaire (Antilles...).

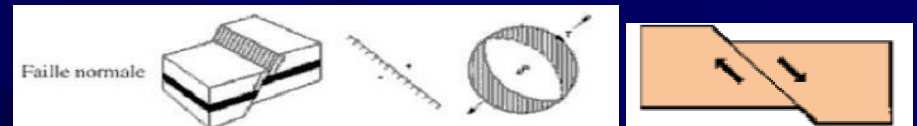


- Si une plaque est océanique, l'autre continentale création d'un arc volcanique terrestre: (cordillère des Andes)

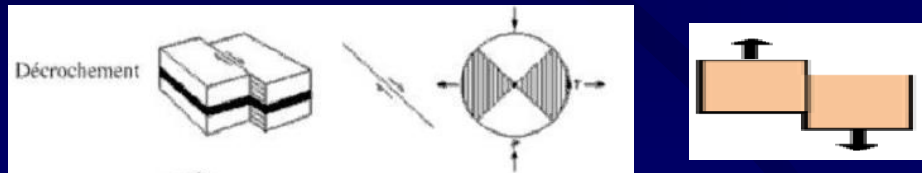


b- Les failles divergentes (plaques B et A).

On parle aussi de faille normale.



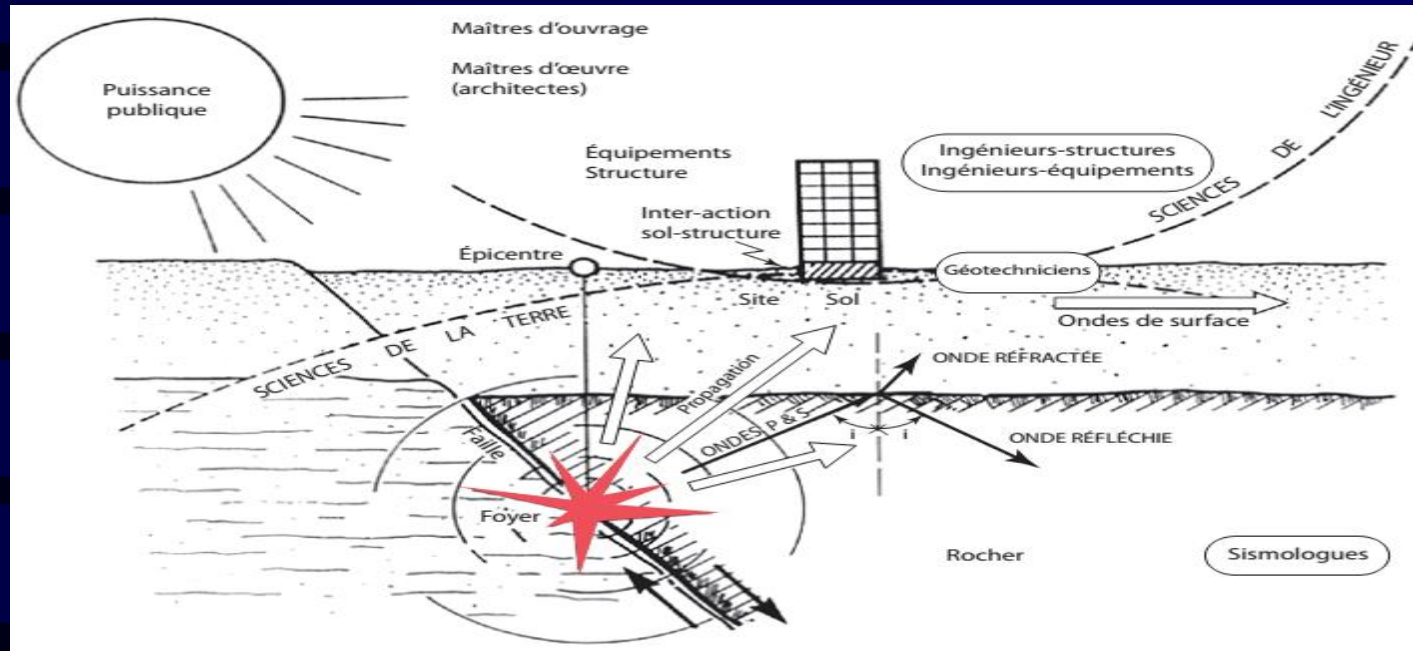
c- Les failles transformantes (plaques E et A). On parle aussi de faille en décrochement



6. Classification des séismes: La classification des séismes se base sur un nombre de critères. Les plus importants sont : (1) la profondeur du foyer ; (2) l'origine du séisme et (3) l'intensité et la magnitude des séismes.

- Selon la **profondeur du foyer**, on distingue :
 - Les séismes **superficiels**: la profondeur du foyer est inférieure à **60 km**.
 - Les séismes **intermédiaires**: le foyer est situé **entre 60 et 300 km** de profondeur.
 - Les séismes **profonds**: la profondeur du foyer **dépasse 300 km**.
- Selon l'**origine du séisme**, on distingue les séismes d'origine tectonique et ceux d'origine non-tectonique.
 - Les **séismes d'origine tectonique** sont liés aux mouvements de l'écorce terrestre le long de failles. C'est les plus importants (**95 % des séismes enregistrés**)
 - Les **séismes d'origine non-tectonique** peuvent être provoqués par des éruptions volcaniques (remonté et dégazage du magma), l'effondrement de cavités souterraines naturelles ou par de gros glissements de terrain. Ces séismes sont en général de faible intensité et concernent des superficies limitées.
 - Les **séismes d'origine artificielle** sont dus à certaines activités humaines telles que barrages¹¹, pompages profonds, extraction minière, explosions souterraines ou nucléaires

7. Les ondes sismiques : Un séisme correspond à une vibration transitoire du sol provoquée par les ondes sismiques émises lors d'un déplacement du sol (rupture) le long d'une faille active, à partir d'un point appelé foyer ou hypocentre

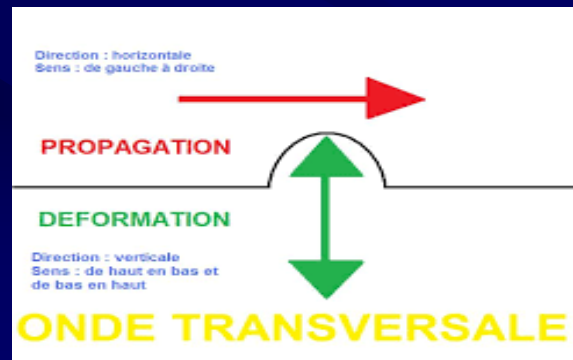
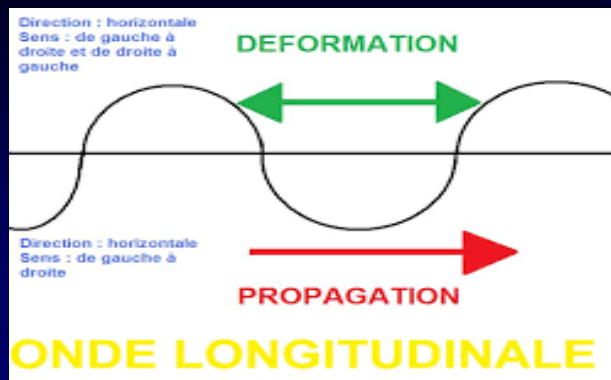


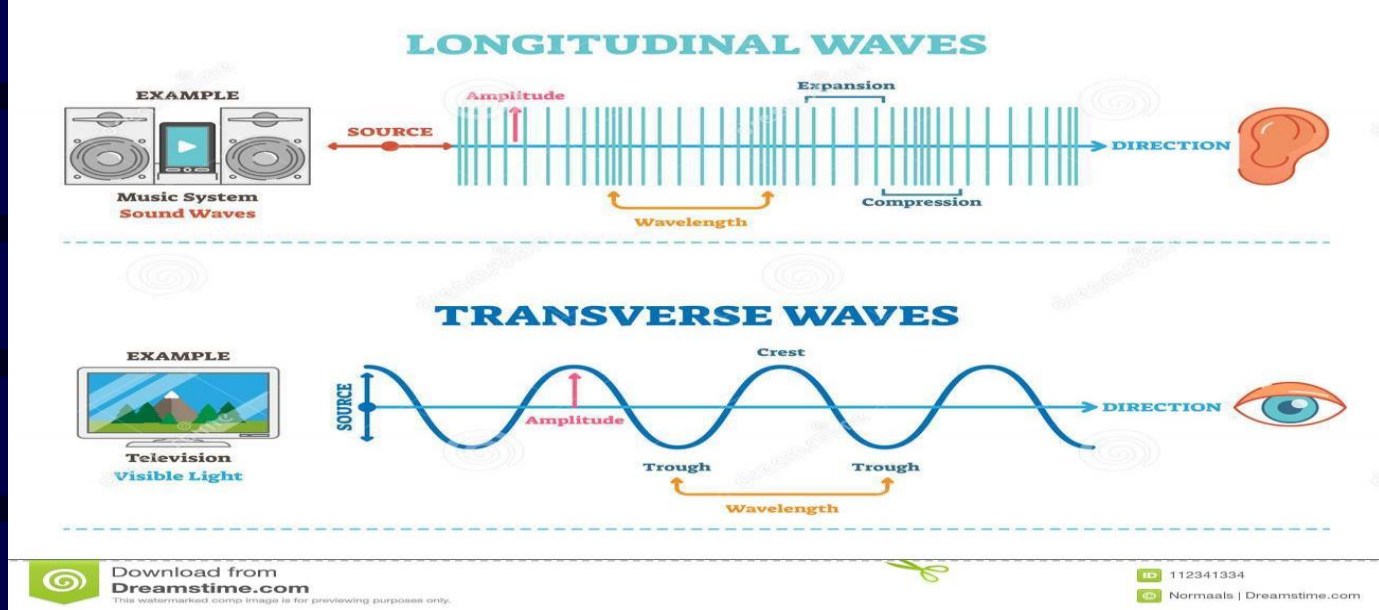
Le point en surface situé à la verticale de l'**hypocentre (foyer)** est appelé l'**épïcéntré** du séisme. La distance entre ce point et l'endroit d'enregistrement de l'accélérogramme est appelée **distance épïcéntrale**. Le processus de rupture peut durer quelques secondes (pour les séismes de courte durée) à quelques dizaines de secondes (pour les séismes de longue durée). Les ondes intéressantes pour le génie civil sont les ondes de volume (P et S) et les ondes de surface (L et R).

7. 1. Les ondes de volume : Les ondes se propagent sous deux formes :

les ondes P (ondes primaires) ou ondes longitudinales ; ces ondes se propagent, dans la croûte terrestre, avec une vitesse de **6 à 8 km/s** et s'accompagnent d'un changement de volume (compression et dilatation alternées,). Ce type d'ondes induit un mouvement vertical (pompage) dans les ouvrages. Le mouvement sera d'autant plus important que l'ouvrage se trouve à proximité de l'épicentre.

les ondes S (ondes secondaires) ou ondes de cisaillement ; ces ondes se propagent, dans la croûte terrestre, avec une vitesse d'environ **3 à 5 km/s** et s'accompagnent d'une **distorsion dans le plan perpendiculaire** à la direction de propagation, provoquant **un cisaillement sans changement de volume**. C'est bien ce type d'ondes qui introduit un **mouvement horizontal dans les ouvrages**. À la différence des ondes longitudinales, les ondes transversales ne peuvent se propager dans les milieux liquides ou gazeux, en raison de l'inaptitude de ces milieux à transmettre les efforts de cisaillement.





Si l'on considère un solide homogène et isotrope (par exemple un substratum rocheux), par la théorie de l'élasticité, on peut calculer la vitesse de propagation de ces ondes à partir des caractéristiques du sol.

Les vitesses de propagation des ondes sont données par les formules suivantes :

• pour les ondes P:
$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1-2\nu)(1+\nu)}} \text{ [m/s]}$$
 avec :
$$\lambda = \frac{\nu E}{(1-2\nu)(1+\nu)}$$
 et :
$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Avec: ρ , la densité du milieu ou masse volumique [kg/m³]

E: le module d'élasticité dynamique [N/m²]

G: le module de cisaillement dynamique [N/m²]

ν : le coefficient de Poisson et λ , la constante de Lamé.

- pour les ondes S:

$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}} \quad [\text{m/s}]$$

soit encore :

$$E = 2\rho V_S^2(1+\nu)$$

et

$$G = \rho V_S^2$$

et

$$\lambda + 2G = \rho V_P^2$$

La connaissance de la vitesse des ondes VS de cisaillement est indispensable pour la détermination des caractéristiques dynamiques des sols (E, ν et G) nécessaires à la prise en compte de l'interaction sol-structure.

Le rapport des vitesses des ondes P et S est donc :

$$\frac{V_P}{V_S} = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}}$$

et ne dépend que du coefficient de Poisson. Pour la plupart des sols, $\nu = 0,18$ à $0,40$.

Les deux types d'ondes (P et S) arrivent en même temps en des points situés près de la source (foyer), mais les ondes S qui se propagent plus lentement arrivent plus tard en des points éloignés de la source :

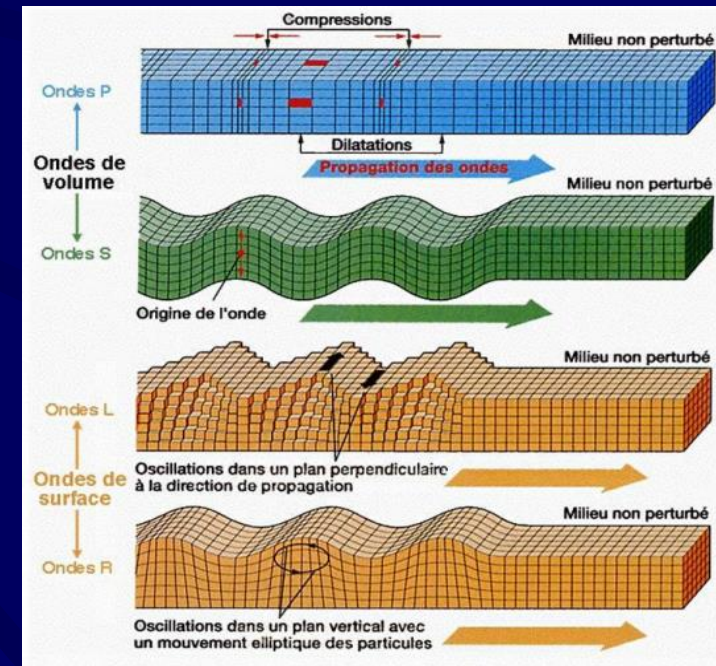
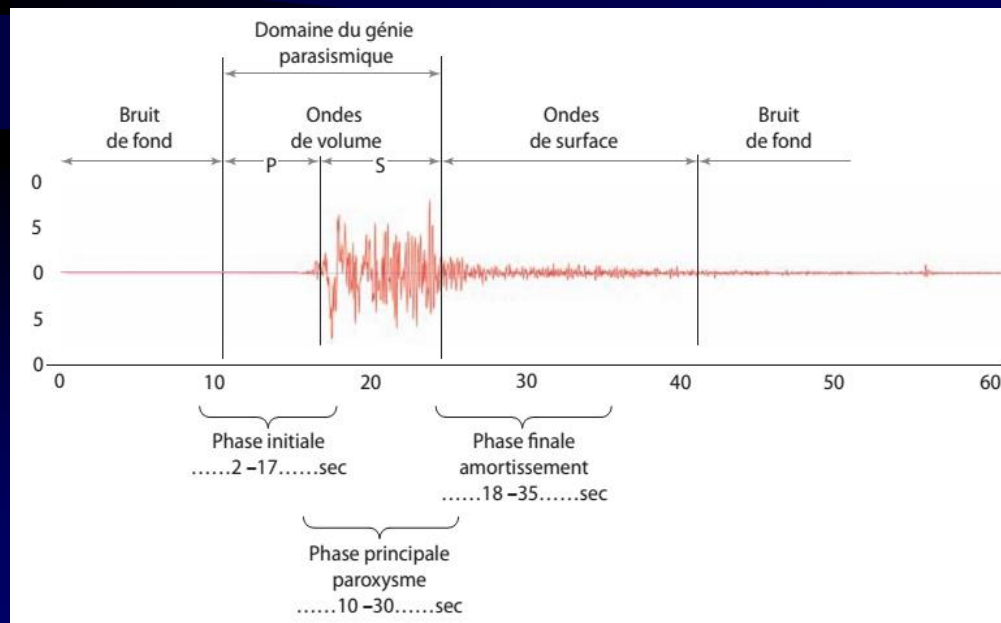
- ondes P, dans le granit, 6,0 km/s ; dans l'eau, 1,5 km/s ;
- ondes S, dans le granit, 3,0 km/s ; dans l'eau, 0 km/s.

La différence des temps d'arrivée des ondes P et S sera d'autant plus grande que la distance à l'épicentre est plus importante. De la mesure de cette différence des temps de propagation, on peut déduire la distance entre la source et le point d'enregistrement.

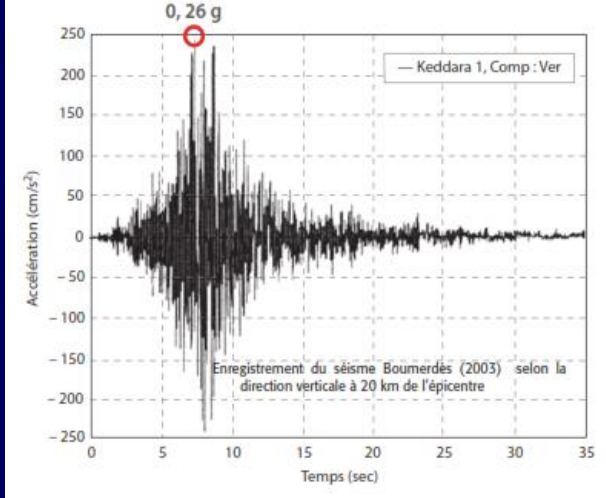
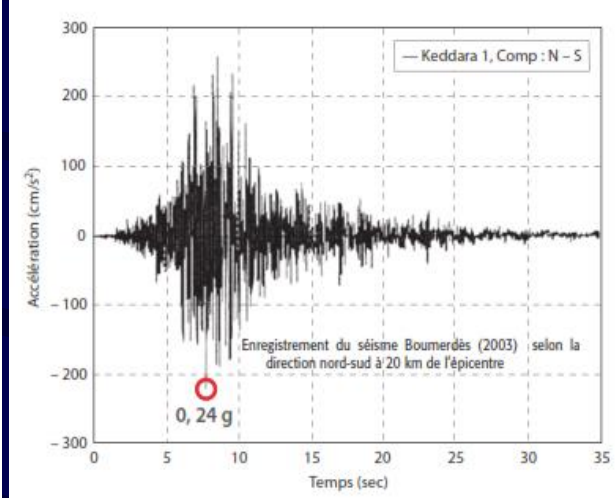
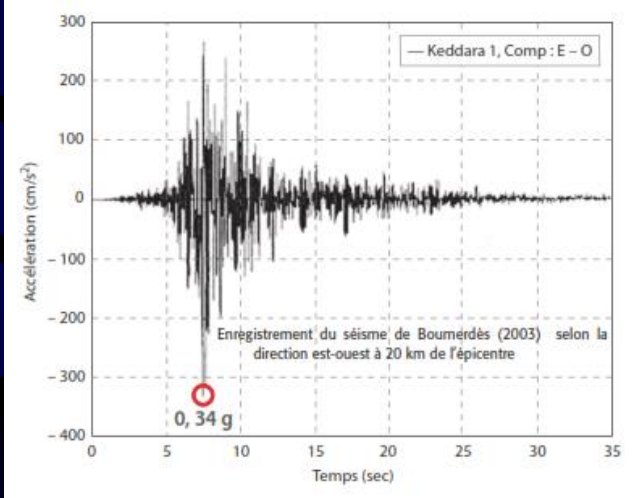
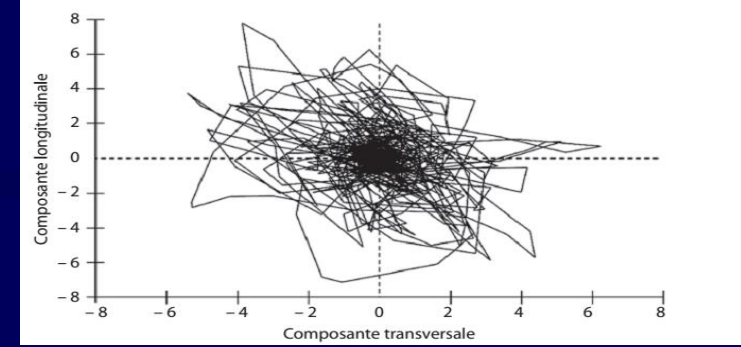
Les ondes de volume qui **arrivent à la surface** de la terre donnent naissance à des **ondes de surface** n'intéressant le sol que sur une profondeur extrêmement faible.

7.2. Les ondes de Surface: Les ondes de surface les plus importantes sont les suivantes :

- **les ondes de Rayleigh:** ce sont des ondes pour lesquelles les points du sol décrivent des ellipses dans le plan vertical et dans le sens rétrograde . Ce mouvement est semblable au mouvement de la houle et entraîne des compressions (ou des tractions), ainsi que des cisaillements dans le sol ;
- **les ondes de Love :** ce sont des ondes pour lesquelles les points du sol se déplacent dans un plan tangent à la surface et perpendiculairement à la direction de propagation . Leur mouvement en « lacet » n'engendre que des contraintes de cisaillement.



Le déplacement d'un point du sol pendant le séisme n'est pas compréhensible tel que on doit donc l'étudier distinctement suivant les trois directions principales. Pour chaque séisme, on dispose des enregistrements (accélérogrammes) suivant les trois directions : nord-sud, est-ouest et verticale



• Les dimensions d'une onde harmonique sont exprimées en termes de période T et de longueur L

vitesse de l'onde: $V = \frac{L}{T}$ fréquence de l'onde: $f = \frac{1}{T}$

En génie parasismique, la gamme de fréquences significatives s'étend de 0,10 à 10 Hz. Il en résulte que les longueurs d'onde sont de quelques centaines de mètres pour les bons sols et peuvent descendre à quelques dizaines de mètres dans des terrains superficiels de qualité médiocre

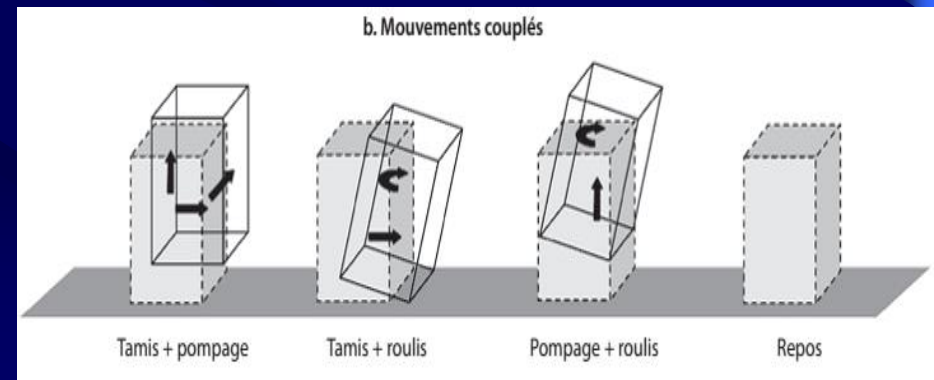
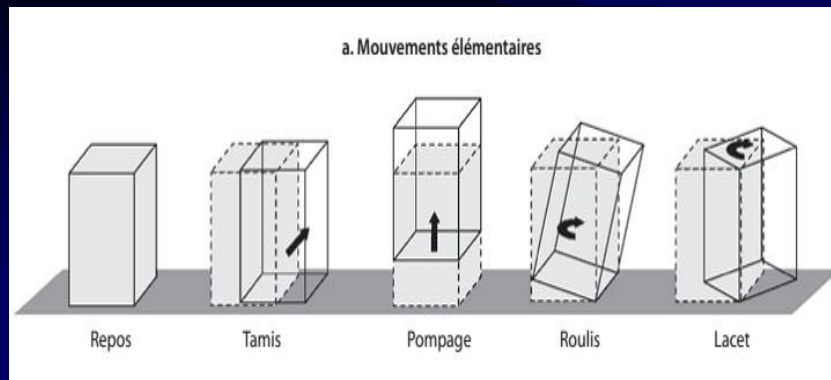
L'action des ondes est très bien mise en évidence par l'analyse des mouvements élémentaires d'un bloc rigide :

- les ondes longitudinales P à propagation verticale produisent un mouvement sismique de « **pompage** » → composante verticale, ascendante ou descendante ;
- les ondes de cisaillement S à propagation verticale produisent un mouvement sismique de « **tamis** » → composantes horizontales ;

Les ondes sismiques sont enregistrées par les stations A, B et C à des « **heurs différentes** »

- les ondes de surface, de Rayleigh à propagation horizontale, produisent un mouvement de « **roulis** » ;
- les ondes de surface, de Love à propagation horizontale, produisent un mouvement de « **lacet** » ;

».



8. Systèmes de mesures des séismes:

Le calcul, à partir d'une seule station, ne permet pas de déterminer la direction dans laquelle se trouve le foyer, mais en utilisant simultanément les enregistrements de plus de trois stations, on pourra déterminer sa position.

Les ondes sismiques sont enregistrées par les stations A, B et C à des « heures différentes »

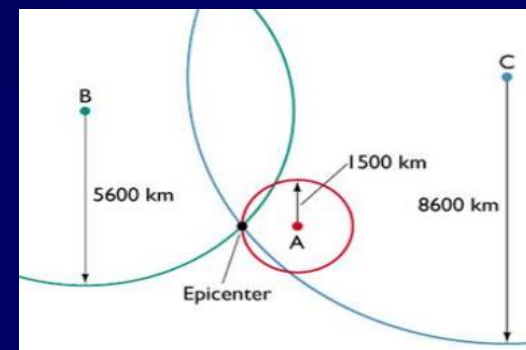
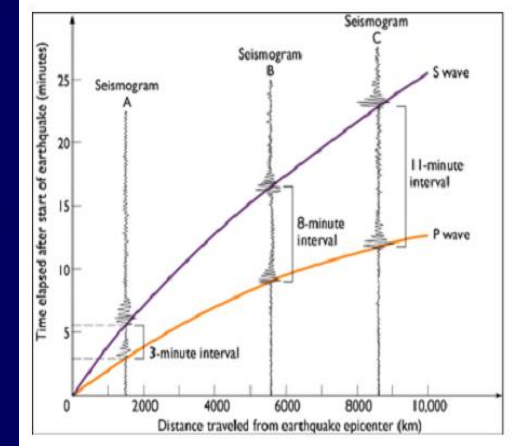
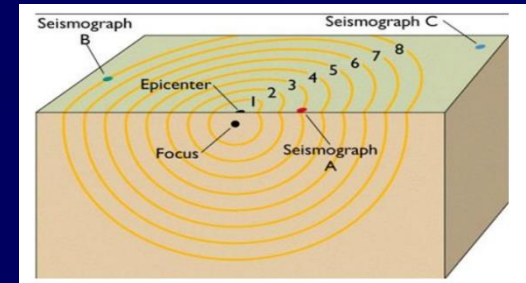
Cette figure montre les intervalles de temps entre l'arrivée des ondes P et S dans les trois stations A, B et C.

- Temps d'arrivée d'ondes P : $t_p = t_0 + \frac{d}{V_p}$
- Temps d'arrivée d'ondes S : $t_s = t_0 + \frac{d}{V_s}$

t_0 : temps origine et V_p : vitesse de l'onde P et V_s : vitesse de l'onde S

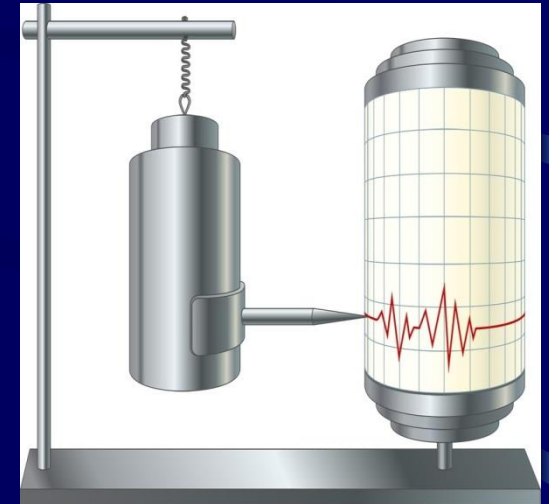
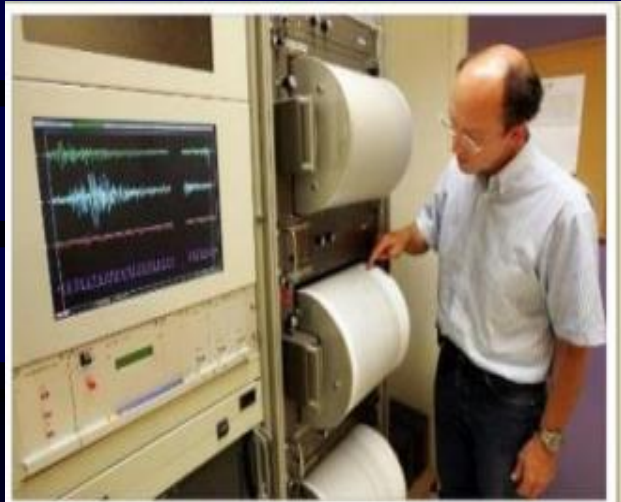
$$t_s - t_p = d \left(\frac{1}{V_s} - \frac{1}{V_p} \right)$$

Les cercles représentent le lieu géométrique de l'épicentre pour chaque station. Sachant qu'il s'agit d'un seul séisme, l'épicentre se trouve donc à l'intersection **des trois cercles**



Le sismomètre:

Un sismomètre est un capteur permettant de détecter les ondes générées par un séisme. Il peut détecter soit les vibrations verticales du sol, soit les vibrations horizontales. Pour décrire le mouvement de façon complète, il faut disposer de trois sismomètres : un vertical et deux horizontaux, que l'on place alors dans deux directions perpendiculaires, le plus souvent N — S et E — W.



Il fallait en général plusieurs appareils pour mesurer une telle activité des sols, puisque le sismomètre n'était alors capable de mesurer qu'une seule direction de mouvement.

Les sismomètres modernes sont ainsi truffés de technologies pour pouvoir mesurer, de façon extrêmement précise, les mouvements de la terre.

9. Caractérisation d'un séisme:

9.1. La magnitude : La magnitude d'un séisme (notée M) est un chiffre sans dimension, traduisant l'énergie libérée sous forme d'ondes sismiques par un séisme. Le calcul de la magnitude fut développé en 1935 par Charles Richter pour caractériser les séismes enregistrés localement en Californie. Ce calcul était basé sur la mesure de l'amplitude du mouvement du sol enregistrée sur un sismographe normalisé.

Richter a défini la magnitude en prenant le **logarithme décimal** de l'amplitude en micromètres.

Exemple : Un séisme situé à 100 km de distance qui produit sur le sismogramme une amplitude maximale de 2 mm (soit 2000 micromètres) a ainsi une magnitude de 3,3 car le logarithme décimal de 2000 est 3,3. Inversement, un séisme de magnitude 4.5 génère un sismogramme d'amplitude maximale $10^{4.5} = 30\ 000$ micromètres, soit 30 millimètres.

On parle depuis de l'échelle de Richter. Plus le séisme a libéré d'énergie, plus la magnitude est élevée : un accroissement de magnitude de 1 correspond à une multiplication par 30 de l'énergie et par 10 de l'amplitude du mouvement.. En réalité, sa valeur minimale est liée à la sensibilité du sismographe. Un sismographe très sensible peut enregistrer une magnitude de l'ordre de -2, équivalente à l'énergie dégagée par la chute d'une brique sur le sol d'une hauteur de 1 mètre. 21

On distingue plusieurs types de magnitudes :

a- L'échelle de Richter, ou magnitude locale, ML: La définition originale donnée par Richter en 1935, appelée désormais magnitude locale ML , est une échelle logarithmique simple de la forme

$$M_L = \log(A) - \log(A_0) + c + \log(\Delta)$$

A : représente l'amplitude maximale mesurée sur le sismogramme,

A₀: est une amplitude de référence correspondant à un séisme de magnitude 0 à 100 km,

Δ: est la distance épacentrale (km)

c : est une constante d'étalonnage.

Magnitude locale ML, utilisée pour des séismes proches dits séismes locaux. Elle est définie à partir de l'amplitude maximale des ondes P. Elle est toujours moyennée sur plusieurs stations en tenant compte des corrections locales.

b-Magnitude de durée MD: Utilisée pour des séismes proches mais définie à partir de la durée du signal

$$M_D = \log t + a + c \log \delta$$

Où t est la durée du signal mesuré en s,

a et c des constantes d'étalonnage et δ est la distance en km.

c-Magnitude des ondes de surface M_S : Utilisée pour les séismes lointains, dits télé-séismes, dont la profondeur est inférieure à 80km. Elle se calcule à partir de l'amplitude des ondes de surface. a et c des constantes d'étalonnage et δ est la distance en km.

$$M_S = \log(A/T) + a + c \log \delta$$

Où: A : est l'amplitude du mouvement du sol en μm ;

T : est la pseudo-période de l'onde mesuré en s ;

a et c : sont des constantes d'étalonnage ;

δ : est la distance en km ;

d-Magnitude des ondes de volume M_B : Définie pour tous les télé-séismes et en particulier pour les séismes profonds, car ceux-ci génèrent difficilement des ondes de surface. Elle est calculée à partir de l'amplitude de l'onde P qui arrive au début du sismogramme.

$$M_B = \log(A/T) + a + c \log \delta$$

Où A : est l'amplitude du mouvement du sol en μm , T : est la pseudo-période de l'onde mesuré en s, a et c : sont des constantes d'étalonnage

e-Magnitude de moment ou de Kanamori M_w : Mieux adaptée aux très gros séismes. Elle est calculée à partir d'un modèle physique de source sismique et est reliée au moment sismique m_0

$$M_w = \log\left(\frac{m_0}{1,5}\right) - 0.6$$

Il n'existe pas de véritable relation entre magnitude et intensité. Ainsi deux séismes de même magnitude peuvent donner en surface des intensités différentes. Inversement deux séismes de même intensité en un lieu peuvent avoir des magnitudes différentes.

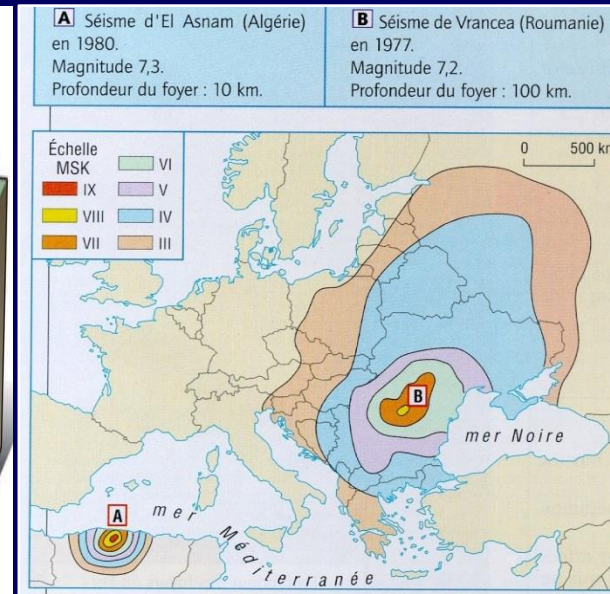
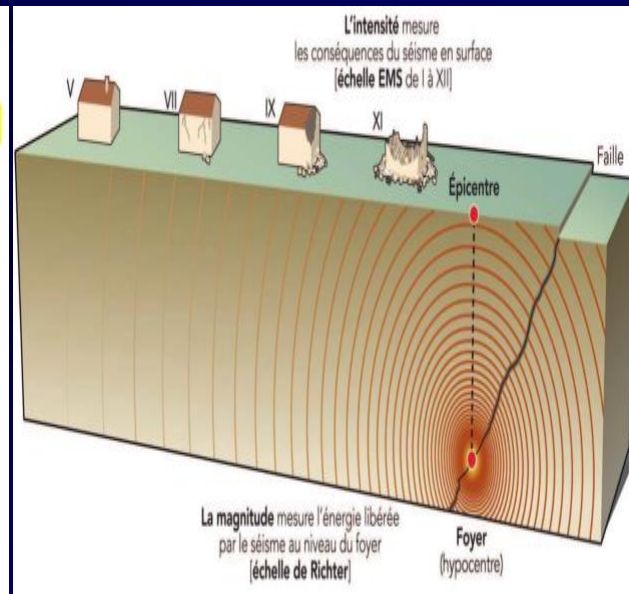
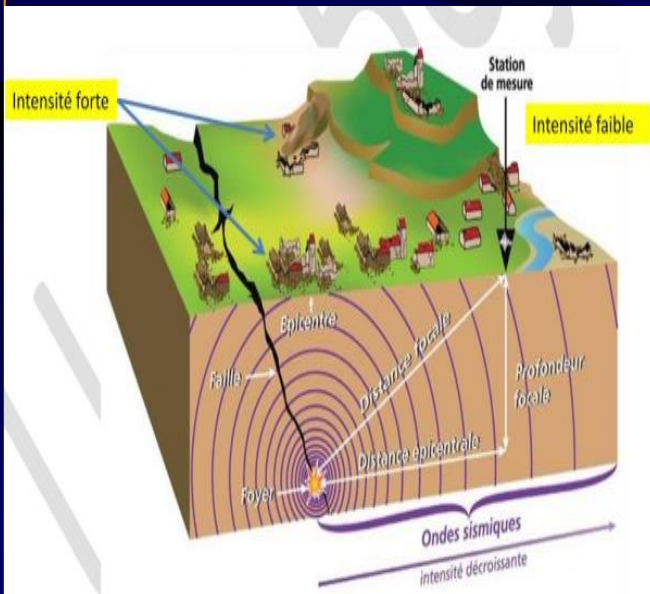
Moins de 1.9	Micro-séisme impossible à ressentir.
De 2.0 à 2.9	Micro-séisme impossible à ressentir mais enregistrable par les sismomètres.
De 3.0 à 3.9	Ne cause pas de dégâts mais commence à pouvoir être légèrement senti.
De 4.0 à 4.9	Séisme capable de faire bouger des objets mais ne causant généralement pas de dégâts.
De 5.0 à 5.9	Séisme capable d'engendrer des dégâts importants sur de vieux bâtiments ou bien des bâtiments présentant des défauts de construction. Peu de dégâts sur des bâtiments modernes.
De 6.0 à 6.9	Fort séisme capable d'engendrer des destructions majeures sur une large distance (180 km) autour de l'épicentre.
De 7.0 à 7.9	Séisme capable de destructions majeures à modérées sur une très large zone en fonction de la distance.
De 8.0 à 8.9	Séisme capable de destructions majeures sur une très large zone de plusieurs centaines de kilomètres.
Au dessus de 9	Séisme capable de tout détruire sur une très vaste zone.

Magnitude	Energie en J
0	
1	
2	$\sim 10^3$
3	$\sim 10^6$
4	$\sim 10^9$
5	$\sim 10^{10}$
6	$\sim 10^{13}$
7	$\sim 10^{15}$
8	$\sim 10^{17}$
9	sup à 10^{18}

9.2. L'intensité:

L'intensité sismique mesure la force d'un séisme et son effet sur une région donnée, les objets, les êtres humains et les infrastructures. Elle peut décrire la distribution probable des dommages et est dans ce cas appelée **intensité macrosismique**. Avec l'intensité comme paramètre d'entrée, il est possible de regrouper les structures caractérisées par un comportement sismique similaire et de définir des matrices de dommages appropriées.

En général, l'intensité diminue avec la distance mais des conditions particulières telles que des effets de site ou des effets de directivité liés à la position et à l'orientation de la source peuvent dans certains cas créer des anomalies dans les cartes



Plusieurs échelles d'intensité existent. Les plus anciennes étaient l'échelle de **Mercalli en 1902**. L'échelle **JMA (Japan Météorologique Agency)** est utilisée au Japon depuis **1952**. Des échelles les plus récentes, **Mercalli Modifiée en 1956**, comprend **12 niveaux**, et l'échelle macrosismique européenne **EMS-98**, ainsi et l'échelle Medvedev-Sponheuer-Karnik **MSK-64** prennent en compte la vulnérabilité des bâtiments, ce qui n'était pas le cas des premières échelles macrosismiques. Bien souvent, chaque pays utilise son échelle de prédilection pour des raisons historiques ou de continuité dans les catalogues macrosismiques :

- **Les Etats-Unis** utilisent l'échelle Mercalli Modifié
- **Les Japonais** utilisent l'échelle d'intensité instrumentale JMA (Japan Meteorological Agency).
- **Les Algériens** utilisent L'échelle macrosismique M.S.K (1964) du nom de trois sismologues (Medvedev-Sponheur-Karnik), plus précise que la précédente, prend en compte pour l'évaluation des dégâts, le type de construction et le pourcentage des bâtiments affectés
- **Les Italiens** utilisent le plus souvent l'échelle Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS, 1912 (Sieberg, 1932),
- **En Europe** l'échelle EMS98 est remplacé l'échelle MSK depuis l'année 2000

L'intensité, que l'on écrit en chiffres romains pour bien la différencier de la magnitude, permet de décrire les effets produits par le séisme en un endroit donné.

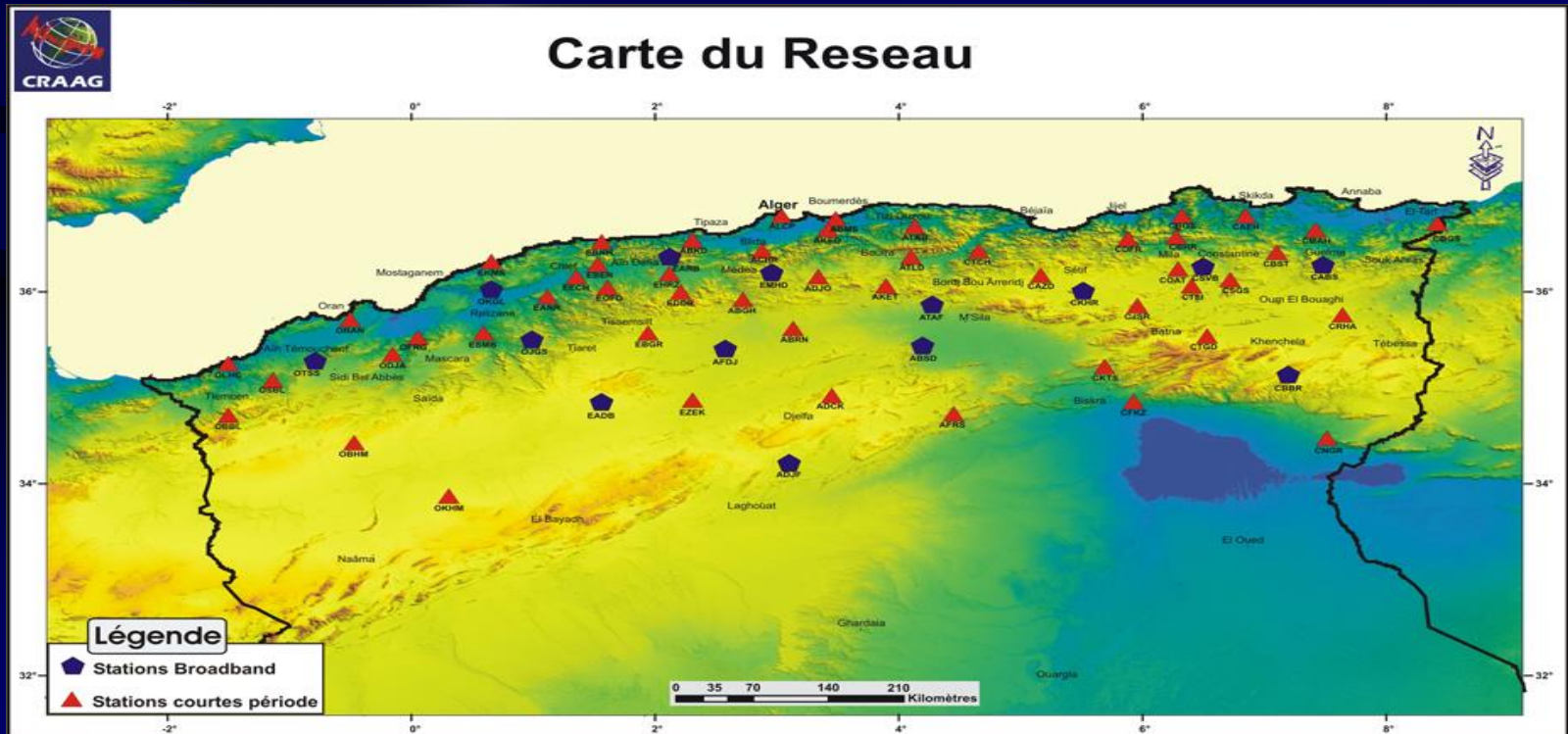
		EMS 98
I	<i>Imperceptible</i>	
II	<i>À peine ressenti</i>	Ressenti seulement par quelques rares personnes au repos dans leurs habitations.
III	<i>Faible</i>	Ressenti par quelques personnes à l'intérieur des bâtiments. Les personnes au repos ressentent une oscillation ou un léger tremblement.
IV	<i>Largement ressenti</i>	Ressenti par de nombreuses personnes à l'intérieur des bâtiments, par quelques rares personnes à l'extérieur. Quelques personnes endormies sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle font un bruit de tremblement.
V	<i>Fort</i>	Ressenti par la plupart des personnes à l'intérieur des bâtiments, par quelques personnes à l'extérieur. De nombreux dormeurs sont réveillés. Quelques personnes sont effrayées. Les bâtiments tremblent dans toute leur structure. Les objets suspendus oscillent nettement. Les petits objets sont déplacés. Les portes et les fenêtres s'ouvrent ou se ferment.
VI	<i>Dégâts légers</i>	De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent à l'extérieur des bâtiments. Quelques objets tombent. Quelques maisons subissent de légers dégâts non structuraux (légères fissures, chute de petits morceaux de plâtre).
VII	<i>Dégâts</i>	La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent à l'extérieur des bâtiments. Le mobilier est déplacé et les objets tombent des étagères en grand nombre. De nombreux bâtiments bien construits subissent des dégâts modérés (petits fissures dans les murs, chutes de plâtre, chutes partielles de cheminées). Des bâtiments plus anciens présentent des fissures dans les murs et des désordres au niveau des cloisons.
VIII	<i>Dégâts importants</i>	De nombreuses personnes éprouvent des difficultés à se tenir debout. De nombreuses maisons présentent des crevasses dans les murs. Quelques bâtiments bien construits présentent des désordres au niveau des murs, tandis que d'autres bâtiments plus anciens s'effondrent partiellement.
IX	<i>Destructeur</i>	Panique générale. De nombreuses constructions s'effondrent. Même les bâtiments bien construits présentent des dégâts très importants (désordres au niveau des murs et effondrement partiel des structures).
X	<i>Très destructeur</i>	De nombreux bâtiments pourtant bien construits s'effondrent.
XI	<i>Catastrophe</i>	La plupart des bâtiments bien construits s'effondrent. Quelques bâtiments construits selon les règles parasismiques sont détruits.
XII	<i>Catastrophe complète</i>	Presque tous les bâtiments sont détruits.

Echelle MSK	
Intensité	Effets produits en surface
Degré I	Secousse non perceptible
Degré II	Secousse à peine perceptible
Degré III	Secousse faible ressentie seulement de façon partielle
Degré IV	Secousse largement ressentie
Degré V	Réveil des dormeurs
Degré VI	Frayeur
Degré VII	Dommages aux constructions
Degré VIII	Destruction des bâtiments
Degré IX	Dommages généralisés aux constructions
Degré X	Destruction générale des bâtiments
Degré XI	Catastrophe
Degré XII	Changement de paysage

10. Le réseau algérien de surveillance et d'alerte sismique:

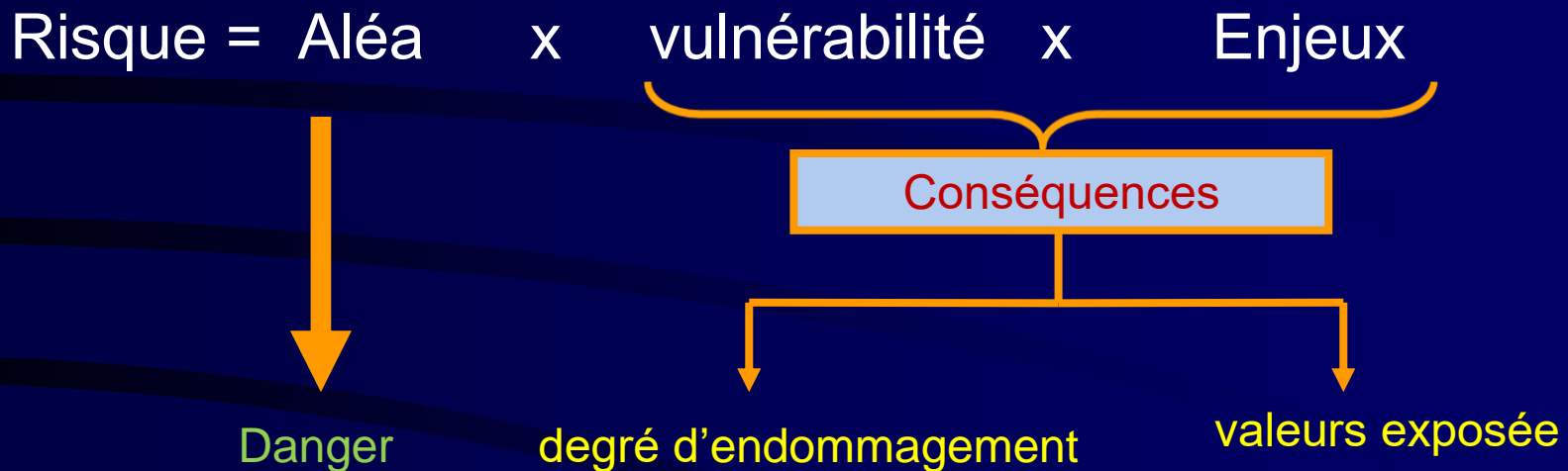
La surveillance sismique du territoire a débuté en Algérie en 1910 lorsque fût installée la première station sismologique à Bouzaréah.

Actuellement, Le réseau de surveillance sismique algérien est composé des 35 stations du réseau télémétré et des 45 stations digitales acquises récemment. Ce réseau couvre aujourd'hui la plus grande partie de région nord du pays, là ou se produit la plus grande activité du pays mais aussi dans la région de Tamanrasset ou une station est localisée au niveau de l'Observatoire de Tamanrasset.



Aléa sismique:

le risque sismique s'exprime comme la combinaison de l'aléa sismique, de la vulnérabilité des bâtiments et de la valeur exposée (ensemble des dégâts enregistrés d'ordre humain, économique et environnemental), selon la formule suivante:



L'aléa se définit comme la probabilité d'occurrence d'un événement destructeur d'une intensité donnée par une échelle macrosismique, sur une période donnée. Il est important de noter ici que l'aléa sismique, peut être modifié localement sur des zones plus réduites où les conditions du sol ou de la topographie, sont particulièrement défavorables (effet de site).

10. Étude d'un cas pratique d'aléa sismique (bassin CONSTANTINE-MILA):

En Algérie, le nord du pays est considéré comme une zone d'aléa sismique estimé modéré à fort. Selon le Centre de recherche en astronomie, astrophysique et géophysique « **GRAAG** », il se produit chaque mois environ une trentaine de micro secousses en général non ressenties par la population.

le bassin de Constantine se situe à une altitude plus importante.

Cette zone est limitée de :

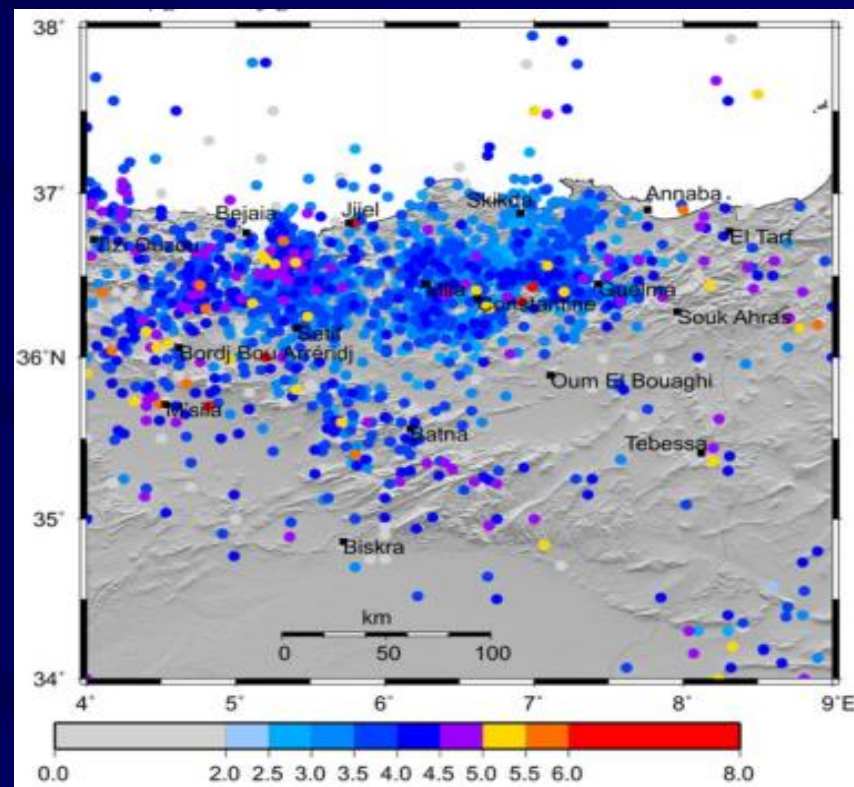
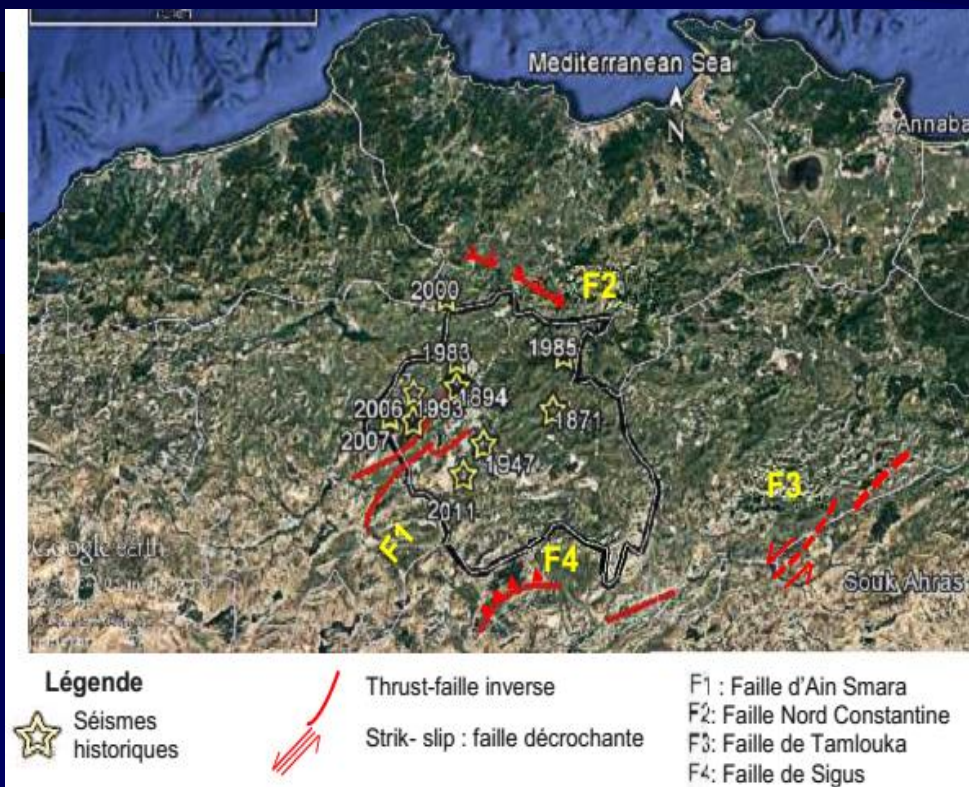
l'Est par le bassin de **Guelma** (précisément, par **la faille de Temolouka** qui sépare les deux bassins),

au Nord par le contact anormal qui sépare la zone interne de **la Petite Kabylie** et qui correspond à un et qui correspond à un important accident orienté , dite « **faille Nord Constantinois accident M'cid Aicha-Debar** »;

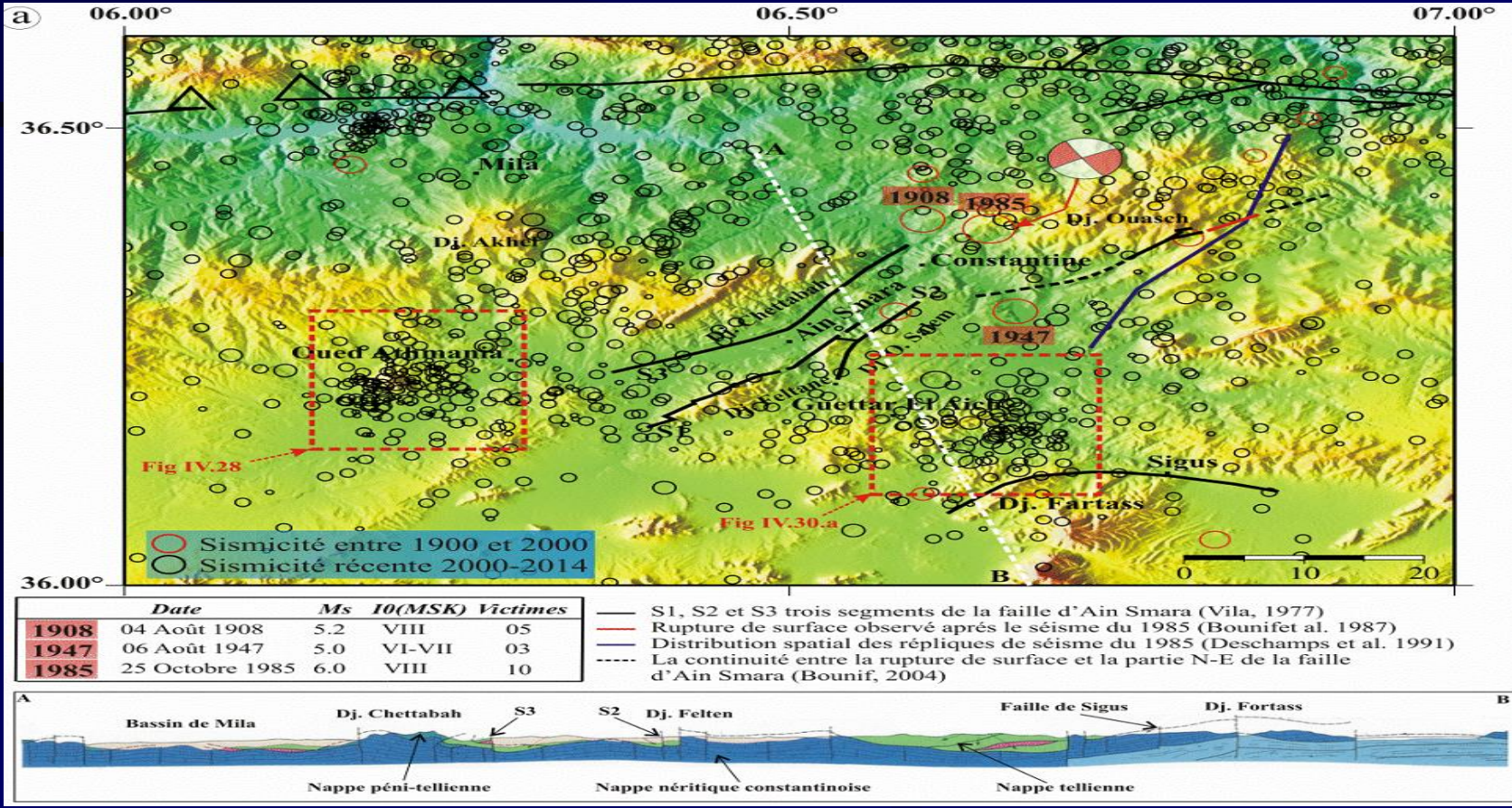
Au sud, la zone est limitée par **la zone de Batna** par la faille E-O de **Sigus**. **A l'Ouest**, la région de Sétif.

A l'intérieur de cette zone, nous avons trois failles néotectonique importantes, affectent les dépôts plio-quadernaires, il s'agit:

- La faille d'Ain Smara, reconnue active lors du séisme de Constantine du 27 Octobre 1985, s'étendent sur près de 30 km.
- La faille nord constantinois accident M'cid Aicha-Debar s'étendent sur plus de 80 km
- La faille du Sigus, orientée E-O et d'une longueur de près de 30 Km



Dans cette zone, on note l'occurrence de **trois séismes** historiques, avec une période de retour de 39 ans, qui sont : celui du **4 août 1908** de magnitude $M_s = 5.2$, celui du **6 août 1947** de magnitude $M_s = 5.0$ et celui **27 octobre 1985** de magnitude $M_s = 6.0$. Ces trois événements sont liés à l'activité de la faille d'Ain Smara. Il apparait ainsi utile de rappeler quelques éléments caractéristiques de ce séisme.



La Sismicité récente de la région de Mila: L'analyse de la sismicité dans cette zone a montré que celle-ci se concentrait au niveau :

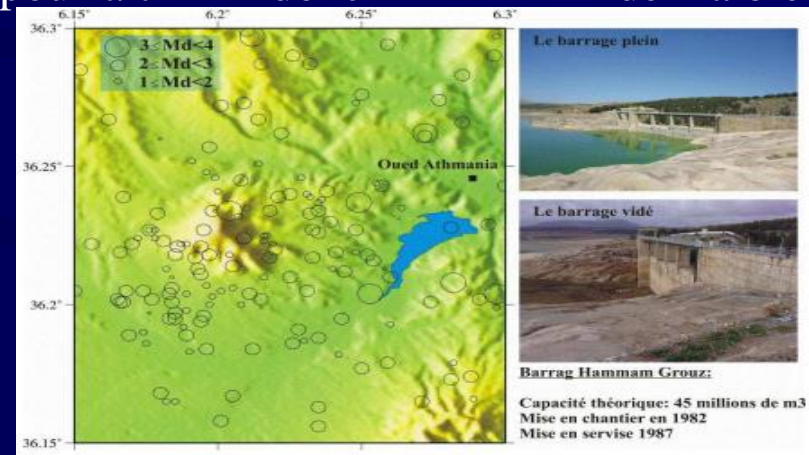
a) **La région du barrage de Hammam Grouz (bassin de Mila).** La sismicité est concentrée à l'ouest du barrage. Ce barrage d'une capacité initiale de 45 millions m³

La dégradation de l'ouvrage, dès l'année 2003 a entraîné d'énormes fuites d'eau avec des fuites dépassant les 200 l/s, La sismicité de cette zone pourrait être donc considérée de faible magnitude $M_d \leq 3.5$. Elle serait liée peut être aux

fuites au niveau du barrage de Grouz. Nous avons noté que le premier évènement a été détecté en 2003 avec une magnitude de 1.7, coïncidant avec les premières fuites constatées. Le nombre d'évènements a ensuite

augmenté de façon considérable à partir de l'année 2007

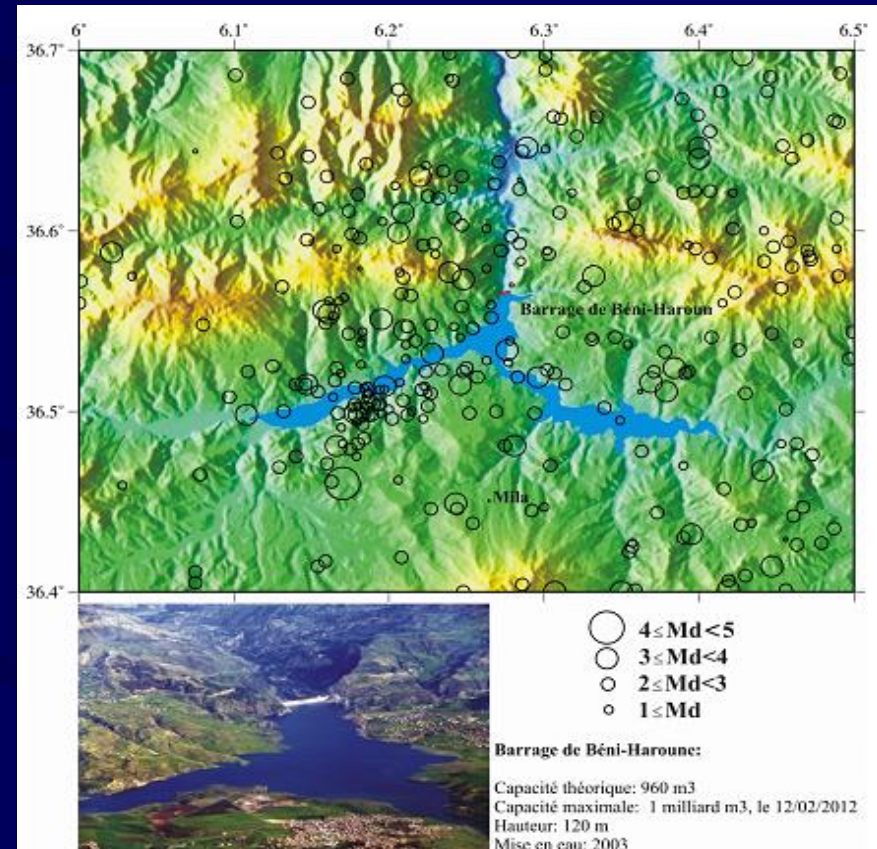
La région nord de Constantine : Cette zone de failles s'étend sur plus de 80 km, du Djebel M'cid Aïcha à l'Ouest, jusqu'au Djebel Debar (nord de Guelma), La sismicité autour de cet accident est caractérisée par de faibles magnitudes. A l'ouest de cet accident on trouve le plus grand barrage en Algérie, le barrage de Béni-Haroun.



Le barrage de 120 m de hauteur, est le plus important de par sa capacité de près d'un milliard de m³. Avec sa grande station de pompage, dont la puissance est de 180 MW, le barrage alimente en eau potable plusieurs régions limitrophes de la wilaya de Mila, notamment les wilayas de, Constantine, Oum el Bouaghi, Batna et Khenchela.

La sismicité autour du barrage de Beni Haroun est étudiée sur une période de 5 mois entre Décembre 2011 et Avril 2012. Cette période correspond au moment où le barrage fût rempli à sa capacité maximale pour la première fois le 12 Février 2012 une station CBHR a été installée sous la digue de ce barrage équipée avec un digitaliseur Q330 et un sismomètre SS-1 uni-composant de Kinometrics installée sous la digue du barrage.

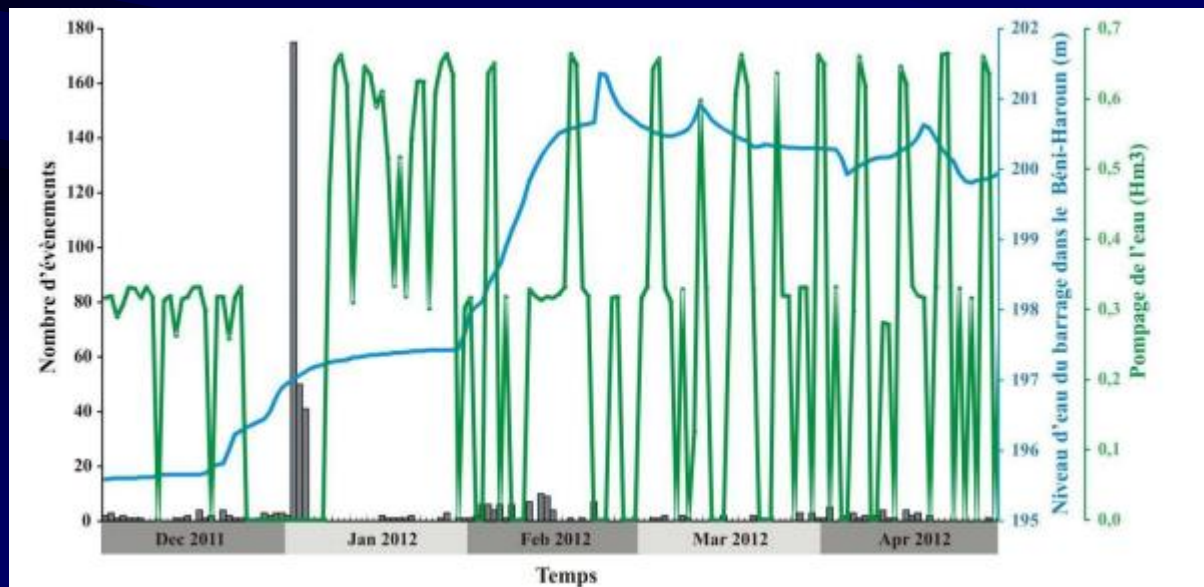
Deux crises sismiques ont été enregistrées : la première au début du Janvier 2012, où la station a été enregistrée 266 évènements pendant 3 jours du 02 au 04 Janvier 2012 dont 175 évènements ont été enregistrés le 02 Janvier.



Cette sismicité coïncide exactement avec le changement brusque du niveau d'eau dans le barrage qui a augmentée de 7 m de hauteur.

La deuxième activité matérialisé par 63 évènements, dont 10 ont été enregistrés le 03 Février 2012 s'est produite juste après que le barrage ait atteint un pic historique de 1 milliard de m³ le 12 Février 2012 avec une augmentation de 3 m de hauteur pendant les 15 jours .

Donc, cette sismicité dans cette zone est considérée comme induite et est liée au remplissage du barrage de Béni-Haroun. L'augmentation du niveau du barrage conduit donc à une surcharge de la zone et déstabilise l'équilibre des masses. Le rééquilibrage de barrage de Béni-Haroun est concernée par un deuxième risque majeur qui est celui des glissements de terrain.



Seisme de 07 Aout 2020: Selon le Centre de recherche en astronomie astrophysique et géophysique (Craag), une secousse tellurique de magnitude de 4,9 a été enregistrée à 7h15, dans la wilaya de Mila. Son épicentre a été localisé à 2 km au sud-est de Hammala.

Vers 12h13, une réplique toute aussi forte a été ressentie par les habitants de Mila ainsi que ceux des wilayas limitrophes. Selon le Craag, elle est d'une magnitude de 4,5 sur l'échelle ouverte de Richter. L'épicentre de cette 2eme secousse a été localisé à 3 km au sud de Hammala. Résultat : panique générale et beaucoup d'habitations endommagées.

Selon la Protection civile, 3 construction se sont complètement effondrées tandis que d'autres ont vu leurs piliers lézardés. Dans le détail, il s'agit de deux habitations dans la vieille ville et d'une autre de 4 étages située dans le quartier El Kherba.

Finalement les autorités locales sont déclaré la cité Elkherba zone rouge.

Chronologies des secoues sismiques :

- Le 17/07/2020/: 9h 12min ; M= 4.5
- **Le 17/07/2020/: 10h 45min ; M= 3.2**
- Le 17/07/2020/: 10h 49min ; M= 3.4
- Le 17/07/2020/: 11h 17min ; M= 3.4
- Le 17/07/2020/: 13h48min ; M= 3.4

- **Le 20/07/2020/: 5h 56min ; M= 3.2**
- **Le 01/08/2020/: 5h 56min ; M= 3.2**
- **Le 07/08/2020/: 7h 15min ; M= 4.9**

