

N° d'ordre :

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement
Supérieur Et de la Recherche
Scientifique
Université Mohamed Ben
Ahmed ORAN 2



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة محمد بن أحمد
وهران 2

Faculté des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences de la Terre
Mémoire :
Présenté pour l'obtention du grade de master en Science de la terre
Option : Risques Naturels et Gestion

Etude D'aléa sismique de la région Chélif

Présente Par :

Mr. LAKHDARI Mohammed

Mr. SASSI Mohamed Yacine

Soutenu le : 25 / 09/ 2017, devant la Commission d'examinations

Mr. MANSOUR.H (Pr) université d'Oran 2
Mr. NADJIM (Dr) université d'Oran 2
Mr. FOUKRACHE.M (Dr) université d'Oran 2

Président
Encadreur
Examinateur

Oran, 2017

Remerciement

*A l'heure de terminer ce mémoire, nos plus chaleureux remerciements vont naturellement à notre encadreur Monsieur : **Nadji Abdelmansour** enseignant au département des sciences de la terre de l'université d'Oran 2.*

*Nous remercierons aussi les membres du jury monsieur **Foukrache Mohammed** en qualité d'examineur et le Pr. **Hamidi Mansour** d'avoir d'accepter de présider ce travail. Nos remerciement vont également à tous les enseignants qui nous durant notre cursus de formation.*

En fin, nous adressons nos remerciements à tous ceux qui nous ont aidé à accomplir ce travail avec les fructueuses réflexions admises.

Dédicace :

ALLAH

Le créateur, le tout miséricordieux, le très miséricordieux pour m'avoir assisté dans ma vie

Jusqu'ici

Qu'ALLAH nous pardonne

Qu'ALLAH nous guide dans le bon chemin

A ma très chère mère

Je sais que tu as beaucoup supporté pour notre bonheur...j'espère que ce jour....

Tu seras la plus heureuse au mondeJ'espère que tu es fière de moi.....

Que dieux vous garde et vous prête une longue vie. Sans vous je ne suis rien.

Je t'aime.....

A mon cher père

Unique et irremplaçable, aucune dédicace ne saurait exprimer la reconnaissance, le respect et l'amour que je vous porte. Votre aide, vos encouragements et vos prières m'ont été d'un grand secours tout au long des mes études. Vous êtes pour moi l'exemple du sérieux et de la droiture. Que

deux vous garde et vous prête une longue vie.

A mes très chers/e frères et sœurs :

Abd elkader, Aicha, Nedjema, Oum kaltoum, Fatima, Djemaa, Ali, Mohammed, Ilyas

*À l'amour de ma vie et de la personne la plus chère sur mon cœur, mon amour et ma vie **Imane** Vous avez toujours été présentes pour moi. Je vous souhaite à l'avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je vous exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.*

Que dieu vous protège et consolide les liens scars qui nous unissent.

A mes cher (e)s ami (e) et collègues, au niveau de l'université.

En souvenir des moments agréables passés ensemble, veuillez trouvez dans ce travail L'expression de mes sentiments les plus respectueux avec mes vœux de succès, de bonheur et de bonne santé

A tout qui m'aiment et que j'aime

LAKHDARI MOHAMMED

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents .Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'Amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie.

*A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenue tout au long de ce projet : A mes frères **Imad Eddine Hayat** et **Naziha**, sans oublié ma grand-père que j'aime.*

A toute ma famille, et mes amis,

*A mon binôme **Mohammed Lakhdari** et toute la famille sassi natech.*

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

SASSI MOHAMED YACINE

Résumé :

La région du Chélif a connu au cours de son histoire événementielle, de nombreux séismes déstructures dont l'intensité macrosismique majeures dépassant les 10 degrés ($I_0 \leq X$) à l'échelle 'MSK' et les magnitudes extrêmes ($M_s \leq 07$) à l'échelle de Richter. Dans ce contexte, nous devons souligner que durant le dernier siècle deux événements majeurs se sont manifestés sur cette région à un intervalle de temps de 26 ans, à savoir le séisme de Orléansville 09/09/1954 de magnitude ($M_s=6.7$) et le séisme d'el-Asnam : 10/10/1980 de magnitude ($M_s=7.3$). Ce dernier tremblement de terre est bien étudié par la communauté scientifique nationale et étrangère, vue l'importance des empreintes séismiques et les effets consentis sur les terrains déprimés et sur les reliefs de cette région.

Notre travail étant focalisé notamment sur la modélisation d'aléa sismique régional, calculé à partir de données sismiques, tirées des inventaires macrosismiques et catalogues nationaux et étrangers .pour cette tâche fastidieuse, nous avons exercé plusieurs méthodes contribuant à l'estimation de l'aléa par les approches : fréquentielle de Gutenberg Richter et en proba-statistique de Gumbel. Les résultats obtenues en ce domaine sont très encourageantes vu le succès obtenu des corrélations entre résultats de notre modélisation et des travaux de recherche antérieurs.

Les paramètres sismogènes de la région évoqueront les courbes de probabilité d'occurrence événementielles qui traduisent l'évolution de l'aléa sismique régional qui à leur tour contribueront à l'établissement de cartes thématiques spécifiques a l'aléa sismique de la région. Une suite aussi importante de cette recherche été réservée à la prévention du risque sismique qui dépend des périodes d'observations de projet qui sont imposées depuis le début de notre exercice. Ce travail semble définir une synthèse sur l'activité sismique régionale du Cheliff et qui peut contribuer favorablement à résoudre le problème d'aménagement du territoire et du génie civil, en cas de risque sismique major.

Mots clés : région de Chélif- Catalogue séismicité régional- Méthode fréquentielle – aléa séismique- Prévention séismique – cartographie thématique d'aléa séismique.

Abstract:

In the course of its history, the Chelif region has experienced numerous destructural earthquakes, the major macro-seismic intensity of which exceeds 10 degrees ($I_0 \leq X$) on the MSK scale and the extreme magnitudes ($M_s \leq 07$) 'Richter scale. In this context, we must emphasize that during the last century two major events occurred in this region at a time interval of 26 years, namely the Orléansville earthquake 09/09/1954 of magnitude ($M_s = 6.7$) and the earthquake of el-Asnam: 10/10/1980 of magnitude ($M_s = 7.3$). This last earthquake is well studied by the national and foreign scientific community, considering the importance of the seismic fingerprints and the effects on the depressed lands and the reliefs of this region. Our work being focused on the modeling of regional seismic hazard, calculated on the basis of seismic data taken from macrosystemic inventories and national and foreign catalogs. For this tedious task, we carried out several methods contributing to the estimation of the hazard by the approaches: frequency of Gutenberg Richter and proba-statistic of Gumbel. The results obtained in this field are very encouraging given the success of the correlations between the results of our modeling and previous research.

The seismogenic parameters of the region will evoke the event probability curves which reflect the evolution of the regional seismic hazard which in turn will contribute to the establishment of thematic maps specific to the seismic hazard of the region. An important part of this research was devoted to the prevention of seismic risk, which is the result of periods of project observations that have been imposed since the beginning of our fiscal year. This work seems to define a synthesis on the regional seismic activity of the Chlef and which can contribute favorably to the problem of land-use planning and civil engineering in case of major seismic risk.

Keywords: Chlef region- Regional seismicity catalog- Frequential method - seismic hazard - Seismic prevention - seismic hazard thematic mapping.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Sommaire

Introduction général.....01

Premier chapitre : Généralités

II. Cadre géographique général.....03

II. Cadre géologique général.....04

III. Cadre structural.....08

Deuxième chapitre : Historique de l'asismicité en Algérie et de la région de Chélif

I. Introduction.....10

II. Historique de l'asismicité en Algérie.....11

II.1.l'inventaire l'activité sismique depuis l'antiquité12

II.2. l'activité sismique depuis 1365.....13

II.3. les séismes menaçant en Algérie16

II.4. Les zones sismiques en Algérie.....16

III. Historique sismique de la région de chlef.....17

III.1. Les principe crise séismique de région chlef19

III.1.1-La crise déclenchée par le choc de 192219

III.1.2-Crise de 1934 : 5 ,7, 30, et 7 novembre 1934.....19

III.1.3-Crise de 1954.....19

III.1.4-Crise 1980.....19

VI.les séismes principaux affectant la ville de chlef.....20

IV.1. Séisme de 195422

IV.1.1. Description de l'épicentre du séisme 09 septembre 1954.....24

IV.2. Le séisme d'El Asnam du 10 octobre 1980.....26

IV.2.1. modélisation de la déformation de surface du séisme d'El Asnam.....27

IV.2.2.Conséquences du séisme D'El Asnam 10.10.190.....31

IV.2.2.1. Effet du séisme sur le bâti.....34

IV.2.2.2. Effets du séisme sur le terrain.....35

IV.2.2.3. Effets du séisme sur les réseaux vitaux et les ouvrages d'arts.....35

Troisième chapitre : Modélisation fréquentielle de sismicité

Régional de Chélif

I. Modélisation fréquentielle de sismicité régional de Chelif.....	37
I.1. Approche de Gutenberg Richter (1954).....	38
I.2. Approche de Gumbel (1958).....	41
II-Comparaisons entre résultat obtenu de deux méthodes d'alea.....	43

Quatrième chapitre : Cartographié d'aléa sismique

De la région Chélif

I. Introduction.....	44
II. Organigramme de la démarche d'évaluation d'aléa sismique	45
III. Paramètres d'évaluation de l'aléa.....	45
IV. Approche déterministe d'évaluation de l'aléa.....	47
IV.1. Loi d'atténuation des (PGA).....	47
V. Calcul d'aléa sismique de la région chlef.....	47
VI. Cartographié d'aléa sismique de la région.....	52
VI.1. Carte d'aléa sismique de période 50 ANS.....	52
VI.1.1 Interprétation de la carte d'aléa sismique de Chélif période 50.....	54
VI.2. Carte d'aléa sismique de période 100 ANS.....	54
VI.2.1 Interprétation de la carte d'alea sismique de Chélif période 100ans.....	56
VI.3. Carte d'aléa sismique de période 200 ANS.....	56
VI.3.1 Interprétation de la carte d'aléa sismique de Chélif période 200 ans.....	58

Conclusion général

Conclusion général.....	59
-------------------------	----

Références bibliographie

Liste des figures

Liste tableaux

Annexe

Introduction générale :

L'Algérie fait partie de la plaque tectonique africaine qui s'étale sur une grande superficie et ne constitue qu'une petite rigide de la croûte terrestre ; qui flotte sur le manteau supérieur de l'asthénosphère terrestre. Bien que ce mouvement de ce segment reste relativement lent par rapport à notre échelle d'observation, le cumul des vecteurs de déplacement différentiels des unités séismotectoniques peut atteindre désormais plusieurs dizaines de kilomètres à l'échelle géologique exprimée sous forme de nappes de charriage et de langues de subduction intercontinentales.

La région de Chélif occupe une position centrale de cette partie septentrionale tellienne de l'Afrique du Nord, où on registre plusieurs manifestations séismotectoniques, au niveau des marges littorales de l'Oranais et des zones de collision, en position plus ou moins internes, mettant en relief les principaux édifices de la morpho-structurale connue par les monts de Dahra et les monts de l'Ouarsenis, les terrains de cette région sont à réputation instables vu le passage du grand axe séismotectonique qui délimite la plaque africaine de la plaque eurasienne.

En géologie régionale, on notera la présence des contraintes tectoniques de convergence qui génèrent un faisceau de failles inverses, de plis et d'accidents décrochantes parcourant d'importantes morpho-structures de la zone tellienne, en effet la région du Chélif se situe en zone intermédiaire entre les segments des chaînes telliennes des monts de Dahra de l'Ouarsenis, aux limites géographiques comprises entre les longitudes (0.5° - 1.5°) Est et les latitudes (35° - 37°) Nord.

Comme notre étude doit traiter la modélisation de l'aléa sismique régional et la prévention sismique sur l'ensemble de la wilaya Chélif, on souligne que notre tâche est désormais difficile sans faire recours aux données multidisciplinaires fiables telles que : la géologie structurale, la sismologie, la séismotectonique et la géomorphologie. Notant bien que l'exercice entrepris pour évaluer l'aléa sismique de cette région n'a été possible sans tenir compte du traitement de données sismiques et l'homogénéisation des catalogues nationaux (CRAAG) et étrangers (IGN et d'ISC..).

Les méthodes proposées par l'encadreur ont été objectives pour résoudre la modélisation de l'aléa régional par les voies combinées (probabiliste et de proba-statistiques). En effet, nous avons intégré les données sismiques décennales de la sismicité instrumentale pour mieux approcher la résolution de la courbe fréquentielle de Gutenberg Richter. Dans une seconde étape nous avons appliqué la méthode statistique de Gumbel qui estime mieux les valeurs

Introduction Générale

extrême des magnitudes (majorés) et leur période de retour les résultats obtenus lors de cette modélisation sont probantes et ont permis l'établissement d'une cartographie thématique des aléas sismiques grâce à la systématique de calcul des fréquences d'occurrences sismiques $N(M_s)$ et l'extrapolation des périodes de retour (T_r) pour différents temps de projet. En fin, l'interprétation de ces différentes cartes thématiques ont contribué à la résolution, en partie, du problème de risque sismique régional attendu pour les temps imposés (temps de projet) qui sont respectivement arrêtés en période $T_r=50$ années, $T_r=100$ années, $T_r=200$ années.

II. Cadre géologique général :

L'étude géologique de la région d'étude est basée sur la synthèse des travaux majeurs effectués par plusieurs auteurs : Gentil , 1981 , Perrodon, 1957, Mattauer, 1958 , Polveche , 1960 ; Aneur , 1979 ; Thomas, 1985 ; Meghraoui, 1982 et 1988 ; Achour, 1997 ; et bien d'autres.

Le bassin du Chélif appartient au bassin néogène de l'Algérie Centro-occidentale, qui s'aligne parallèlement à la cote méditerranéenne format des zones peu élevées par rapport aux chaînes secondaires plissées qui les encadrent (fig.02) (Achour, 1997).

L'histoire est étroitement liée aux phases ultimes et paroxysmales de l'Orogenèse Alpine. Le bassin du Chélif est un bassin subsidant de type intra montagneux fonctionnant en graben le long de grandes flexures bordières (Perrodon, 1957).

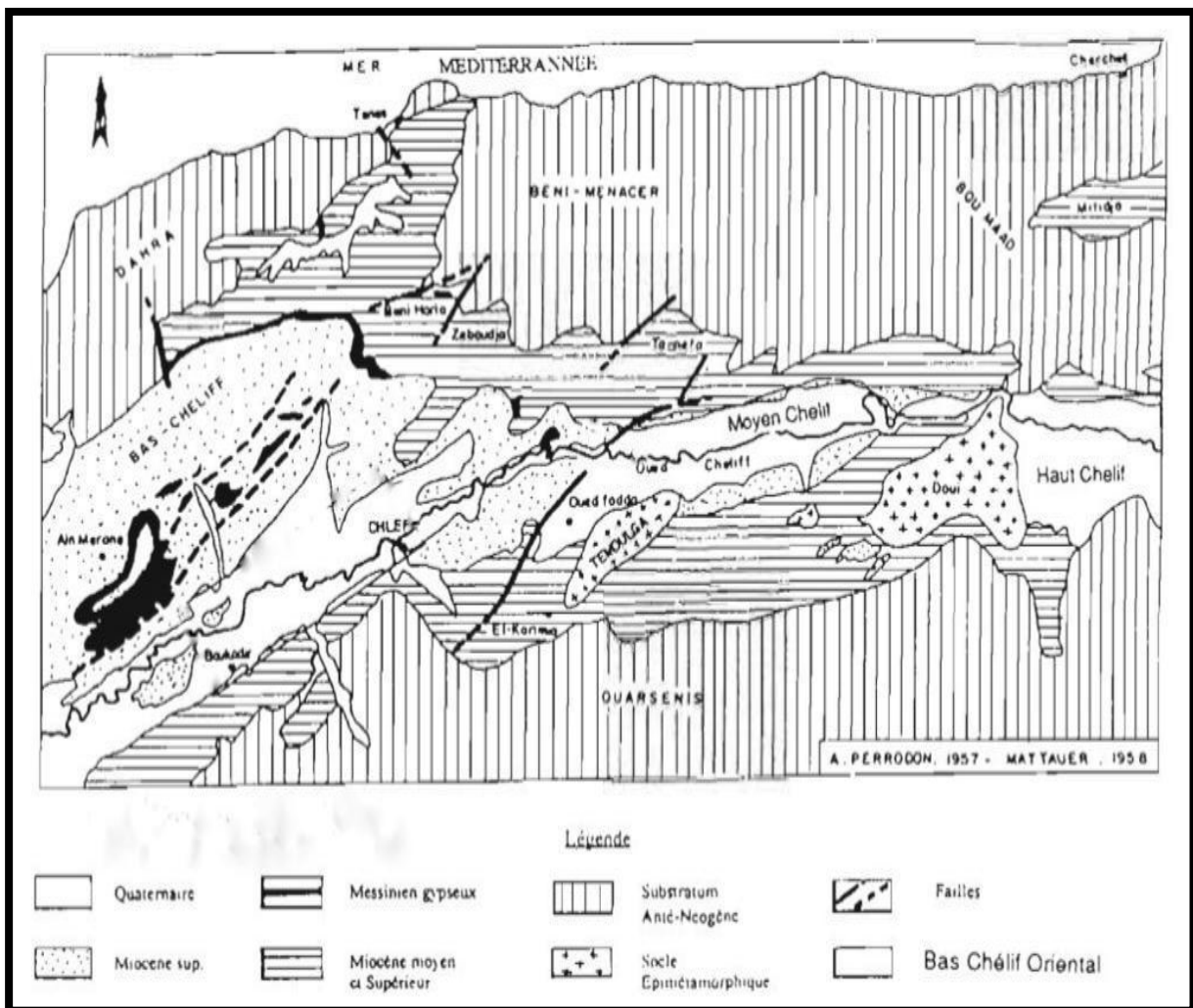


Figure 02 : Cadre géologique général (Perrodon, 1957-Mattauer, 1958)

Les structures étant allongées Est-Ouest, la tectonique est complexe. Les principaux éléments de cette chaîne sont

- Des noyaux autochtones : le Doui, Rouina et le Temoulga, qui sont des massifs épi-métamorphiques à Schistosité (Kirech, 1977).
- Des ensembles allochtones (nappes de charriage) : recouvrant une grande surface. Ils forment la majeure partie des formations qui se sont mises en place lors de la différente phase tectoniques alpines (Éocène moyen et Miocène inférieur).

On distingue trois grands ensembles : nappes A, nappes B, nappes C, elles mêmes subdivisées en sous unités (Mattauer, 1958).

- Les nappes A : elles occupent les zones les plus externes au sud du bassin et constituent une partie des Monts de l'Ouarsenis. Le faciès est représenté par le crétacé marno-gréseux et le traîs gypsifère.
- Les nappes B : leur position est intermédiaire entre les zones internes et externes. Le faciès est essentiellement flyschoidé à marneux renfermant des blocs de quartzite et de calcaire. Ces terrains couvrent une grande surface de part et d'autre du bassin du chlef.
- Les nappes C : elles reposent sur tous les édifices des deux nappes antérieures. On les retrouve dans le Dahra au nord et à l'Ouarsenis occidental. Il s'agit de terrains Oligo-Miocène grés-micacés. Ses déplacements atteignent de ce fait 50 à 100 km.

les formations Néogènes et Quaternaires post-nappes (fig.02)

Les terrains néogènes qui correspondent aux dépôts moi-plio-quaternaires post-nappes reposent directement en discordance sur le substratum.

Ces dépôts, d'une épaisseur sériée, sont essentiellement marins allant du Miocène inférieur au Pliocène inférieur et ont un caractère marneux dans les zones centrales subsidences avec quelque dépôt détritique en bordure.

La sédimentation continentale s'installe et fait suite à ces dépôts marins depuis le pliocène supérieur au quaternaire et continue à l'actuel.

- **le Miocène inférieur** (Burdigalien) : généralement transgressif sur les différents termes la série stratigraphique est représentée par une série de marnes bleues. La transgression est bien soulignée par des niveaux de base très détritiques, de puissance et de faciès très variable. Ces faciès passent latéralement et verticalement à des grès marneux marins ou conglomérats marins ou continentaux. D'importants affleurements de Miocène inférieur apparaissent le long du massif de l'Ouarsenis et dans le Dahra.

- **Le Miocène supérieur** (Vindobonien) : après les importants mouvements tectoniques qui sont succédé au dépôt du Miocène inférieur, l'Ouarsenis a une nouvelle fois été envahi par la mer Miocène. Mais celle-ci ne recouvre que la partie septentrionale de la région, la partie méridionale reste émergée, elle donne naissance à d'importantes formations d'étriques qui se mêlèrent aux dépôts marins du bassin du Cheliff. Se caractérise par une transgression généralisée qui se termine par un épisode lagunaire.

Il se subdivise en quatre niveaux :

- Les marnes bleues avec leur niveau généralement détritique.
- Les calcaires à lithothamnium.
- Les tripolis et marnes à tripolis.
- Les gypses et les marnes gypseuses.

Le Pliocène se distingue par un Pliocène marin (Plaisancien – astien) et un Pliocène continental.

- **Le pliocène inférieur** (Pliocène marin)
 1. **Le Plaisancien** : comporte des marnes bleues qui se différencient difficilement des marnes bleues Miocène. L'épaisseur de cette formation varie de 0 à plus de 700 m des bordures aux zones axiales du bassin.
 2. **L'Astien** : représenté par une série marine finement sableuse ou gréseuse. Cette série affleure sur les plateaux du Dahra et plonge régulièrement sur les plaines. L'épaisseur moyenne de cet ensemble est d'une certaine de mètre et s'amincit régulièrement sur les bordures du bassin présentant localement des lentilles de marnes.
- **Le Pliocène Supérieur** (Continental – Villafranchien) est discordant. Il scelle les déformations antérieures. Un épisode compressif déforme les niveaux continentaux du Pliocène suivant des plis Est-Ouest. Au sud de Chélif sur la bordure de l'Ouarsenis, le Pliocène disparaît complètement. A ce niveau, le Quaternaire vient recouvrir directement les calcaires gréseux du Miocène supérieur.

Le Quaternaire : dans la bordure Sud-Tellienne et dans la dépression du Chélif, les dépôts Quaternaires forment de notables flancs qui sont vastes.

- **Quaternaire ancien** : le Quaternaire ancien est constitué par des alluvions grossières essentiellement conglomératique, représentées par des galets, des graviers et des sables.
- **Quaternaire récent** : généralement, le Quaternaire récent correspond à des alluvions dont le caractère essentiel est la prédominance des éléments fins (limons) dérivés

principalement des marnes Miocènes, ces limons correspondent à d'anciennes vases asséchées. Le Quaternaire récent est composé d'horizons sablo- gréseux évoluant vers des niveaux à poudingues qui atteignent parfois 30 m d'épaisseur.

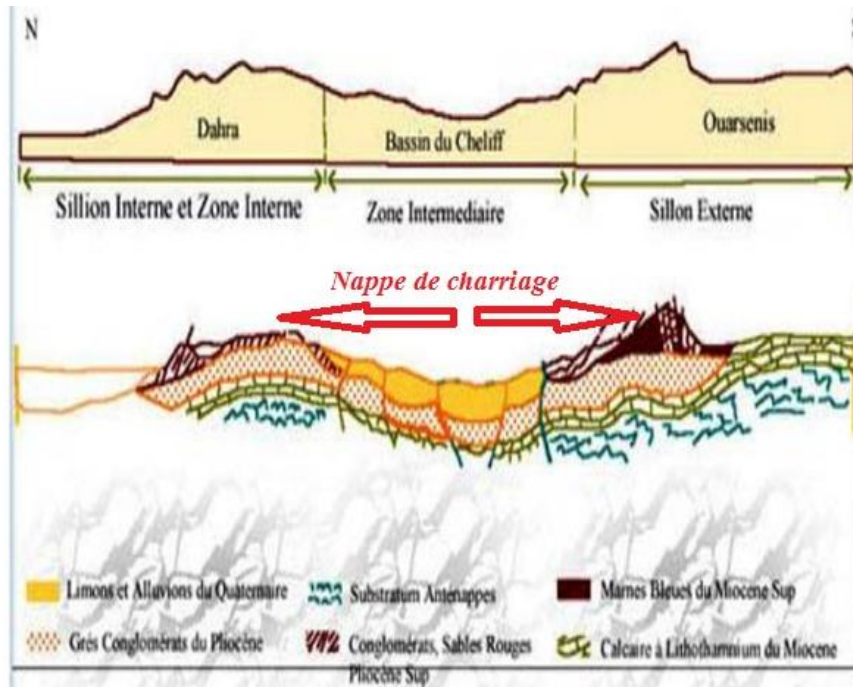


Figure 03 : Structure du Tell- Centre Ouest –(Perrodon, 1957 ; Mattauer, 1958)

III. Cadre structural :

Le mécanisme de déformation actuel dans l'Atlas tellien est marqué par la présence de plis et de plis-failles disposés en échelon, actifs, orientés NE-SO dans une bande étroite de direction est-ouest. Dans le bassin de Chéelif, les déformations actuelles sont la conséquence des mouvements de la convergence des continents Africo-Eurasiatiques (4-5mm/an). La tectonique compressive est orientée du Nord ou Sud ; voire (NNO–SSE) au cours du Quaternaire et à l'actuel qui est attesté par de séismes violents (El Asnam 1980, Mw 7.3 ; Constantine, 1985, Mw 6 ; et récemment Zemmouri 2003, Mw 6.8).(fig.04)

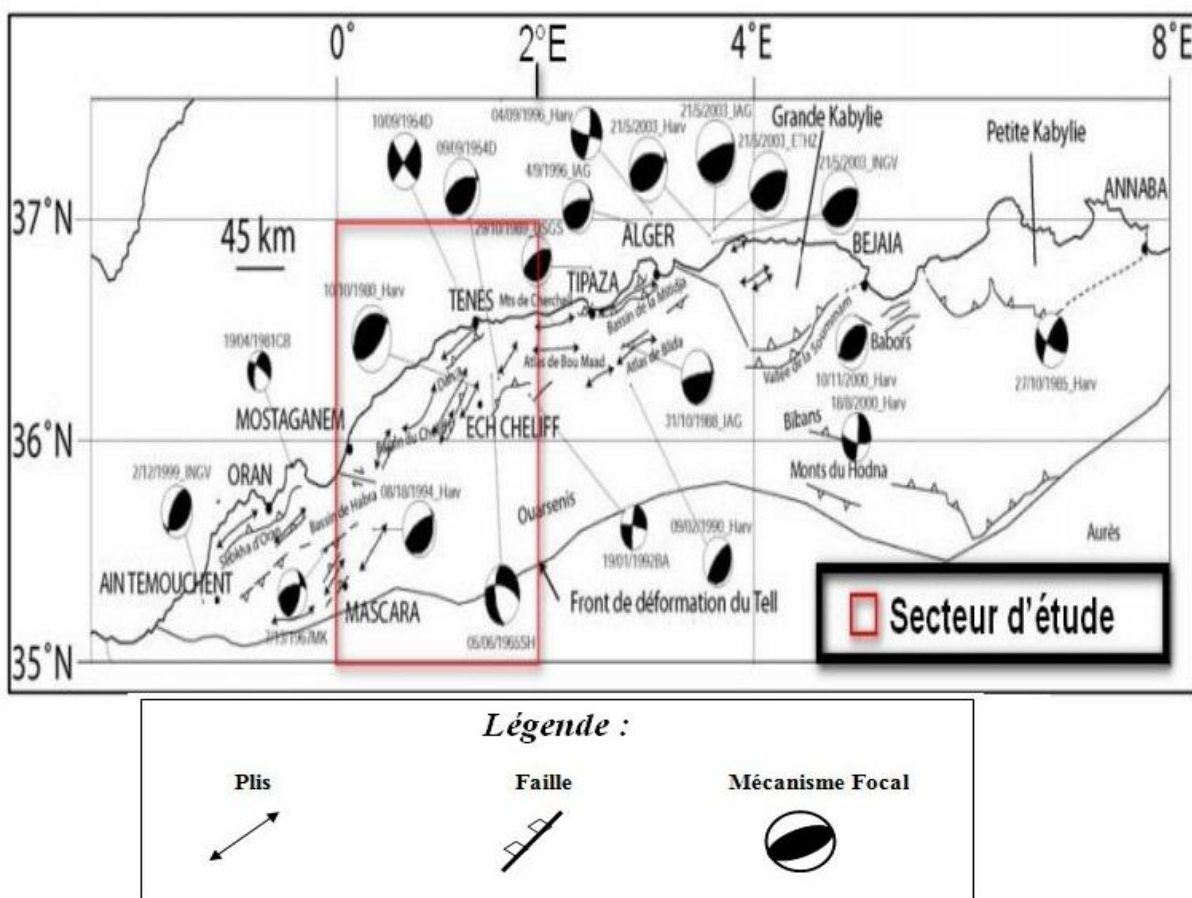


Figure 04 : Carte séismotectonique du Nord Algérienne montrant les principales structures actives du Tell (inspiré de Benouar et al., 1994, Boudiaf, 1996, Guiraud, 1977, Meghraoui, 1988) source des principaux mécanismes au foyer : Harv :Harvard CMT catalogue, ETHZ : ETH Zurich., INGV : Institut National de Géophysique et Volcanologie (Italie), IAG : Instiuit Andalou de Géophysique (Grenade, Espagne), USGS : United States Geological Survey, CB :Coca et Bufron, 1994, MK : McKenzie, 1972, D : Dewey, 1990, SH : Shirokova, 1967, BA : Bezzeghoud et al. 1994 [Domzig, A.2006].

Dans le bassin de Chélif, plusieurs structures tectoniques actives ont été répertoriées et cartographiées par plusieurs auteurs. Les investigations de sismotectonique et d'alea sismique de la région de Chlef, malgré son importance stratégique, n'ont véritablement commencé qu'après le séisme d'El Asnam de 1980 (Bouhadada et Al 2004). Dès lors des études de recherche visant à évaluer l'alea sismique de la région ont été réalisées, menées aussi bien par des chercheurs universitaires (Meghraoui, 1988, Boudiaf, 1996) que par des organismes de recherche (CGS).

La région de chlef se situé dans une région marquée par des failles et des provinces sismiques actives (fig.05) qui induisent une activité sismique assez élevée .Les principales failles actives situées dans la région de Chlef sont de direction Nord Est-Sud Ouest :

- 1- Faille de Ténès
- 2- Faille Abou El Hassan – Sidi Akkacha
- 3- Faille Bouzeghaia - Zeboudja
- 4- Faille d'Oued Fodda – Sendjas (le plis-faille de Sara El Maarouf)
- 5- Faille de chlef- Béni Rached-Oued Fodda (plis faille d'el Asnam)
- 6- Faille pli-faille de Boukadir
- 7- Plis- Relizane
- 8- Plis de Medjadja (Ouled Farès).
- 9- Plis- Dahra

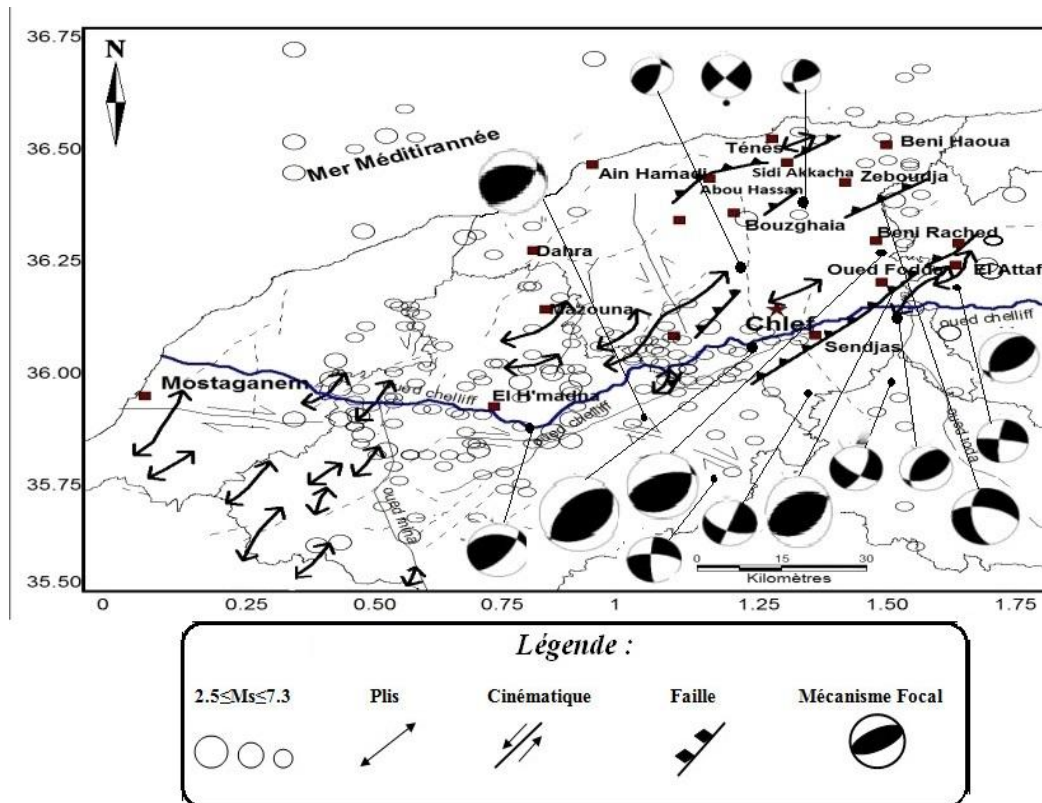


Figure 05: Carte sismotectonique régional du Cheliff

I- Introduction :

Le séisme est l'un des risques naturels plus meurtriers qui menace l'humanité. Il provient d'une rupture brutale dans les roches profondes laquelle peut se propager jusqu'à la surface générant un fort séisme. Cette rupture est appelée « faille active », selon la cinématique des failles on peut distinguer plusieurs types dont les plus connues sont les failles de type distensives, compressives et des failles de coulissage. La caractéristique de la rupture est liée à la longueur d'une faille dont dépend l'énergie d'ondes sismiques qui se propagent dans la terre et qui secouent fortement le sol.

Un séisme de surface étant enregistré par un sismomètre à trois composantes sismiques permettant la caractérisation de son foyer, épicentre, magnitude et son intensité.

L'intensité d'un tremblement de terre est déterminée par les observations sur site en fonction des dommages occasionnés. En effet, l'intensité dépend d'une part des dégâts observés et relatés par les témoignages des gens, et d'autre part du lieu d'observation (distance de l'épicentre). Elle est déterminée selon une échelle de 12 degrés (MSK ou Mercalli). La magnitude d'un séisme correspond à la quantité d'énergie libérée par les ondes sismiques, pouvant atteindre les neuf degrés c'est l'échelle de Richter. Par contre, l'échelle de magnitude, est indépendante du lieu d'observation et des témoignages de la population. Elle dépend seulement de la sensibilité des sismographes, ou plusieurs types de magnitudes sont connus grâce à la forme et les caractéristiques de signal physique de l'événement : la magnitude locale M_L , la magnitude de durée M_D , la magnitude de surface M_S et la magnitude de l'énergie (du moment) M_W .

La majorité des séismes sont dus à des causes tectoniques et l'interaction des contraintes aux frontières des plaques tectoniques. Les conséquences des tremblements de terre se répercutent à la surface : effets géomorphologiques qui induisent des glissements ou des effondrements des terrains ; des tsunamis et les raz(s) de marées ; sans oublier les effets urbains sur les constructions.

II- Historique de la sismicité en Algérie :

La sismicité historique, qui correspond aux séismes décrits dans les récits historiques et autres archives avant la période instrumentale, s'avère être une importante source de renseignement quant à la position probable et approximative de failles actives. Rappelons pour mémoire que l'avènement de l'instrumentation sismique se fit en Algérie dans les années 1910. Historiquement, l'Algérie est connue pour être une zone sismique très active. Le catalogue de sismicité historique (Bennouar.D, 1994 ; CRAAG, 1994) ne couvre en réalité qu'une petite partie de l'activité sismique régionale. Les investigations de paléo sismicité effectuées après le séisme d'El Asnam ont permis de révéler l'existence de traces d'anciens séismes (sismistes) qui ont affectées cette région (Meghraoui, 1988).

Ces travaux ont montré l'existence de plusieurs séismes importants avec rupture en surface ($M_s > 6.5$) ayant affecté la région depuis au moins 600 ans environ (M.H.A.T 2004). Ces données de paléo sismicité permettent également d'estimer la récurrence des événements sismiques qui ont affecté cette région.

Cette activité sismique est associée aux structures tectoniques correspondant aux chaînes montagneuses telliennes et aux dépressions qui les limitent. Les travaux de tectonique en Méditerranée occidentale (Groupe de Recherche Néotectonique de l'Arc de Gibraltar, 1977) montrent que l'ensemble de ces déformations tectoniques est à mettre en relation avec l'histoire tectonique de la région du Maghreb et de la Méditerranée occidentale.

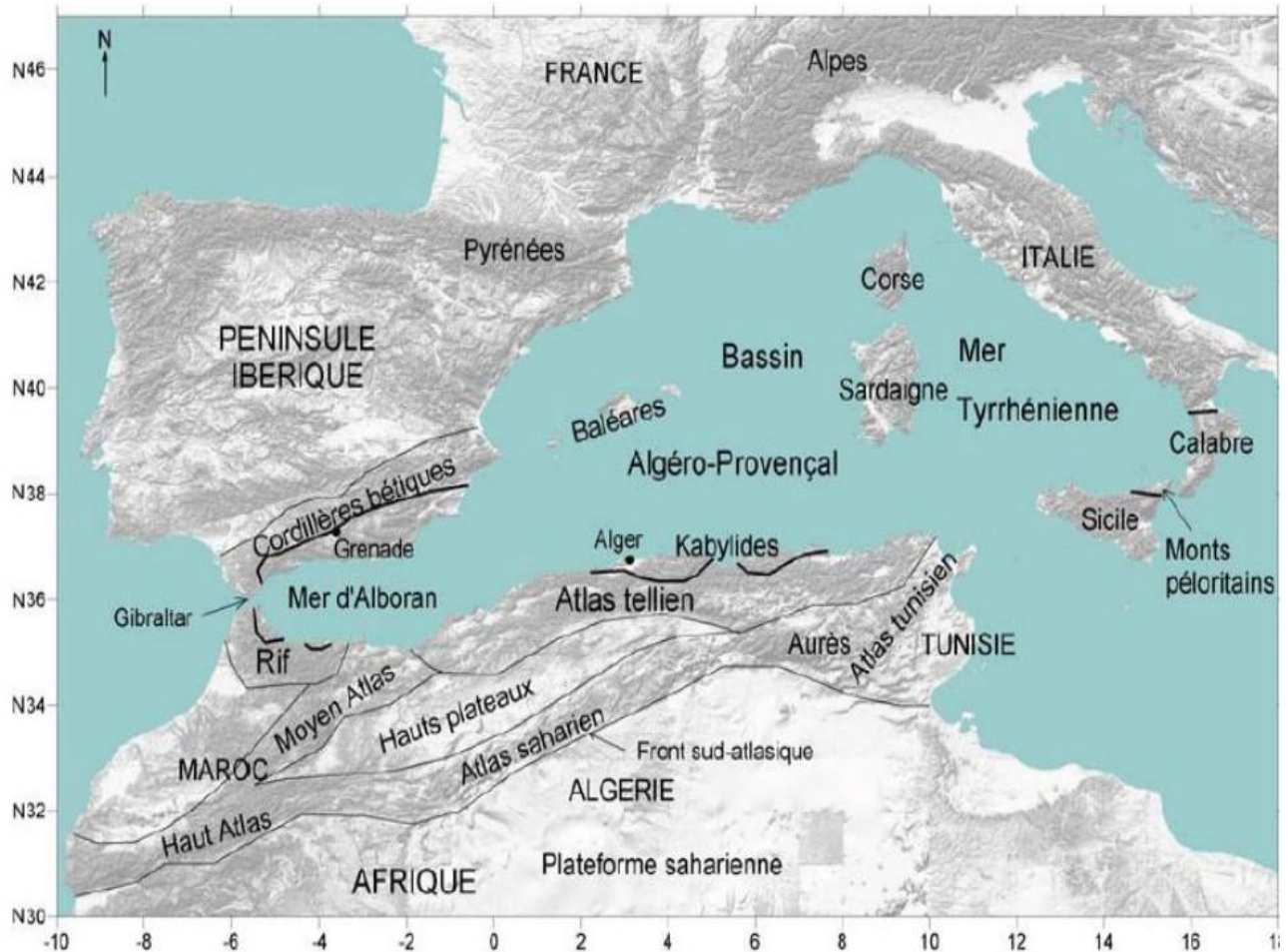


Figure 06: Carte localisation des principales unités géologiques composant la région du Maghreb et le pourtour de la Méditerranée occidentale (DOMZIG, 1996)

II.1- l'inventaire l'activité sismique depuis l'antiquité :

Du point de vue de l'histoire, l'activité sismique en Algérie du nord est connue depuis le 02 janvier 1365 date à laquelle s'est produit le séisme d'Alger (Al Suyuti, 1505, Ambrasses, 1988). (Tableau.01).

Antérieurement à cette date, seulement deux séismes ont pu être recensés, touchant les villes de (Sétif 419 et Ain-Temouchent 699). Durant l'époque romaine (CRAAG 2006), faute de disponibilité de documentation ou d'étude sur les archives relatives aux époques médiévale et antique de notre pays.

II.2- l'activité sismique depuis 1365 :

Depuis 1365, de nombreux séismes se sont produits, parmi eux certains violents et meurtriers. Parmi ces séismes, nous pouvons citer ceux qui ont touché Alger en 1716, Oran en 1790, Gouraya en 1891.

Dans une période plus récente, on peut citer les séismes d'Orléans ville (09.09.1954), d'El Asnam (10.10.1980) de Constantine (27.10.1985), Tipaza (29.10.1989), de Mascara (17.08.1994), d'Alger (04.09.1996), Ain-Temouchent (22.12.1999), de Beni-Ouartilane (10.11.2000) et de Boumerdès-Alger, (21.05.2003). (fig.07)

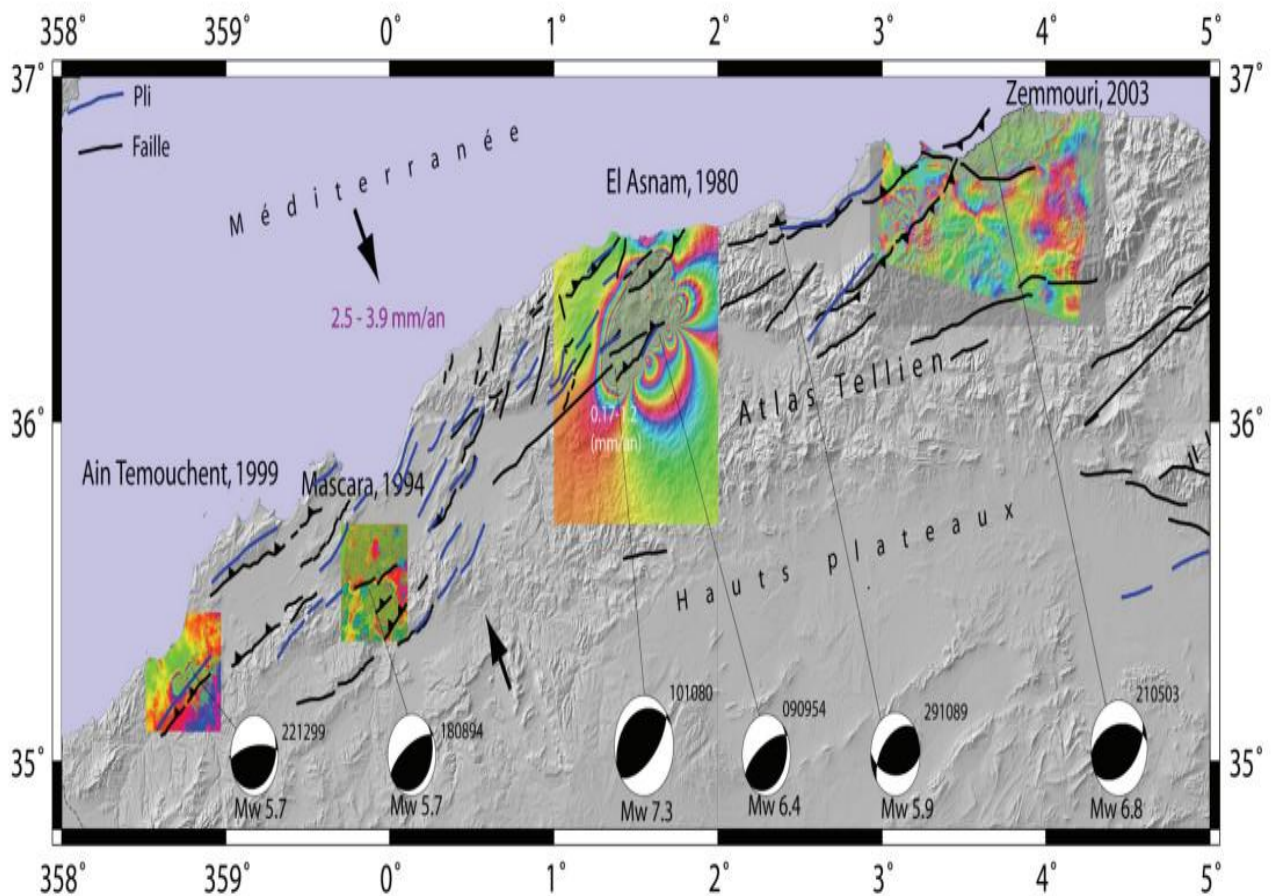


Figure 07: Carte morpho et séismotectonique de l'ouest de l'Atlas tellien selon Meghraoui (1988) ; l'illustration comprend l'interférométrie en quatre sites d'activité sismique . qui montre la trace d'un déplacement du compartiment chevauchant et les Mécanismes au foyer des principaux séismes (Harvard CMT).

Tableau 01 : Historique de la sismicité en Algérie de 1365 à 2003(CRAAG ,2006)

Lieu	Date	I/M	M	Dégâts
Alger	03/01/1365	X		Plusieurs victimes
Alger	10/03/1673			
Mitidja	03/02/1716	X		20 mille morts, Alger détruite
Oran	09/10/1790	X		02 mille morts, ressenti à malte
Blida	02/03/1825	X		07 mille morts, destruction de Blida
Jijel	22/08/1856	X		Raz de marée d'Alger à Annaba
Kherba	09/03/1858	IX	6.7	
Mitidja	02/01/1867	X-XI	7.5	100 morts
Aurès	16/11/1869	IX		30 morts
El Kalaa	29/11/1887	IX-X	6.5	20 morts
Gouraya	15/01/1891	X		38 morts, dégâts important. Rayon macrosismique 200 km
Aumale	24/06/1910	VIII	6.6	Dégâts importants. Répliques ressenties jusqu'en 1911
A. e Hassan	25/08/1922	IX-X		Cavaignac complètement détruite. Mouvement vertical de 1m
Carnot (El Asnam)	07/09/1934	IX		Dégâts à Carnot, st. Cyprien et al Attaf . des glissements de terrain. 92 répliques enregistrées
Msila	12/02/1946		5.6	264 morts, 1000 maisons détruites
Orléansville	09/09/1954	X	6.7	1243 morts
Msila	21/02/1960	VIII	5.6	47 morts et 88 blessés
Msila	01/01/1965	VII	5.5	05 morts, 1300 maisons détruites
Mansoura	24/11/1973	VII	5.1	04 morts, 50 blessés
El Asnam	10/10/1980	X	7.3	2633 morts
Constantine	27/10/1985	VIII	6.0	10 morts. 300 blessés peu de dégâts. Ruptures de surface. Une faille de coulissage
El affroun	31/10/1988	VIII	5.4	05 blessés, nombreux dégâts.500 familles sinistrées

Chenoua	29/10/1989	VIII	6.0	22 morts, nombreux dégâts à Sidi-Moussa. Peu de dégâts à Alger. Faille inverse. Plusieurs répliques durant 3 mois
Mascara	18/08/1994	VII	6.0	172 morts, importants dégâts à Hocine et Shadlia
Alger	04/09/1996	VII	5.7	R macrosismique= 140 km
Ain Témouchent	22/12/1999	VII	5.8	28 morts, plusieurs maisons détruites.
Béni Ouartilane	10/11/2000	VI	5.4	02 morts, fissurations dans les maisons en maçonnerie
Boumerdès-Alger	21/05/2003	X	6.8	2300 morts, dégâts matériels très important

Cartes sismiques

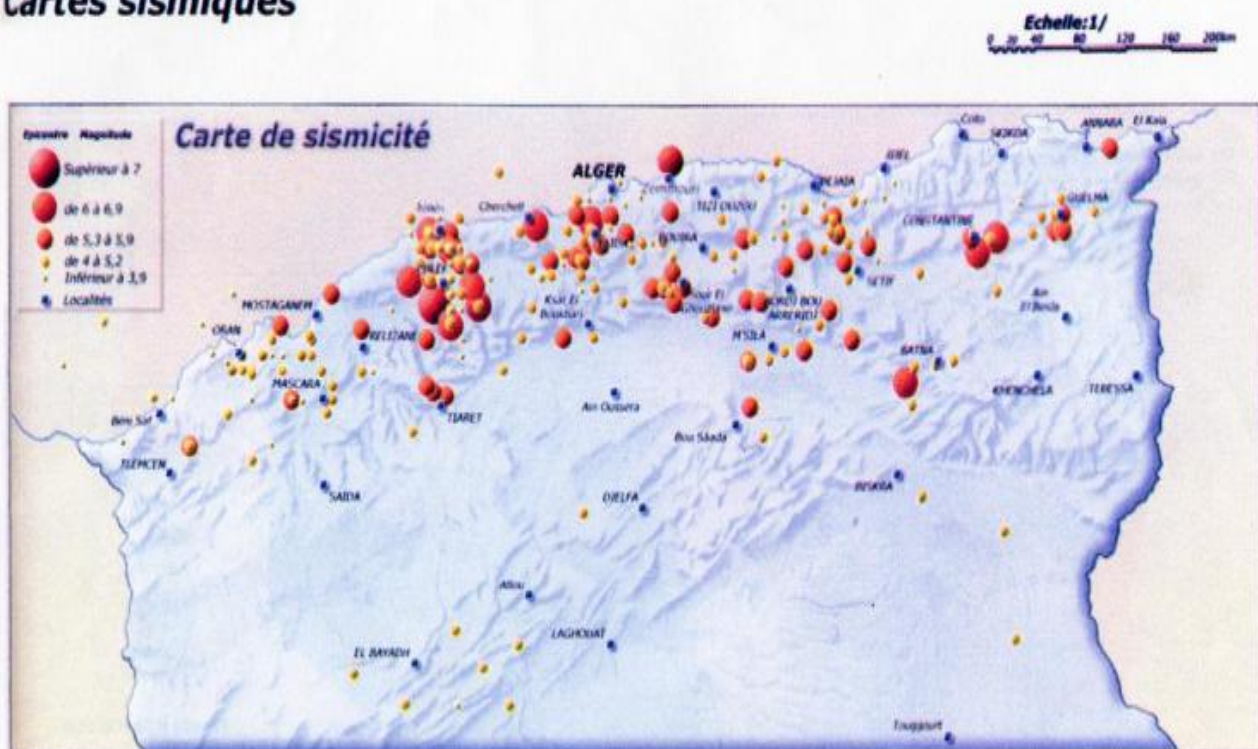


Figure 08: Carte sismicité historique et instrumentale de l’Algérie de 1365 à 2010 (Catalogue CRAAG).

II.3- les séismes menaçant en Algérie :

Le 9 septembre 1954 la ville d'El Asnam (alors Orléansville) avait déjà connu un séisme destructeur d'une magnitude de $M_s=6.7$, une intensité $I_0=X$ faisant 1243 morts et 20 000 maisons détruites (CGS). La ville fut reconstruite sur la base de normes parasismiques établies après ce séisme (PS-55). Le 10 octobre 1980, l'Algérie connaissait le séisme le plus important et le plus meurtrier de son histoire. Le séisme d'El Asnam avec une magnitude de 7.3 s'est traduit par la destruction de plus de 80% de la ville en faisant plus de 3500 victimes (CGS). Par l'ampleur des dégâts qu'il a occasionnés, ce séisme a montré que ces normes n'étaient pas adaptées et surtout, que la magnitude maximale du séisme de référence pour cette région avait été sous-estimée. Alger fut détruite à plusieurs reprises par de violents séismes (le 02 janvier 1365 et le 10 mars 1673). Le séisme du 03 février 1716 était le séisme le plus important qu'a connu la ville d'Alger au cours de Son histoire. Les villes d'Alger et de Blida furent alors entièrement détruites. Jusqu'en 1996, aucune source sismogènes autour d'Alger n'a été clairement identifiée.

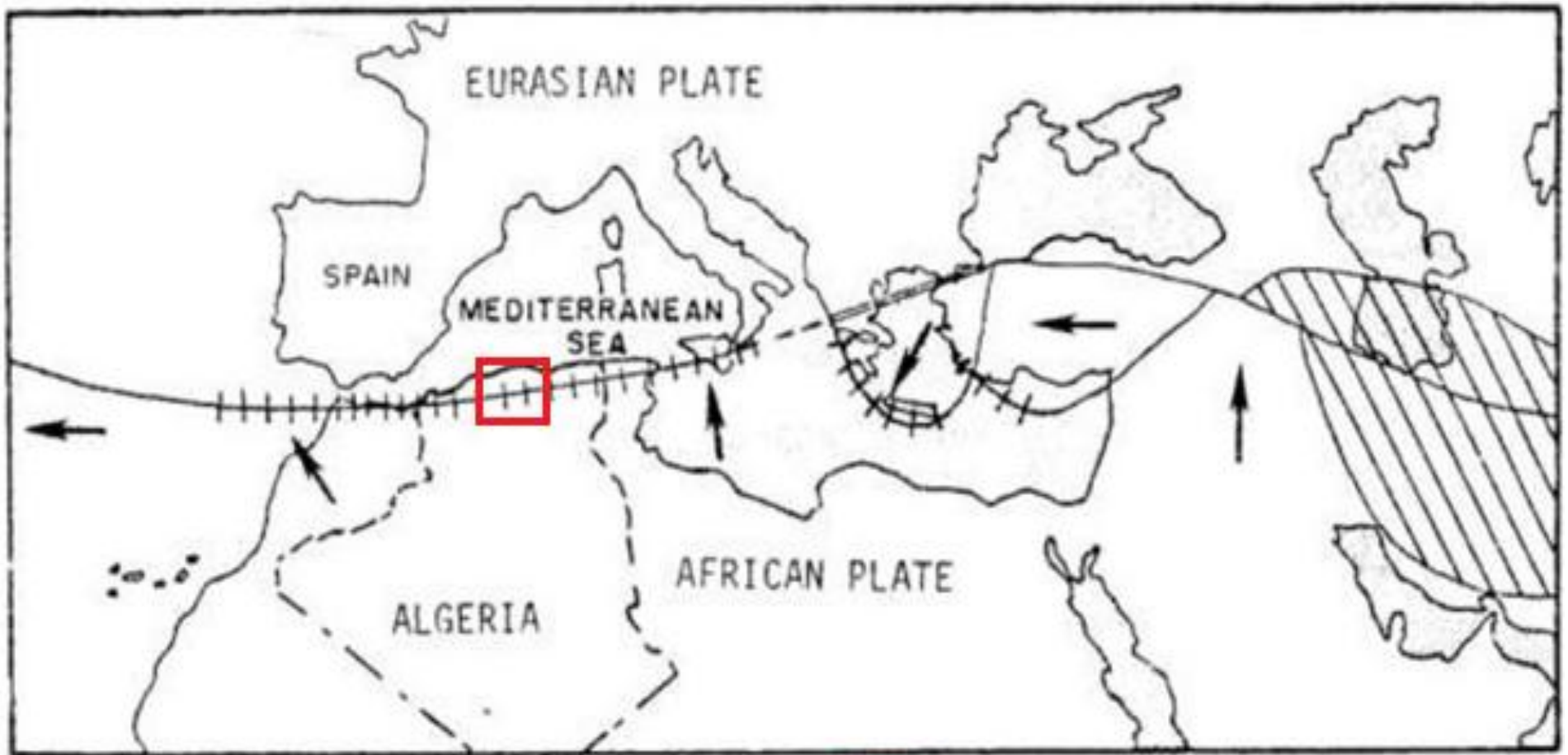
II.4- Les zones sismiques en Algérie :

Quatre zones majeures de sismicité sont ainsi mises en évidence :

- ✓ **Le domaine maritime** : parmi les plus importants séismes qui ont frappé l'Algérie du Nord, plusieurs se sont produits en mer.
- ✓ **Le Tell** : dans cette région se manifeste la plus grand partie l'Algérie du Nord, elle constitue la région la plus exposée aux séismes violents et dévastateurs, puisque la majeure partie de la population algérienne y réside.
- ✓ **Les Hauts Plateaux** : semblent donc se comporter comme un bloc rigide, se déformant simplement au niveau de ses bordures.
- ✓ **L'Atlas saharien** : dans cette région, les cartes de sismicité montrent un chapelet de petits séismes de faible magnitude ($M < 4$).

III- Historique sismique de la région de chlef :

La région de chlef située au nord de l'Algérie a environ 200 km à l'ouest de la capitale Alger, de par sa proximité du contact des plaques continentales européenne et africaine (Fig.09) est une zone très instable constamment soumise a une activité sismique intense. Elle a subi au cours des siècles derniers des séismes qui comptent parmi les plus déstructures (ex Orléansville, ex El-Asnam) en 1922, 1934 et 1954. Ce dernier séisme de magnitude 6.7 bien décrit par Rothé (1955), Thevenin (1955), McKenzie (1970) et McKenzie (1972), a causé la mort de 1340 personnes et d'importants dégâts sur les différents ouvrages et l'apparition des phénomènes de glissement et de liquéfaction des sols.



□ Région d'étude

Figure 09 : Situation de région d'étude en contexte séismotectonique méditerranéenne (Mac-Kenzi 1972)

III.1- Les principe crise séismique de région chlef :

Il ya 04 grande cris touche la région de chlef

III.1.1-La crise déclenchée par le choc de 1922 :

25 aout, 29 aout, 19 novembre 1922 et qui a provoque de sérieux damages matériels et humains dans la région de Cavaignac, Ténès, Orléansville.

(Intensité 9 sur l'échelle For-Rossi a Cavaiganc).

III.1.2-Crise de 1934 : 5 septembre, 7 septembre, 30 septembre et 7 novembre 1934.

La secousse du 7 septembre 1934 a été évaluée 9 degré da l'échelle For-Rossi a carnot, les Attafs et 6 degré a Orléansville.

III.1.3-Crise de 1954 (fig.10) : 9 septembre 1954 avec la logue série de répliques jusqu'a 1957.

III.1.4Crise 1980 (fig.10) : 10 octobre 1980 avec de très fortes réplique durant les six mois qui ont suivit, ce qui ressort de façon évidente de cette analyse globale, c'est que la région de chlef se caractérise par des crises sismique meurtrières a des intervalles plus ou moins réguliers :

12 ans entre 1922 et 1934, 20 ans entre 1934 et 1954 et enfin 26 ans enter 1954 et 1980.(Benhallou , 1985).

IV- les séismes principaux affectant la ville de chlef : (tableau 02).

L'une des principales caractéristiques de la sismicité d'une région est manifestement l'étude macro et micro sismique des grands tremblements de terre qui s'y produisent. Entre depuis un passé récent, l'analyse de l'évolution spatiale et temporelle des répliques ainsi que des précurseurs éventuels s'est avérée d'un intérêt certain, aussi bien du point de vue de la libération de l'énergie pendant la phase de remise en équilibre de la région ébranlée, que de la façon

Tableau 02 : les majeurs séismes en chlef (CRAAG)

Lieu	Date	I/M	M	Victimes	Observations
Chlef (Orléansville-El Asnam)	09/09/1954	X-XI	6.7	1243	Destructeur : 20.000 habitations détruites. Effets observés : glissement de terrain et liquéfaction du sol. Mouvement vertical maximum (10) (1.33 m) au voisinage d'Ouled Abbès. Plusieurs répliques FM : 254,30,266.
Chlef (Al - Asnam)	10/10/1980	IX	7.3	2633	Destructeur : 8369 blessés, 348 portes disparues 6.778.948 sinistres, 70% des habitations détruites. Une faille inverse sismogène a été observée (36km) un mouvement vertical maximum de 6 m a été mesuré entre Zebabdja et Ouled-Abbès une forte réplique a été enregistrée une heure après le choc principale (M=6.5)

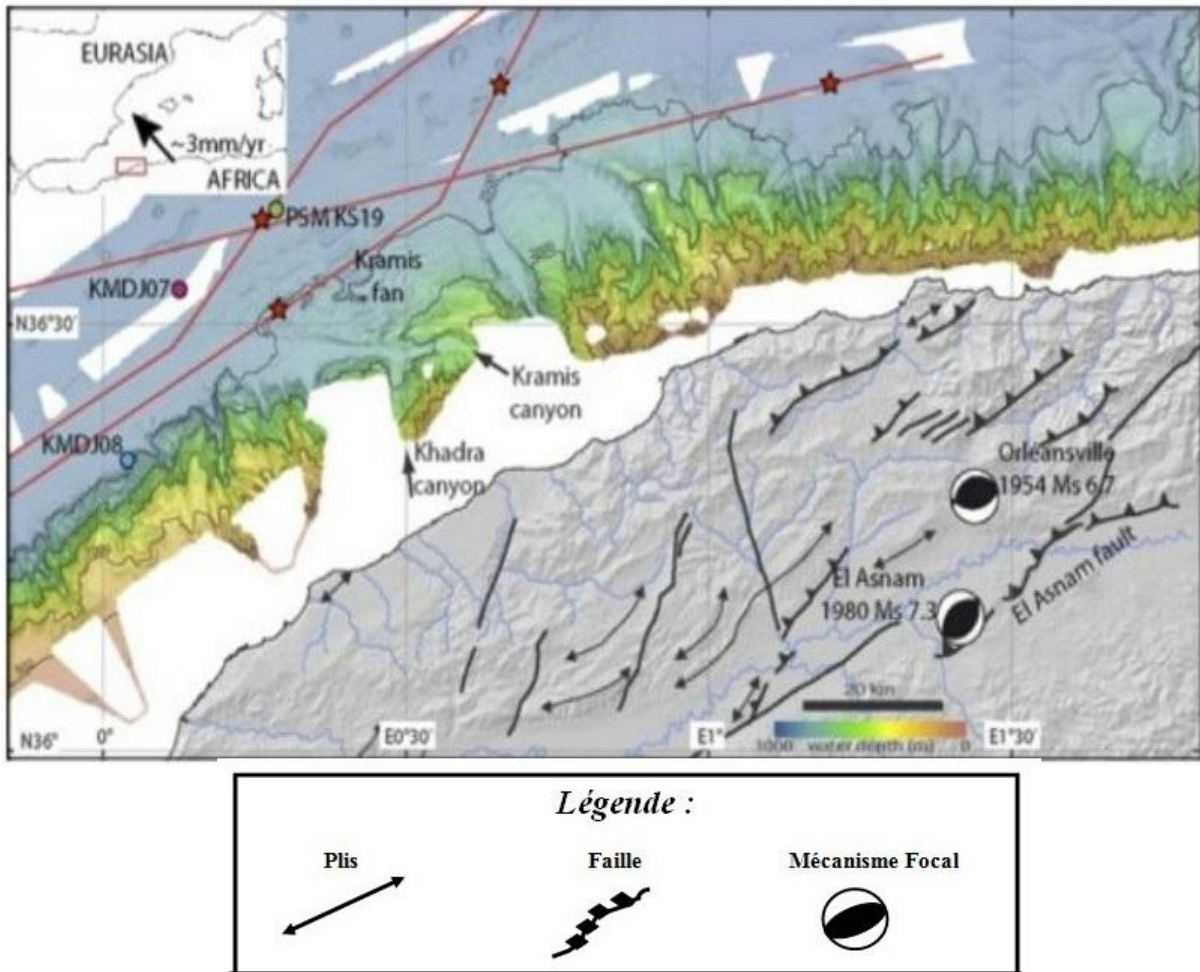


Figure 11 : Carte montrant le mécanisme au foyer du séisme 09/09/1954 et séisme d'El Asnam du 10/10/1980 (CRAAG)

VI.1- Séisme de 1954 :

Le 09 septembre 1954 à 01h04mn a eu lieu le tremblement de terre d'Orléansville (el Asnam puis chlef actuellement) de Magnitude $M=6.7$, énergie $E=10^{24}$ ergs-profondeur du foyer, environ 7 km. Aire macrosismique environ 140.000 km². 123 morts, plus de 5000 blessés. 33126 bâtiments, maisons et gourbis détruits à Orléansville et dans les villages voisins. Dizaines de milliards de francs de dégâts.

Dans cette zone, on a observé la déformation des rails de la voie ferrée Alger-Oran, des phénomènes de tassements et des fissures dans le sol.

Des affaissements spectaculaires atteignant entre 60cm et un mètre ont été relevés. Ce séisme a été enregistré par la plupart des stations sismologiques du monde entier.

La profondeur du foyer a été évaluée entre 8 et 9KM. Entre septembre et novembre, 350 répliques se sont produites.

Nombreuses et fortes répliques. 80 séismes importants ont été enregistrés dans cette région entre 1790 et 1930.

Différents hypothèses ont été proposées pour expliquer le séisme (Dalloni 1954, Glangeaud et Rothé, 1954, Termier et Madame 1955).

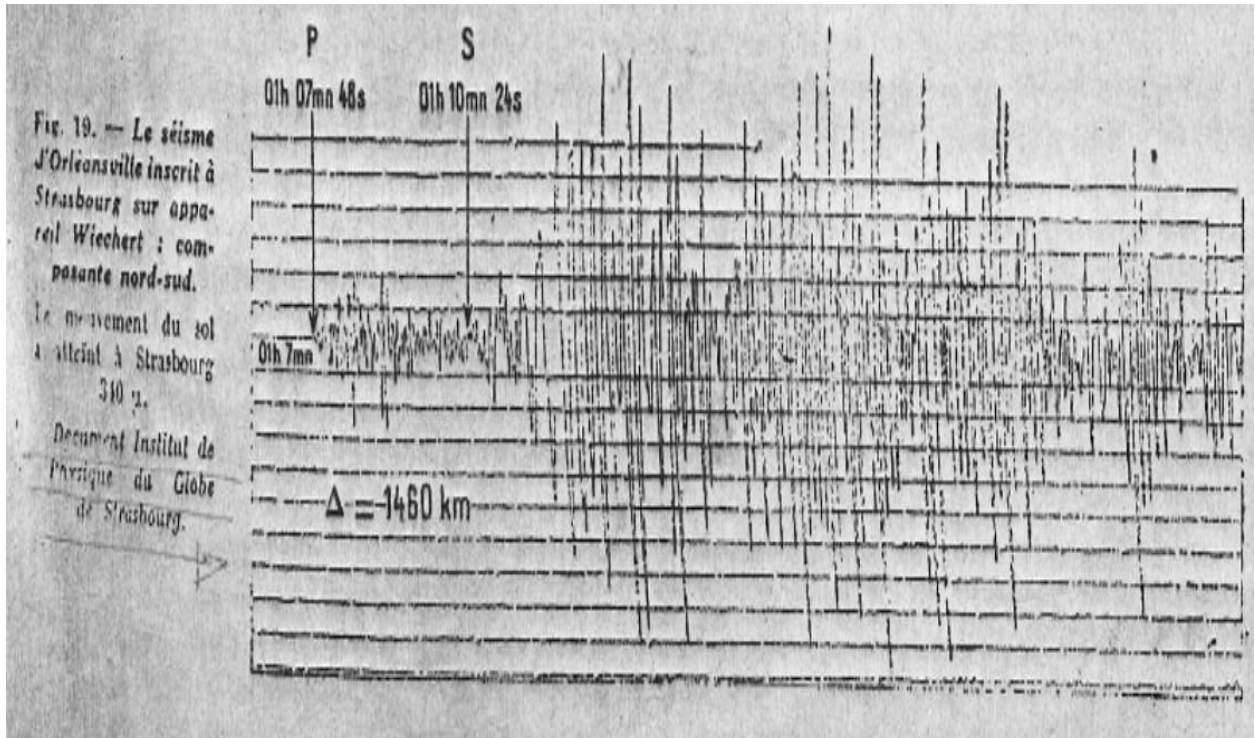


Figure 12: Le séisme d'Orléansville inscrit à Strasbourg sur appareil wiechert : composante nord-sud

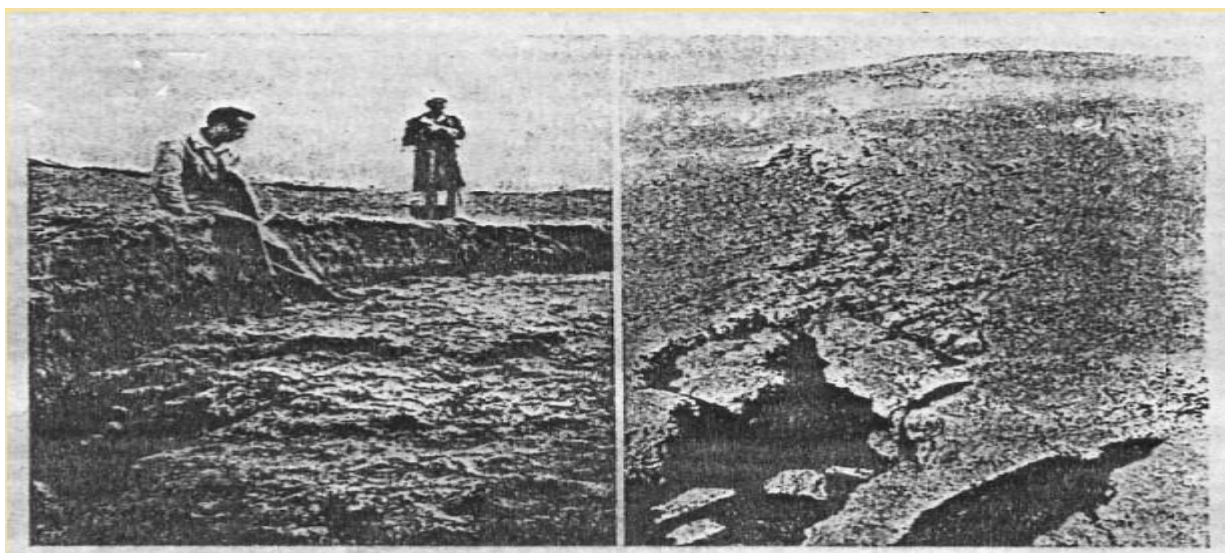


Figure 13: Cassure au bord de la route de Beni Rached (photo Corset).

Figure 14: Fissure à flanc de coteau (photo J. Rothé).

(J.P Rothé ; la nature, Janvier 1955).



Figure 15: Séisme Orléansville 09-09-1954 (CRAAG)

IV.1.1- Description de l'épicentre du séisme 09 septembre 1954 :

Le séisme déstructure (intensité X à XI) dans l'arrondissement d'Orléansville sur les versants Sud de la chaîne du Dahra. L'épicentre est situé dans les collines des Beni-Rached ($36^{\circ} 17' N$, $28^{\circ} E$) au centre d'une zone où la surface sol a été hachée de cassure, de crevasse et de fractures dont le développement total, d'après Rothé, 1955, atteint 20km (Fig.16).

La voie ferrée Alger-Oran est affaissée en plusieurs points. Dégâts considérables au barrage de Pontéba et au tronc commun desservant le réseau d'irrigation de la plaine du Chélif.

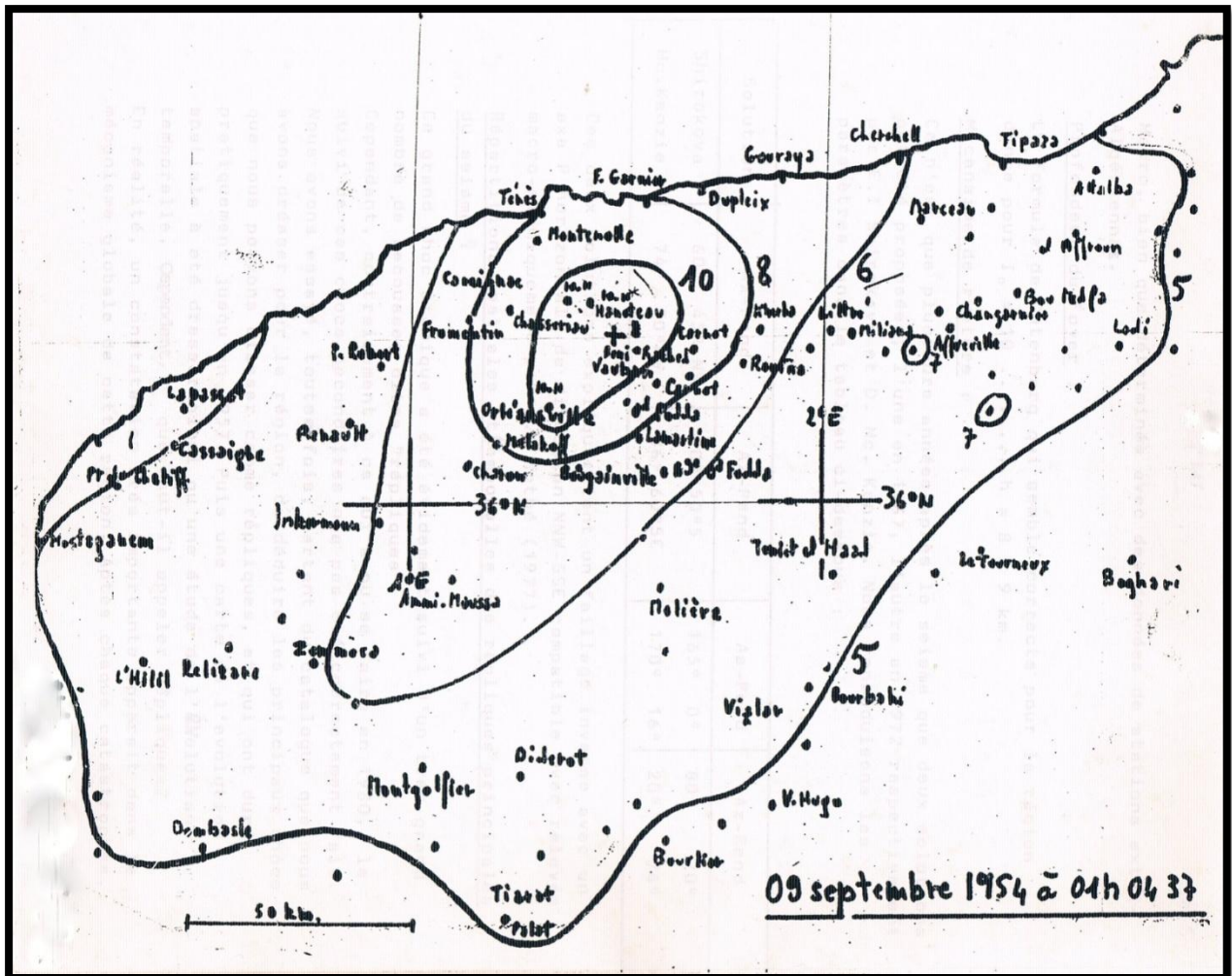


Figure 16: Carte représente l'épicentre séisme du 09 septembre 1954 (Benhallou, 1985)

Dans la zone proche de l'épicentre, l'ouvrage d'art les mieux construits ont été endommagés gravement : joints actifs et viroles ; le barrage de Pontéba a été basculé de 55 cm sur les 80 m de son développement. Le nivellement de précision effectué après le séisme le long des conduits d'irrigation a montré que certains points ont subi des soulèvements dont l'amplitude dépasse 1.50 m.

Les isoséistes (fig.16) montrent, d'après A. Grandjean, un premier axe presque N.S. qui correspond à une transversale passant par Ténès, et un axe sensiblement E.W. correspondant à la limite méridionale du bassin miocène subsidant du Chélif.

Pour Glangeaud et Rothé, la cause de ce séisme serait due à l'ajustement des divers compartiments délimités par les accidents précédents (séisme supra-cristal).

IV.2- Le séisme d'El Asnam du 10 octobre 1980 :

ce séisme superficiel ($36.16^{\circ}\text{N}, 1.39^{\circ}\text{E}$, profondeur =10 km) reste le plus violent survenu à l'Atlas Tellien occidental ($M_s=7.3$) depuis l'ère instrumentale. Il a été étudié par de nombreux auteurs (Ouyed et al., 1981 et 1983 ; Deschamps et al., 1982 ; Ruegg et al., 1982 ; Yielding et al., 1989 ; Mokrane et al., 1994 ; Lammali et al., Meghraoui, 1988 et 1996 ; Beldjoudi, 2003). La faille d'El Asnam ou de Oued Fodda) est située sur le pli-faille du bassin de Chélif. La source sismique est de type inverse orientée NE-SW et plonge vers le NW (strike=255, dip=54, rake=83). Ce séisme a laissé des traces de surface visibles sur 40 km le long de la faille avec un rejet vertical maximum observé de 6 mètres. Ce séisme a été ressenti sur un rayon de 250 km et son intensité a été estimée à IX (échelle MSK). Des milliers de pertes en vies humaines (2633 morts) ont été enregistrées et la ville d'El Asnam et ses villages limitrophes ont été détruits.

Dans la région de Beni Rached, au NW de la faille, les traces de surface étaient en rapport avec l'existence de failles normales associées à la charnière du pli.

La modalisation de la rupture à partir des données de géodésie classique a montré que celle-ci a été initiée par la dislocation de plusieurs segments le long de la faille.

D'autre part, du point de vue paléo sismologique, l'analyse des tranchées effectuées sur la faille d'el Asnam a révélé que celle-ci reproduisait des séismes importants tous les 2000 ans (Meghraoui, 1982).

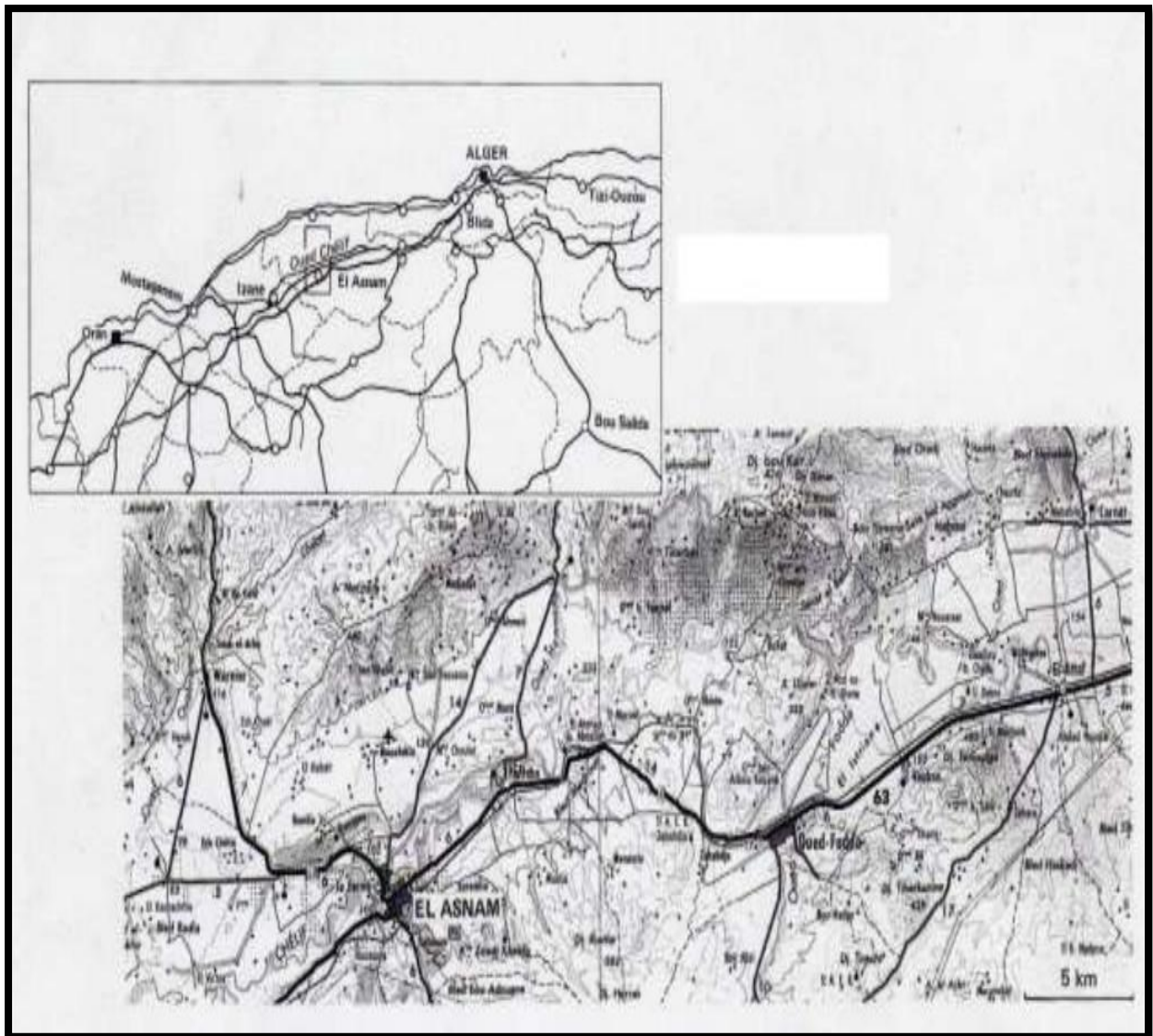


Figure 17 : Localisation du séisme d'El-Asnam du 10 octobre 1980(Benhallou ,1985).

IV.2.1- modélisation de la déformation de surface du séisme d'El Asnam du 10 octobre 1980 :

La conséquence en surface du séisme d'El Asnam du 10 octobre 1980 set une zone de faille globalement orientée SW-NE à E-W et qui, dans la partie SW montre clairement le relai de deux directions : en effet, deux tronçons N.50° encadrent un tronçon (Zebabdja-Oued Fodda). (Benhallou Hadj, 1985).(fig.18)

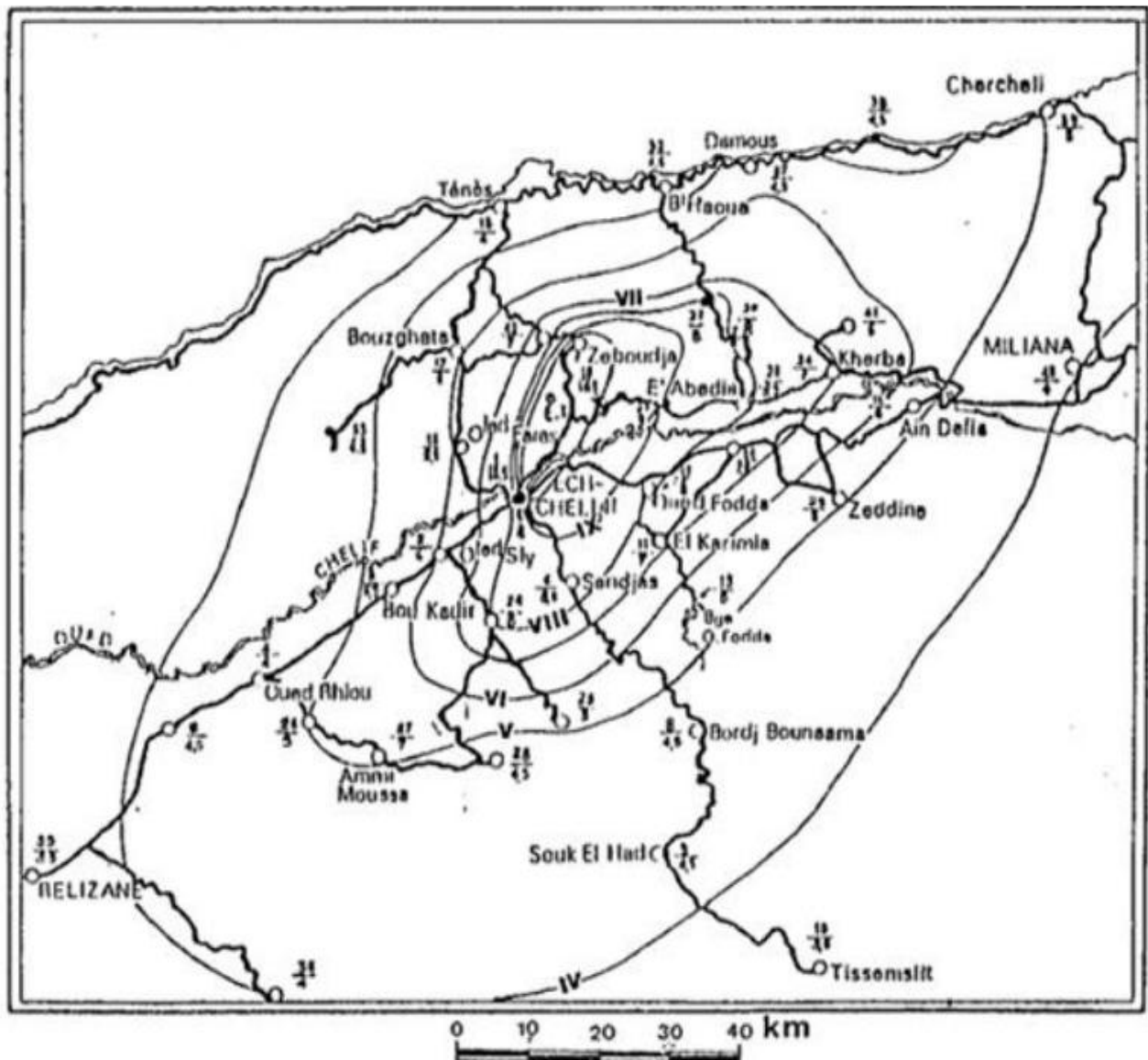


Figure 18 : Carte des intensités du séisme du 10/10/1980 Eche-Cheliff-Zebouja (J.Dorel 1980)

Le moment sismique est $5 \cdot 10^{26}$ dyne cm (Ouyed et al., 1981 ; Deschamps et al., 1982). Les ruptures de surfaces observées sont essentiellement des déplacements en faille inverse accompagnés d'une composante décrochant senestre avec quelques failles normales secondaires, induites sur le compartiment chevauchant (failles d'extrados ; Philip et Meghraoui, 1983). trois segments de failles ont été identifiés (A B et C) ayant une longueur de 10, 20 et 6 km, respectivement, et des pentes de 54° , 45° et 30° (fig.19.20) , Meghraoui, 1988 ; Yielding et al., 1989).

Le segment central (B) est associé à l'anticlinal dissymétrique de Sara El Maarouf. Cet anticlinal est comparable à d'autres pli-failles et qui ont généré des séismes modères dans le Tell comme ceux d'Ain Témouchent 1999 et de Mascara 1994.

Les valeurs des déplacements sur chaque segment ont été obtenues à partir des mesures (directes et avec station totale) le long de la rupture (Meghraoui, 1988) et d'un profil géodésique qui suit une ligne de chemin de fer qui traverse la faille d'el Asnam (Ruegg et al., 1982).

Les études des répliques de ce séisme ont montré que ces dernières étaient toutes localisées à une profondeur qui dépassait rarement 10 km (Ouyed, 1981 ; Yielding et al. 1989 ; Cisternas et al., 1982). Yielding et al. Montrent notamment la géométrie de chaque segment de faille avec pendage variable et les mécanismes au foyer en faille inverse des principaux séismes enregistrés.

A fin de reproduire la déformation de surface du séisme d'el Asnam, j'ai subdivisé la faille en trois segments avec des pendages de 54° , 45° et 30° comme mentionné précédemment. Les déplacements sismiques le long de la rupture ont été utilisés pour affecter à chaque portion de faille le déplacement correspondant en profondeur. Ces mesures de déplacements verticaux ont été converties en glissement sur la faille qui tient compte du pendage de chaque section.

Un glissement uniforme est affecté à chaque portion sur les 10 km de profondeur. Une composante décrochant senestre a été affectée là où celle-ci a été observée et notamment dans la partie centrale et SW de la rupture.

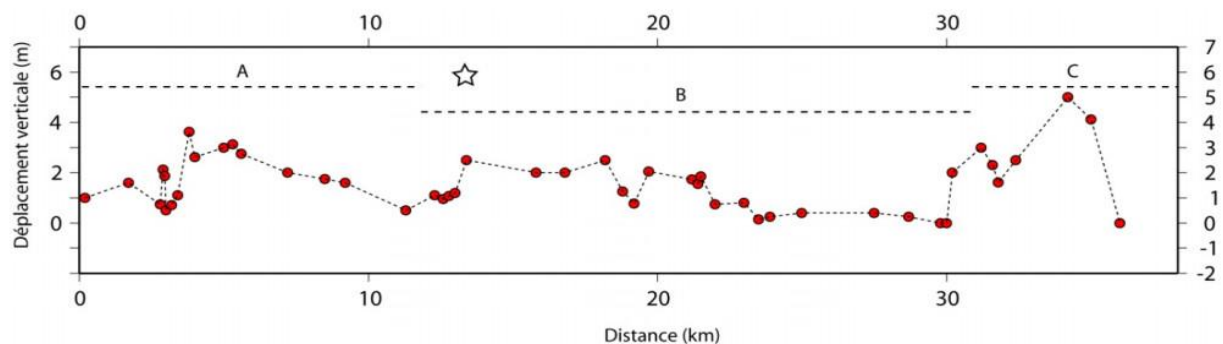


Figure 19 : Déplacement verticaux mesurés le long de la rupture du séisme du 10/10/1980 avec trois segments A, B et B (Meghraoui et Doumaz, 1996). L'étoile montre la valeur mesurée sur un même point d'un profil géodésique (Ruegg et al., 1982).

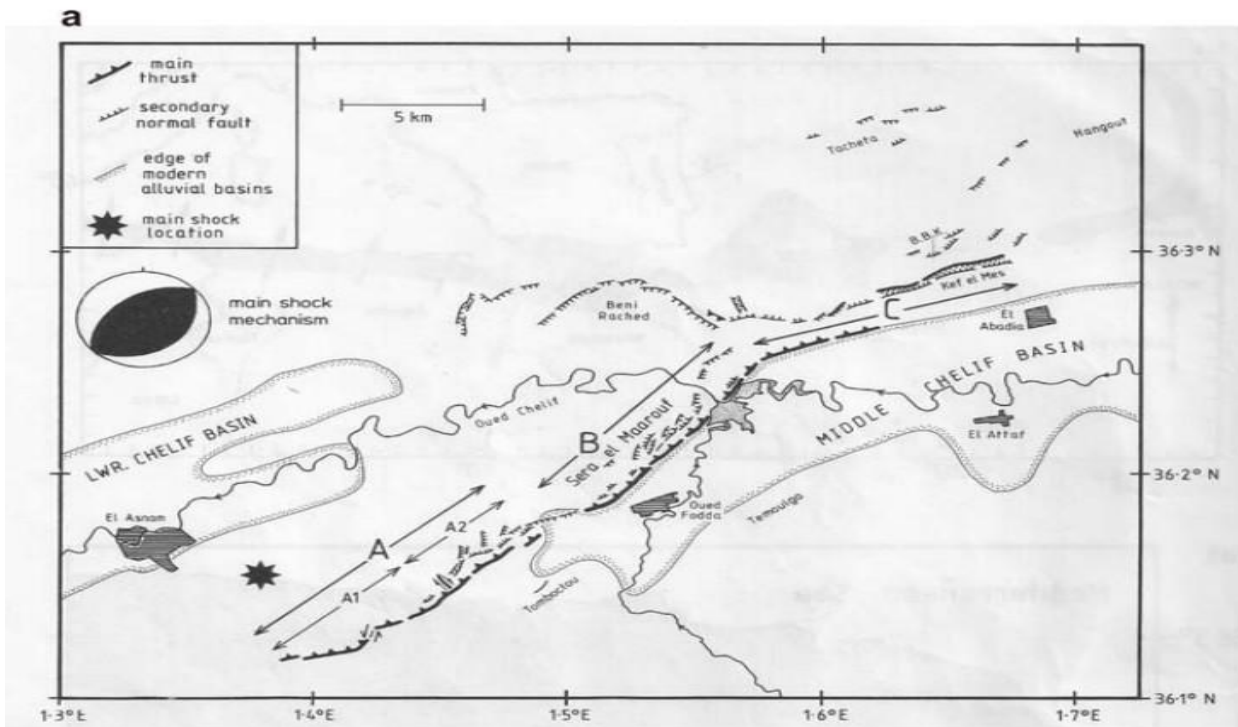


Figure 20 : a) Carte montrant le mécanisme au foyer du séisme d'El Asnam du 10/10/1980 ainsi que sa localisation (L'étoile). A, B et C sont les segments de la faille.

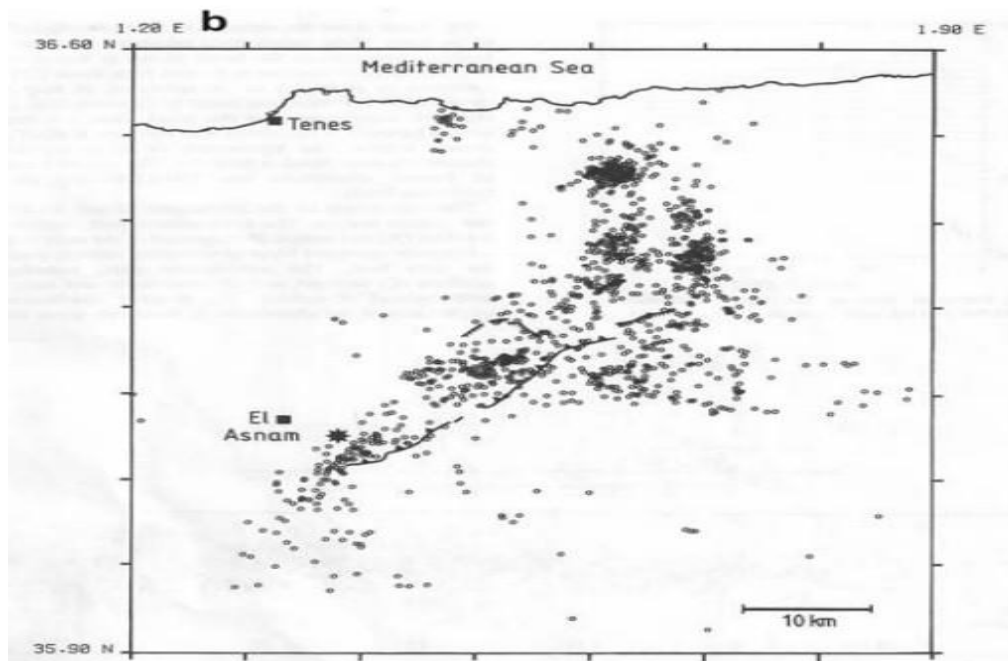


Figure 20 : b) Carte de la répartition des 1279 répliques bien localisées. Les traces de surfaces sont mentionnées par des lignes (Yielding et al., 1989).

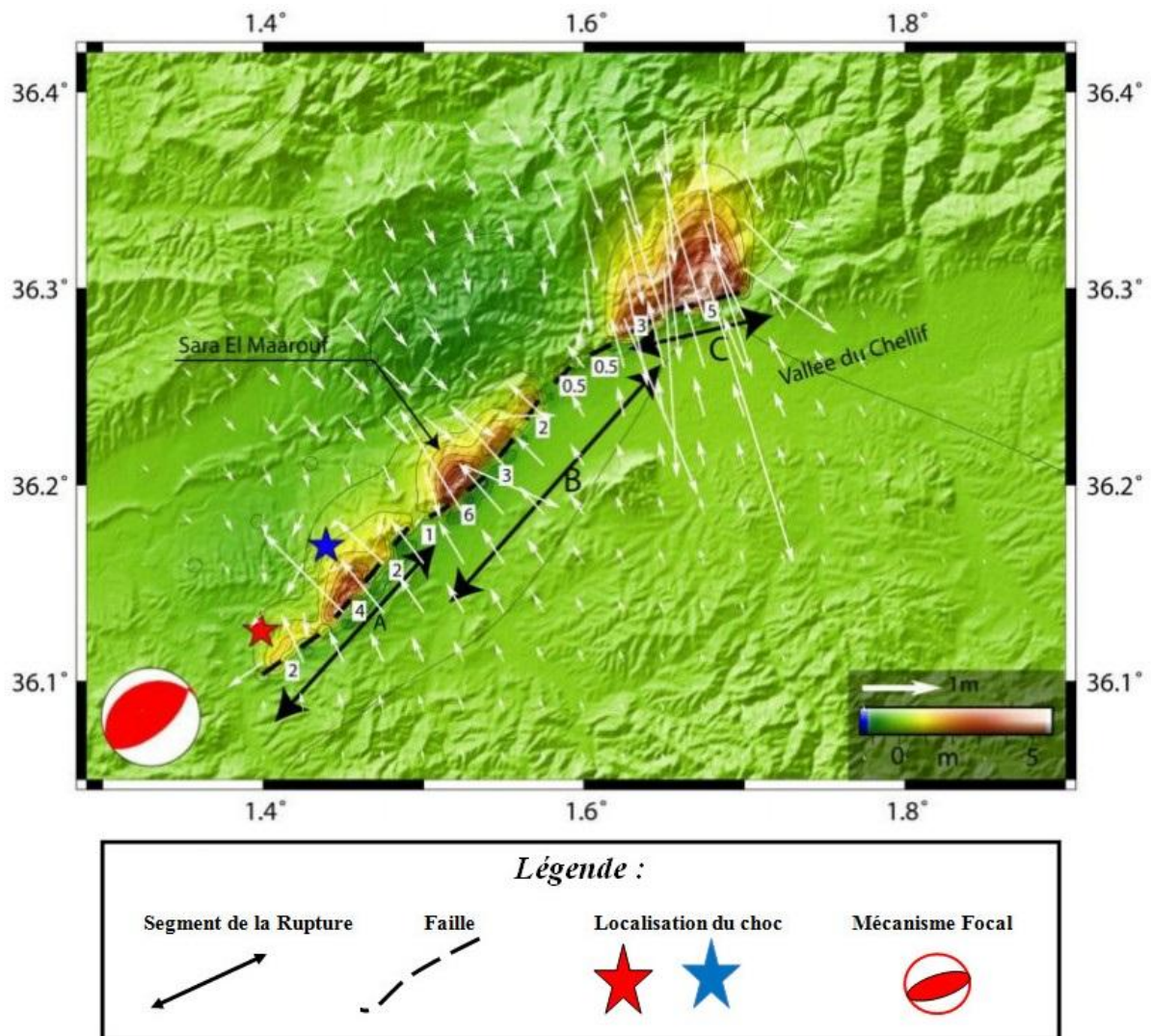


Figure 21 : Champ de déformation lié au séisme d'El Asnam de 1980 (Mw 7.3) obtenu à partir du modèle.

Les vecteurs indiquent le déplacement horizontal prédit par le modèle. Les chiffres indiquent la valeur du glissement vertical affecté à chaque portion de faille en mètres et les contours colorés le champ du déplacement vertical. Les sections A,B et C montrent les trois différents segments de la rupture. Les étoiles rouge et bleu indiquent respectivement la localisation du choc principal selon Yielding et al. (1981) et Cisternas et al. (1982). Le mécanisme au foyer est celui de Global CMT.

IV.2.2- Conséquences du séisme D'El Asnam 10.10.190 :

Ce tremblement de terre a provoqué beaucoup de dégâts matériels et de perte en vie humaine, des destructions d'habitation en grand nombre et des dommages importants à des

infrastructures de liaison et à des équipements publics. Au total, pour la région de chlef, il a dénombré : 2633 morts, 8369 blessés, 348 disparus Et 478948 sinistrés.

Ce séisme est associé à de nombreux autres phénomènes induits telle que des effondrements de terrain observés à Boukadir, des ruptures de berges observées le long du fleuve Cheliff. À niveau de Bir Safsaf, le plan de faille s'exprimant en surface a entraîné la création d'un barrage naturel entraînant l'inondation de la plaine d'el Attaf.

Des émanations de radon ont été également observées ayant entrainé la mort de nombreux moutons dans la région.

Le séisme dont l'impact a été ressenti à après de 200 km à Alger à l'Est et Oran à l'Ouest, a révélé du fait des destructions observées de nombreux effets de site dans la ville d'el Asnam. Pour éviter ces effets, un microzonage a été réalisé dans cette ville.

Les travaux récents effectués dans la région, démontrent que la faille d'el Asnam appartient à un réseau de failles complexes dont la faille principale serait la faille de Relizane située près des piémonts du Dahra. Les différentes failles de Bou Kadir, de Chélif viendraient ainsi se rattacher en échelon à cette structure majeure. Il est également entendu que le rejet de la faille d'el Asnam a engendré une variation de contraintes sur les failles environnantes et que donc l'aléa sismique dans cette zone reste élevé.

Il apparaît donc important de développer rapidement des plans de prévention spécifiques à cette région par une sensibilisation accrue des populations et un renforcement dans le contrôle des constructions. (Meghraoui, 1982).



Figure 22 : Le séisme d'El Asnam 10 octobre 1980 (Ms 7.3) (CRAAG)

Le tremblement de terre d'el Asnam en 1980 a gravement endommagé les bâtiments et les systèmes vitaux de la région de chlef, provoqué la mort de 2.700 personnes, infligé des blessures a plusieurs milliers d'autres et sérieusement affecté le développement économique de la région, a tous les niveaux. De nombreux bâtiments se sont effondres partiellement ou totalement, et plusieurs milliers de gens se sont retrouvés sans arbi. L'impact social et économique a été ressenti dans le pays tout entier.

Le tremblement de terre d'el Asnam a démontré que l'impact social et économique d'un grand tremblement de terre dans le nord de l'Algérie est extrêmement dévastateur et qu'il fallait prendre des mesures supplémentaires dans le nord de l'Algérie en vue de réduire les pertes pouvant résulter des tremblements de terre ultérieurs. L'épicentre du tremblement de terre d'el Asnam de magnitude 7.3 se trouvait a environ 10 km (6 miles) a l'Est de la ville d'el Asnam (aujourd'hui Eche Cheliff). le tremblement de terre s'est produit en certains points du système de failles d'Oued Fodda, une faille inverse active de 47 km de long (28 miles). La faille d'Oued Fodda a rompu la surface terrestre sur une distance d'environ 35 km (21 miles) au cours du tremblement de terre. Le sol s'est liquéfié et des glissements de terrain se sont produits en certains endroits.

Les caractéristiques des secousses n'ont pas été enregistrées sur les accélérographes de mouvements marqués, mais les experts ont estimé qu'il y a eu des accélérations maximales de terrain dépassant 0.5 g en certains points de l'épicentre. Des ingénieurs menant des enquêtes dans la région de chlef après le tremblement de terre ont conclu que le niveau d'accélération verticale avait dépassé le niveau d'accélération horizontale et que ces deux forces puissantes conjuguées ont été le principal facteur causal des graves dégâts subis les bâtiments.

En octobre 1980, quand le tremblement de terre a frappé la région de chlef, environ un million de personnes (c'est-à-dire 05% de la population algérienne) résidaient dans la région. (30%) de la population vivaient dans 95 centres urbains, dont les plus grands étaient Eche Cheliff, Khemis, Miliana, Ain Defla et Boukadir. Entre 1954 et 1980, la population de la ville d'Eche Cheliff était passée de 18.000 a 130.000, principalement en raison du processus d'industrialisation qui a démarré dans les années soixante-dix. La croissance et la concentration rapides et continues des richesses nationales de l'Algérie dans la partie nord du pays nécessitent un programme national en vue de réduire les pertes pouvant résulter de tremblements de terre futurs.

IV.2.2.1- Effet du séisme sur le bâti : (fig.23)

Les secousses sismique du 10.10.1980 ont été ressenties à plus de 250 km de l'épicentre .les effets les plus importants sur les bâti ont été observés dans un rayon de 60km autour de la ville de chlef. Le taux de destructions des localités à atteints71% pour la ville de chlef 212 édifices publics ont été totalement détruits :

- 785edifices public endommagés
- 29747 logements totalement détruits
- 24609 logements légèrement endommagés
- 307 locaux commerciaux endommagés (Source rapport Général d'octobre 1981)



Figure 23 : Effet du séisme d'El Asnam 10.10.1980 sur le bâti (CRAAG)

IV.2.2.2- Effets du séisme sur le terrain :

le séisme 10.10.1980 et sa réplique immédiate ont été provoqués par le mouvement d'une faille inverse de direction N60°E dont le plan plonge vers le nord-ouest, incliné d'abord de 10° à 20° puis de 45° à 50°. Le sol a été déformé, fissuré et soulevé sur une horizontale senestre de 0,5 à 1,50 m ont été observés le long de la faille normale d'extension identique à celle qui est apparue lors du séisme de 1954.



Figure 24 : Effet du séisme d'El Asnam 10.10.1980 sur le terrain (CRAAG)

Les ruptures de sol spectaculaires par glissement de talus naturels et par liquéfaction de sables saturés suivies de tassement à grande échelle ont été observées. Le phénomène de liquéfaction est apparu surtout sur les berges de l'oued Chlef et à sa confluence avec son affluent l'oued Fodda. D'ailleurs à cette confluence est apparu un seuil qui a fait barrage et a provoqué l'inondation de terrains agricoles sur 5000 ha environ d'après le rapport CTC 1981 et rapport de l'ANAT de 1983.

IV.2.2.3- Effets du séisme sur les réseaux vitaux et les ouvrages d'arts

L'ensemble du réseau routier dans la zone épiscopale qui est la ville de Chlef a été sévèrement endommagé. Les routes ont été coupées en plusieurs endroits par les crevasses parfois de 2 m de large. Tous les remblais d'accès aux ponts ont subi des tassements allant jusqu'à plusieurs dizaines de centimètres. La voie ferrée a été endommagée sur environ 30 km. Les rails ont été constatés sur un rayon de 100 km autour de la ville de Chlef. (fig.25)

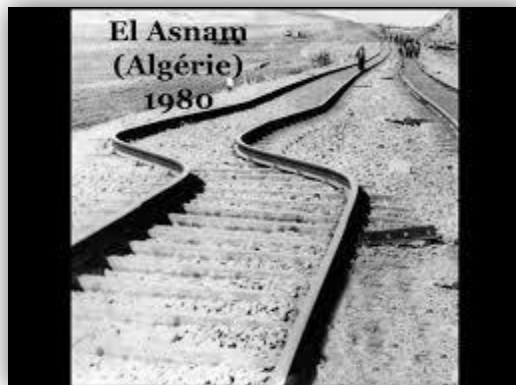


Figure 25 : Effet du séisme d'El Asnam 10.10.1980 sur le Chemin de fer (CRAAG).

Réseau d'irrigation et d'adduction d'eau potable ; l'aqueduc qui traverse la ville de chlef s'est effondré en plusieurs endroits .la mise hors d'usage du réseau d'irrigation a failli provoquer la perte des plantations d'arbre fruitiers de la ville .le réseau d'eau potable a été coupé en plusieurs endroits à travers la ville de chlef

Il est à noter que les châteaux d'eaux aériens et les réservoirs d'eau semi enterrés se sont, en général, bien comportés à l'exception de deux d'entre eux.

I. Modélisation fréquentielle de la sismicité régional de Cheliff :

Dans ce chapitre nous avons utilisé deux méthodes principales pour étudier l'aléa séismique de la région de Cheliff

- 1- Méthode fréquentiel de Gutenberg Richter (1954).
- 2- Méthode probabiliste de Gumbel (1958).

D'abord nous avons traité des données du catalogue régional du Chélif avec filtrage et classement des événements en ordre chronologique ; calcul de profondeur (h), calcul l'intensité (I_0), calcul de magnitude de surface (M_s) en fonction M_w (magnitude de moment) par les relations suivants :

- La relation qui transforme (M_s) Magnitude du surface en fonction du (M_w) magnitude du moment est la suivante :

$$M_w = 0.7925(M_s) + 1.285 \dots (1) \quad (\text{Relation de SCORDIS})$$

$$M_s = (M_w / 0.7925) - 1.285 \dots (2)$$

- La relation de profondeur (h) (Relation de HARRAK) :

$$\text{Log}(h) = 0.54 * (M_s) - 0.47 * (I_0) + 1.72$$

- La relation de l'intensité (I_0) en fonction (M_s) (Relation de BENHALLOU et RAMIREZ)

$$I_0 = (M_s - 1) * 3/2$$

Ou $M_s = 0.47 * I_0 + 1.36 \dots$ (Relation de BENOUAR et al (1994))

Voir le résultat du catalogue sur le tableau(03) dans l'annexe ci-joint

I.1- Approche de Gutenberg Richter (1954) :

La loi de Gutenberg-Richter (GR) est une relation empirique entre la magnitude M_s des événements sismiques et $N(M)$ le nombre des séismes. Le nombre d'événements avec des valeurs supérieures à 2.5 est de 229 séismes.

Gutenberg et Richter (1944) ont proposé la relation linéaire suivante:
 $\log_{10}N(M) = a - b(M) \dots \dots \dots (01)$

Dans ce travail nous avons utilisé l'approche de Gutenberg Richter qui est de l'activité sismique d'une région donnée sur un période d'observation donnée Elle est basée sur le comptage du nombre des événements sismiques à certain seuil de magnitude

La courbe d'évaluation de cette activité sismique est du type logarithmique basée sur le choix des classes de magnitude (M_s), de la période d'étude (1900-2010).

- La modélisation de l'activité sismique de la région Chélif par l'approche de Gutenberg Richter se déroule en trois étapes principales :
 - Le classement ordinal d'événements M_s .
 - Calcul la fréquence $N(M_s)$ de chaque classe de magnitudes.
 - Calcul du logarithme $\log N(M_s)$ pour tracer la courbe des fréquences sismiques et déduire ainsi les coefficients sismogènes de Gutenberg Richter (a et b).

Voir le résultat sur le tableau suivant :

Tableau 04 : classement de magnitude

Classes	Fréq-N	Log N(M_s)	M_s Moyen
[2,5 - 3,0[	78	1,89	2,75
[3,0 - 3,5[	74	1,87	3,25
[3,5 - 4,0[	39	1,59	3,75
[4,0 - 4,5[	16	1,20	4,25
[4,5 - 5,0[	14	1,15	4,75
[5,0 - 7,0[	7	0,85	6
[7,0 - 7,5]	1	0,00	7,25

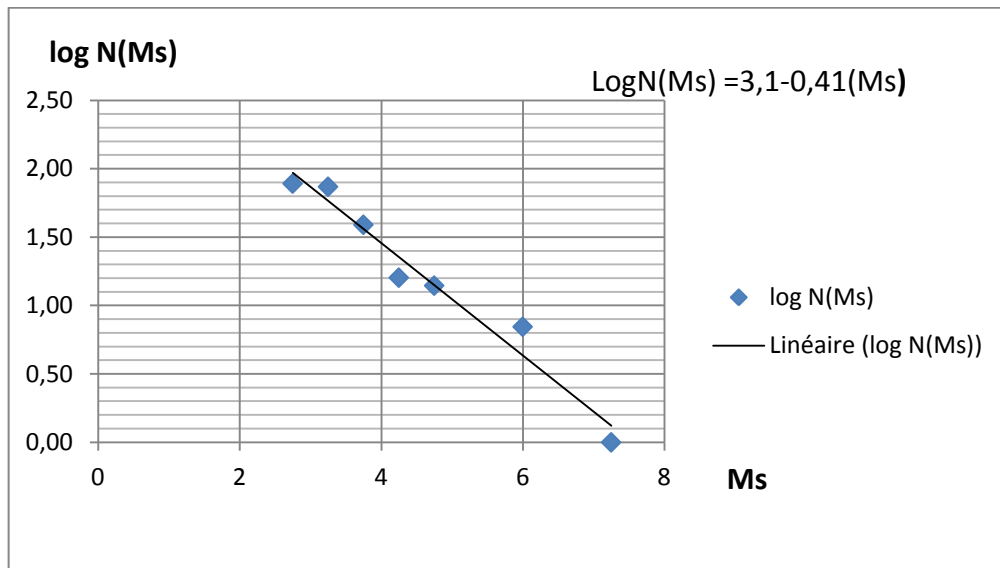


Figure 26 : Courbe d'activité sismique régionale par Excel

La trace de courbe des fréquences séismiques (Fig.26) permet de déduire les coefficients sismogènes de Gutenberg Richter (a) et (b) pour calculer et tracer la courbe de période de retour (Tr) en fonction de (Ms) (fig.27), ainsi que la courbe de probabilité d'occurrence (N=λ) (fig.28) par les relations suivantes :

$$Tr = 10^{bM} / 10^a \dots\dots\dots(02) \text{ avec (a et b) coefficient de fréquence de sismicité}$$

Sur le diagramme semi-log (Fig.26), on désignera les valeurs optimales des (Ms) en fonction $\log_{10}N(Ms)$

Le coefficient obtenu est estimé à (a=3.09) est déterminé par l'ordonnée à l'origine de l'axe des abscisses (M=0), quant au coefficient (b=0.41) est déterminé par le remplacement de la valeur de (a) déterminée dans la relation fondamentale de Gutenberg Richter.(relation 01)

Après la normalisation de cette relation on dérive la relation des fréquences d'occurrence séismiques

$$\log N_k(M) = a_k - b_k(M) \text{ avec } k = [1900-2010] \text{ période d'observation}$$

$$k = 110 \text{ ans}$$

$$a = 3.099 \text{ et } b = 0.41 \text{ (constante)}$$

$$a = a_k - \log(k)$$

$$a = 3.099 - \log(110) = 1.05 \text{ variable constant}$$

$$Tr = 10^{bM} / 10^a$$

$$\log N(Ms) = 1.05 - 0.41(Ms)$$

$$a = 1.05 \text{ et } b = 0.41$$

Le calcul de (Tr) sur tableau (05) dans un l'annexe

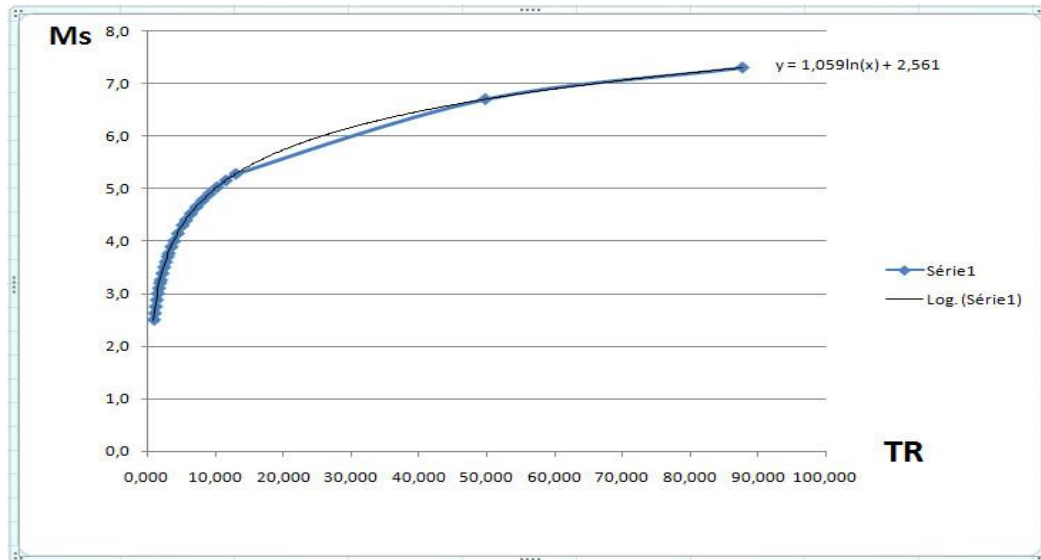


Figure 27 : Courbe d'aléa sismique de la région étudiée de période de (1900,2010) par Excel

$\dot{M} = a/b \dots \dots \dots (03)$ que le m ci la magnitude modale annuelle des fréquences

$\dot{M} = a/b = 1.05/0.41 = 2.56$

$\dot{M}_t = \dot{M} + \log_{10}(t)/b \dots \dots \dots (04)$ (\dot{M}) le magnitude maximal pour (t) temps données plus fréquente dans région

Avec $b=0.41$ constant et (t) données : (t=50 ;t=100 ;t=200)

T	t=50	t=100	t=200
$\dot{M}_t = \dot{M} + \log_{10}(t)/b$	6.70	7.43	8.17

$P(m ; t) = 1 - \exp [-10^a(t).e^{-b(p(m,t) \ln 10)}] = \lambda(m ; t)$

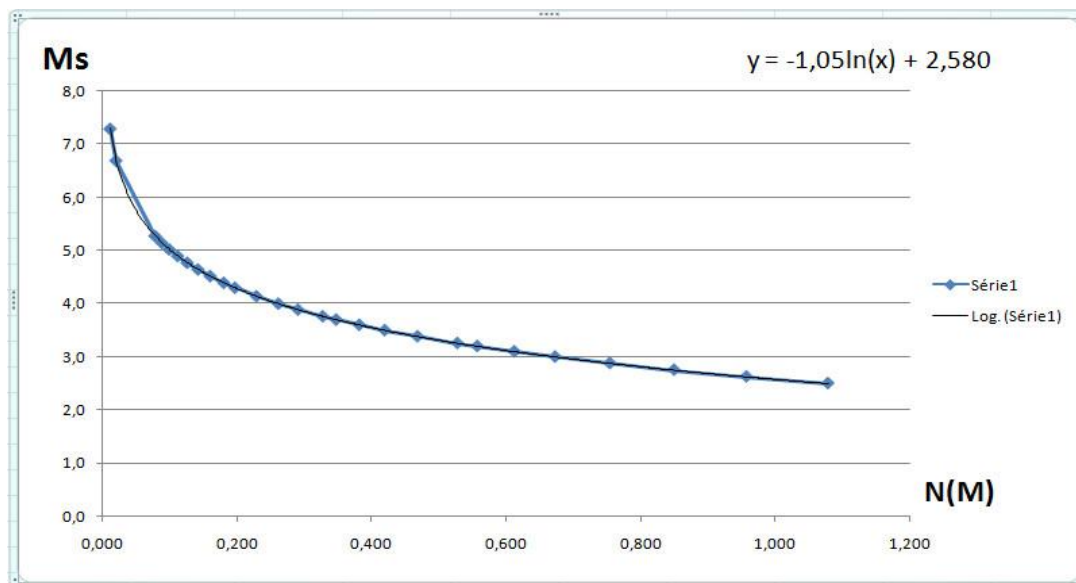


Figure 28 : Courbe d'aléa probabiliste de la région étudiée de période (1900,2003) par Excel

I.2- Approche de Gumbel (1958) :

L'approche de Gumbel est une méthode statistique reposant sur les classements ordinal des événements sismiques relatif a la période d'observation pour modéliser l'activité sismique de la région Chélif par cet approche nous avons évalués les neveux paramètres sismogènes α et β :

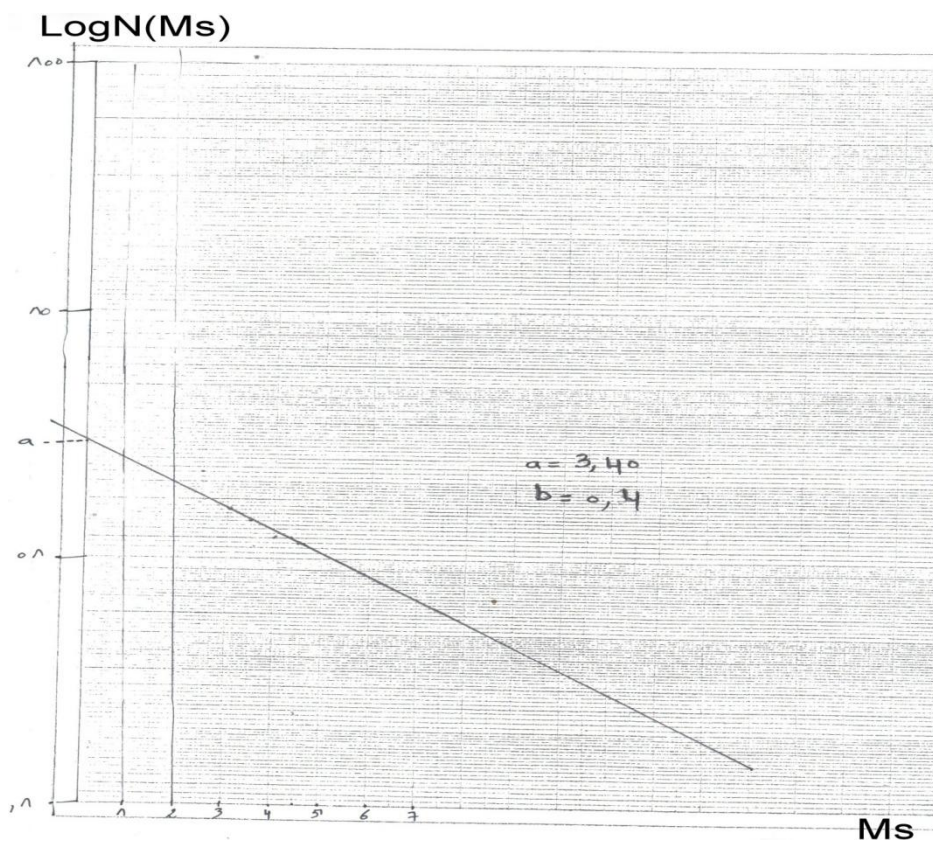


Figure 29 : Ajustement de droite du Gumbel.

Sur le diagramme semi-log (Fig.29), on choisies les valeurs optimales des (M_s) en fonction $\log N(M_s)$, étant (a) le coefficient de variabilité ($a=3.1$) est déterminé par l'ordonnée a l'origine de l'axe des abscisses ($M_s=0$), quant au coefficient ($b=0.41$) est déterminé par le remplacement de la valeur (a) dans la relation fondamentale (relation 01)

Pour la transformation de (a) et (b) en alpha et betha, nous avons utiliser la loi de probabilité d'occurrence de dépassement Gumbel (GEV) : $G(M_s)=\text{Exp}[-\alpha*\exp(\beta*(M_s))]$

$\alpha=10^a$ et $\beta=b*\ln(10)$

Pour le calcul les périodes de retour Tr , on doit d'abord calculer les fréquences

$N(M_s)$., rappelant que $N(M)=-\ln(G(M_s))$, dont $Tr=1/N(M_s)$

Voir le résultat sur le tableau(06) dans un l'annexe

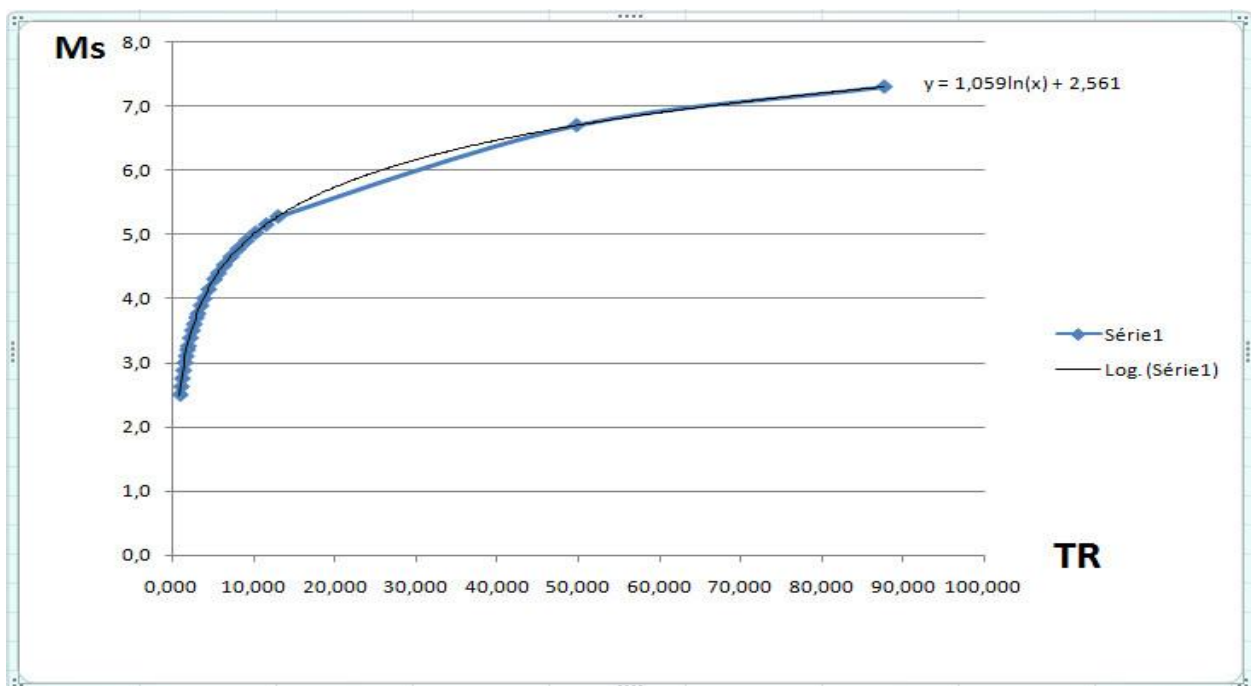


Figure 30 : Courbe d'aléa sismique de la région étudiée de période de (1900,2010) par Excelle

II-Comparaisons entre les résultats obtenus de deux méthodes :

1^{er} méthode de Gutenberg Richter est une méthode fréquentielle des événements sismiques permettant la modélisation de la courbe de la sismicité régionale du Chélif.

Les paramètres d'aléa calculs sont l'occurrence N et Tr qui ont des valeurs respectives (tableaux 06 sur l'annexe). Quant à la seconde méthode de Gumbel est une méthode rapide basée sur les données statistiques et sur les valeurs extrême (GEV).

Les résultats obtenus sur les paramètres de sismicité régional de Chélif sont très corrélables et qui ont permis d'arrêter les courbes d'aléa sismiques ; pratique à notre exercice du calcul d'aléa. Dont l'extrait des ce calculs ce représenté sur le tableau suivants :

Tableau 07 : Résultat de Modélisation de G. Richter et de Gumbel

Modélisation de G. Richter 1956		Modélisation de Gumbel 1958	
Ms	Tr	Ms	Tr
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
5.3	12.98	5.3	12.74
6.7	49.74	6.7	48.84
7.3	87.70	7.3	86.05

Introduction :

Le besoin de définir intensité maximale de certaines sources sismiques est nécessaire dans l'étude de l'aléa sismique et la prévention des risques attendus pour certains sites. L'insertion des paramètres sismogènes dans l'élaboration d'une étude du risque sismique constitue une donnée nécessaire dans les travaux d'engineering du génie civil. C'est pour cette raison que l'étude du risque sismique devient de plus en plus demandée. Une bonne connaissance de la nature des terrains et leur état de stabilité contribueront à l'estimation du risque par le biais du calcul de leur l'aléa et du zonage sismique.

Le calcul d'alea sismique représente une composante importante dans les traitements des programmes socio-économiques d'un pays. Le choix des normes parasismiques devient une nécessité pour l'emplacement des ouvrages qui répondent aux paramètres de la résistance des matériaux, de leur longévité en l'occurrence d'intensité sismique et de la période de retour de cet événement.

Vu ces conditions, il serait donc nécessaire de prendre toutes les mesures pour le choix de la méthode de calcul d'aléa sismique d'une région vulnérable à cet énigme et le calcul des paramètres géotechniques liés au site. En effet, la question du choix des paramètres sismiques, nécessite une connaissance pluridisciplinaire et intégrée qui permet de faire associer les observations géologiques, séismotectonique et géotechniques pour la définition d'un canevas relatif aux normes parasismiques dont réagit la forme des ouvrages envers les ondes de volumes, 'P' et 'S' potentielles à l'effet de site affectant le terrain. Pour réduire des effets d'aléa sismique, il est important de connaître les caractéristiques régionales et locales du site examiné ainsi que son activité sismogènes à des échelles distinctes: local et régionale. (Nadji, 2010)

II-Organigramme de la démarche d'évaluation d'aléa sismique :

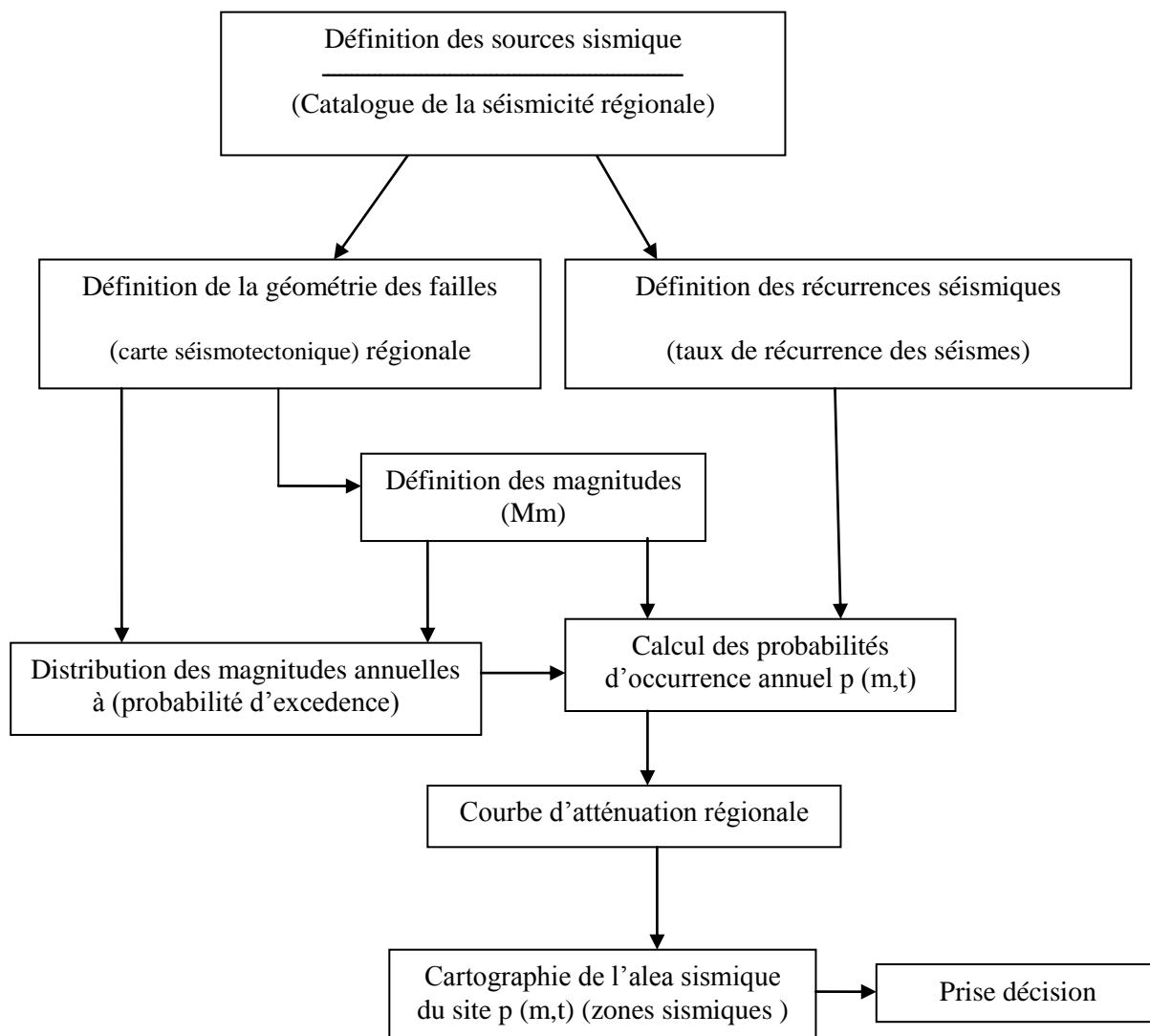


Figure 31 : Organigramme de calcul de l'aléa sismique. (Nadji, 2010).

III-Paramètres d'évaluation de l'aléa :

Les paramètres fondamentaux dans la définition de l'aléa sismique reviennent au mouvement du sol; liés notamment aux enregistrements de l'accélération, ou de la vitesse des ondes sismiques, le temps où durée du séisme, ainsi que la fréquence de sa résonance. La base de l'élaboration des normes parasismique des ouvrages tient compte de la définition des caractéristiques du mouvement du sol; donnés par les 'Puncted Accélération Ground'; PAG relatifs des futurs séismes à périodes de retours distinctes (100, 200 et 500 ans). La probabilité de la définition de ces paramètres est d'une grande importance pour l'authenticité des résultats qu'on obtiendra par l'analyse de la stabilité sismique envers la construction. La nature et les

causes de l'intervention de ce phénomène par des méthodes déterministes existantes nécessitent le traitement statistique de données tirées du catalogue régional de la sismicité et du modèle séismotectonique régional. Le calcul de l'aléa se base sur les théories mathématiques du domaine des probabilités statistiques qui ont un grand ressort pour définir le nombres d'événements pouvant se produire durant une période donnée et de calculer la probabilité d'occurrence moyenne et annuelle pour un seuil donné d'intensité et/ou de magnitude pour un site dont il découle l'aléa sismique .

La détermination de la fréquence des séismes pour chaque source (zone) de la sismicité pour marquer la dépendance des événements en fonction de la relation de Gutenberg et Richter et donnée par:

$$\text{Log } N(M) = a - b \cdot M$$

Les coefficients (a) et (b) constitues les paramètres d'évaluation de l'activité sismiques des déférentes régions sur une période de temps donnée.

- un seconde composante sera consacre de calcul des aléas probabiliste en utilisant respectivement la probabiliste d'occurrence de dépassement ou non dépassement selon la démarche de J.Curtis (1973).

$$P(m,t) = \lambda(m,t) = 1 - \exp[-10^a \cdot (t) \cdot \exp^{-b \cdot m \cdot \ln 10}] \dots \dots \dots (2)$$

En fin l'alea sismique serait convertit en période de retour $T = 1/p$ (m.t) pour mieux exprimer le délai en temps et délimiter le champ potentiel d'une activité sismique (échelle régionale).

Dans le calcul de l'aléa sismique, on utilise fréquemment une probabilité de dépassement ($p = 10\%$) pour estimer dans un temps moyen de $t = 50$ années; qui correspond à une durée de la demi-vie d'un bâtiment. Pour une période du retour ($T_r = 475$ années).

L'estimation de la périodicité se réalise par la relation suivante: $T_r = -t / \ln(1-p)$

Notant que cette donnée rentre dans l'évaluation quantitative de la probabilité d'occurrence annuelle d'un séisme ayant une magnitude maximale (M) pouvant affecter une région donnée. Cet aléa peut être cartographié au moyen d'un maillage approprié avec le report systématique de valeurs calculées $P(M)$. (Nadji, 2010)

IV-Approche déterministe d'évaluation de l'aléa :

Elle a pour but l'évaluation de l'événement sismique le plus violent pouvant atteindre le substrat (rocher) d'un site, ou d'une région. La démarche pour cette évaluation est:

- Analyse sismotectonique de la région (données structural et sismologique)
- Détermination des différentes unités sismotectonique (Failles, zones ou domaines de failles)
- Identification du séisme maximum connu pour chaque domaine, du Séisme Maximal Historiquement Vraisemblable (S.M.H.V) et de ses paramètres (magnitude M, profondeur focale(H), . . .).
- Rapprochement du séisme maximum de chaque domaine sur le point du domaine le plus proche du site étudié.
- Application des lois d'atténuation pour chacun de ces séismes possibles (cf. loi d'Esteva).

L'évaluation déterministe de l'aléa sismique régional est la première étape d'une protection totale des ouvrages contre les séismes. Elle est obligatoire pour les ouvrages à risque spécial, pour lesquels on n'admet pas d'échec.

IV-1/ Loi d'atténuation des (PGA) :

Les relations d'atténuation du mouvement de sol décrivent les variations du pic maximal de l'amplitude de l'accélération au sol (Peak Ground Acceleration) et de la réponse spectrale de cette même accélération pour une période de vibration et un taux d'amortissement spécifique lors d'un événement sismique. Ces relations sont développées en tenant compte de la distance du site à la source sismique. Les mouvements du sol ou vibrations induites par les tremblements de terre sont influencés par :

- 1) les caractéristiques de la source sismique
- 2) la direction de propagation des ondes sismiques à travers le sol et
- 3) des conditions géologiques locales du site (Boudiaf et al ,2003).

V-Calcul d'aléa sismique de la région de chlef:

En peut présenter le calcul d'aléa selon plusieurs étapes :

- ❖ Premier étape : choix des sites le plus proche à la source sismique (faille) pour calculer les distances entre chaque site de la source sismique (fig.32) correspondante :

- ❖ Deuxième étape : la détermination de la magnitude maximale de chaque période imposé [M(50), M(100), M(200)] à partir de la distance entre les sites et leurs sources sismiques (failles) par extrapolation de la courbe d'aléa sismique (fig.33).
- ❖ Troisième étape : on utilise la courbe d'atténuation d' Esteva-Villaverde (1973), pour estimer les accélérations du sol en unité gravitaire (g), en fonction distance (km) pour déterminer le PGA de chaque site (fig.34).

La détermination de distance et le PGA de chaque site se présente en (tableau 08)

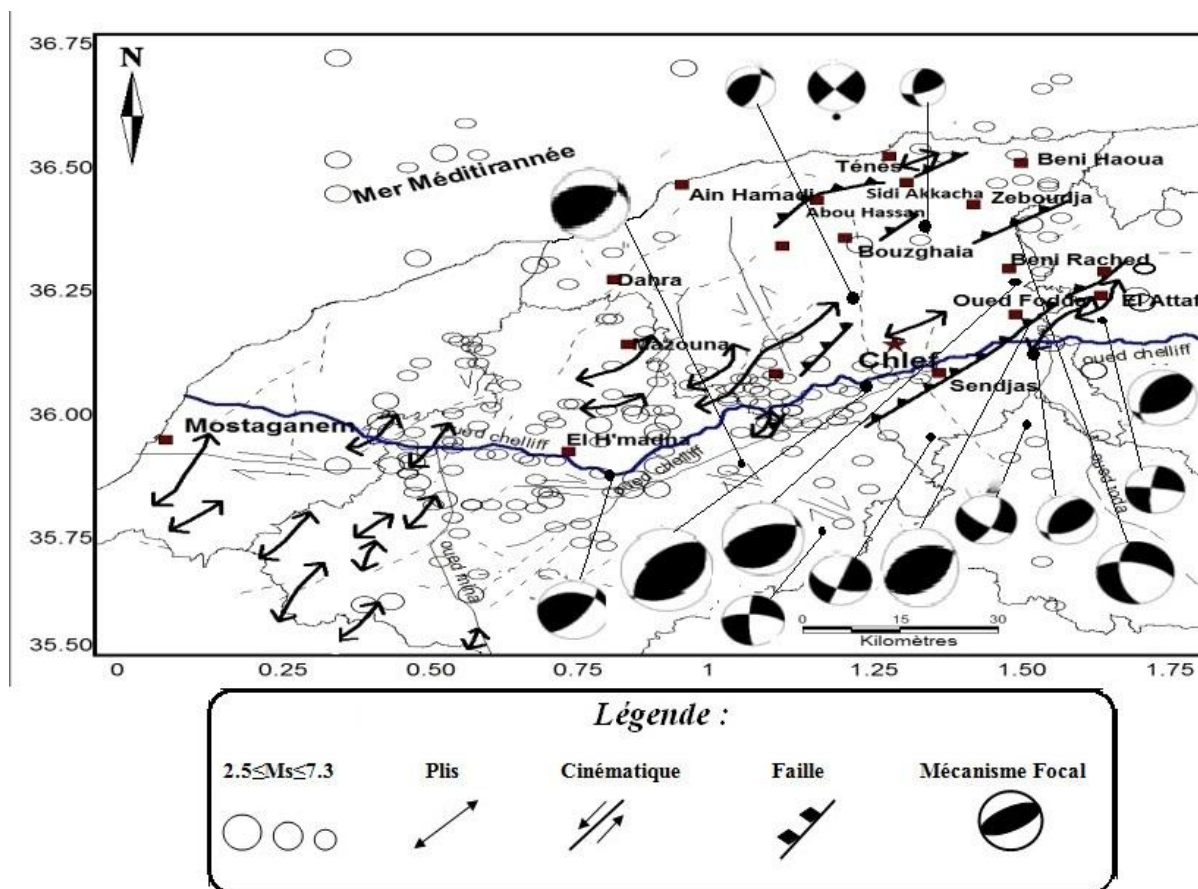


Figure 32 : Carte séismotectonique de la région Chélif pour calculer les distances entre les sites et leur source sismique

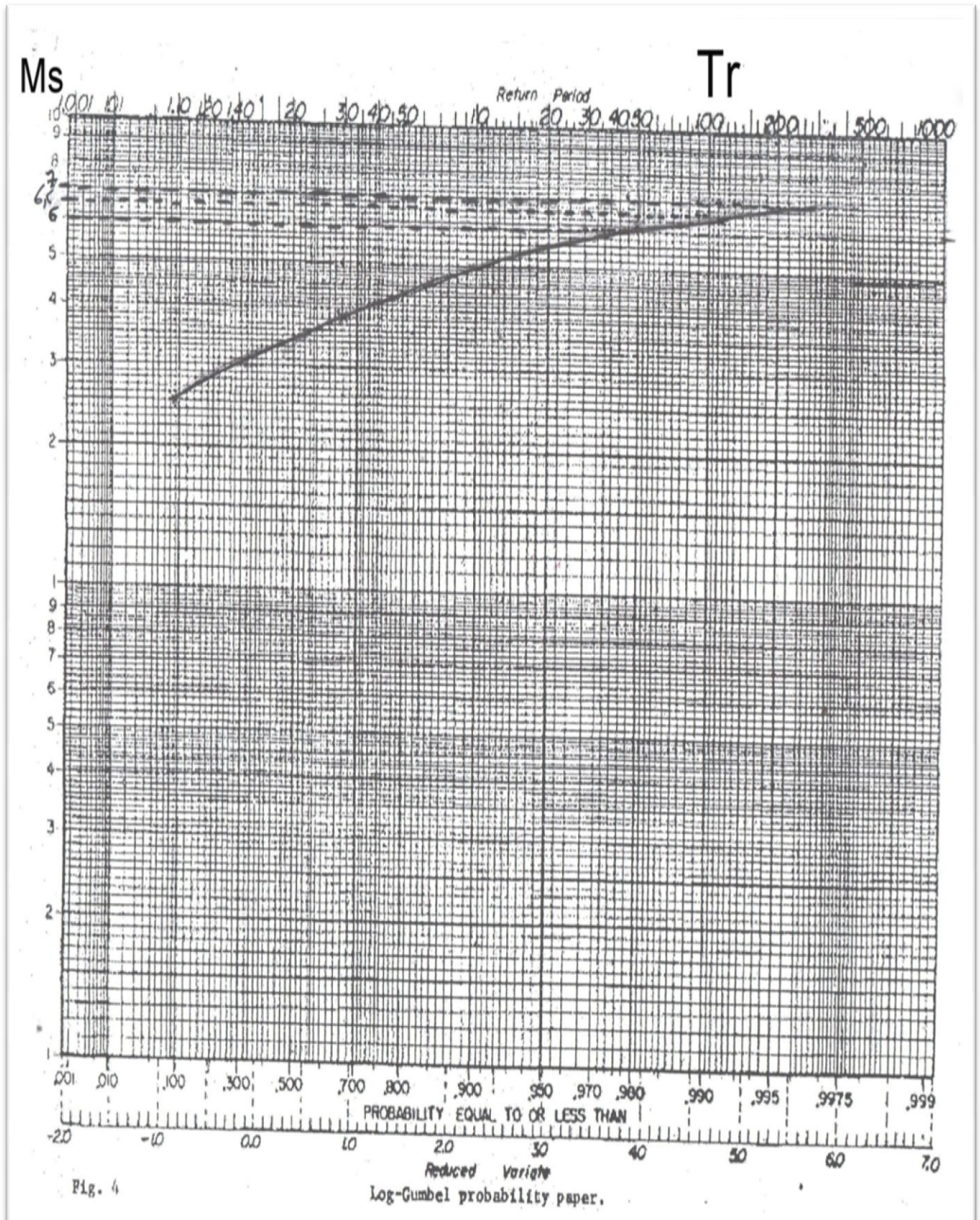


Figure 33 : Courbe d'aléa sismique (manuelle).

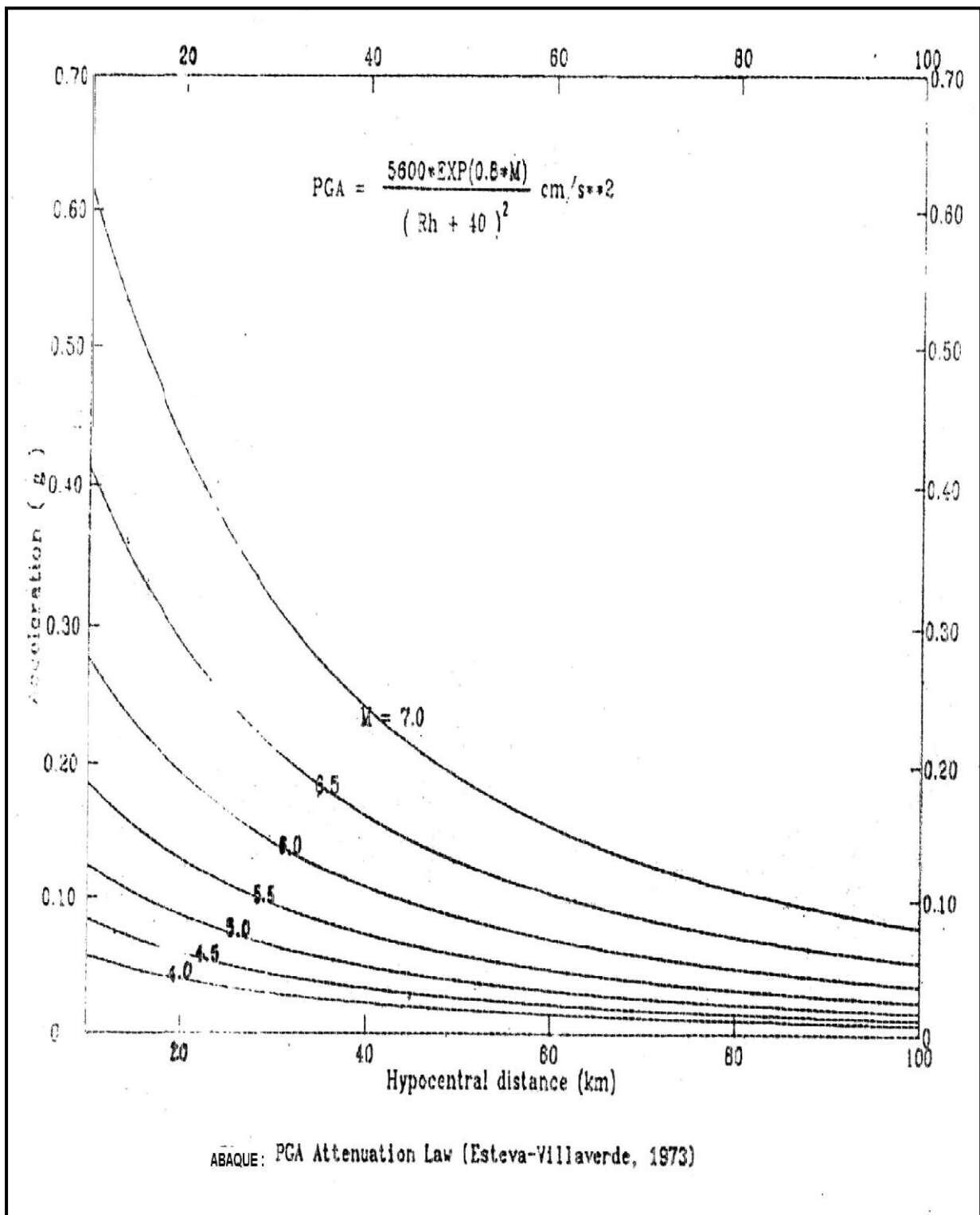


Figure 34 : courbe d'atténuation de (Esteva 1973).

Tableau 08 : D'évaluation des accélérations sismique (PGA) de la région selon les périodes de retour (Tr50, Tr100, Tr200).

sites	Longitude	Latitude	Distance	50-ans péroide de retour (PGA)	100-ans péroide de retour (PGA)	200-ans péroide de retour(PGA)
Ténès	1.31	36.50	08	0.24	0.37	0.55
Abou Hassen	0.19	36.41	10	0.23	0.36	0.54
Ain hamadi	0.96	36.44	22	0.19	0.28	0.41
Zeboudja	1.46	36.40	11	0.23	0.36	0.54
Dahra	0.85	36.25	14	0.22	0.34	0.50
Beni rached	1.51	36.27	15	0.22	0.34	0.49
El attaf	1.67	36.22	03	0.27	0.40	0.60
Oued fodda	1.53	36.18	09	0.24	0.36	0.54
Chlef	1.32	36.12	13	0.23	0.34	0.51
Boukadir	1.12	36.06	09	0.24	0.36	0.54
Sendjas	1.40	36.06	10	0.23	0.36	0.54

Les résultats de l'évaluation de l'aléa sismique sur les 11 sites choisis sont présentés dans le tableau (Tab.08) en termes de pic d'accélérations maximum (PGA) pour les périodes de retour de 50, 100, et 200 ans. Ces périodes de retour ont été sélectionnées pour l'établissement de la carte d'aléa sismique de la région d'étude. Les données de ce tableau sont obtenues des résultats de la courbe bilog - probabiliste (Fig.33).

La cartographie d'aléa sismique relative à l'accélération du mouvement de sol est réalisée grâce à l'abaque Esteva-Villaverde (1973) (Fig.34). Cette L'abaque d'atténuation des ondes sismique est choisie comme étant la meilleure de l'abaque pour évaluée (PGA) en fonction des distances d'atténuation des ondes sismiques, cette dernière permet d'estimer le PGA en fonction des distances qui séparent le site de référence par rapport à la source sismique ou plusieurs sources identifier.

VI- Cartographie d'aléa sismique de la région :

A partir des calculs d'aléa sismique, on élabore un jeu des cartes thématiques des aléas sismique pour chaque période envisage (50 ans ; 100 ans ; 200 ans).

VI-1/Carte d'aléa sismique de période 50 ANS :

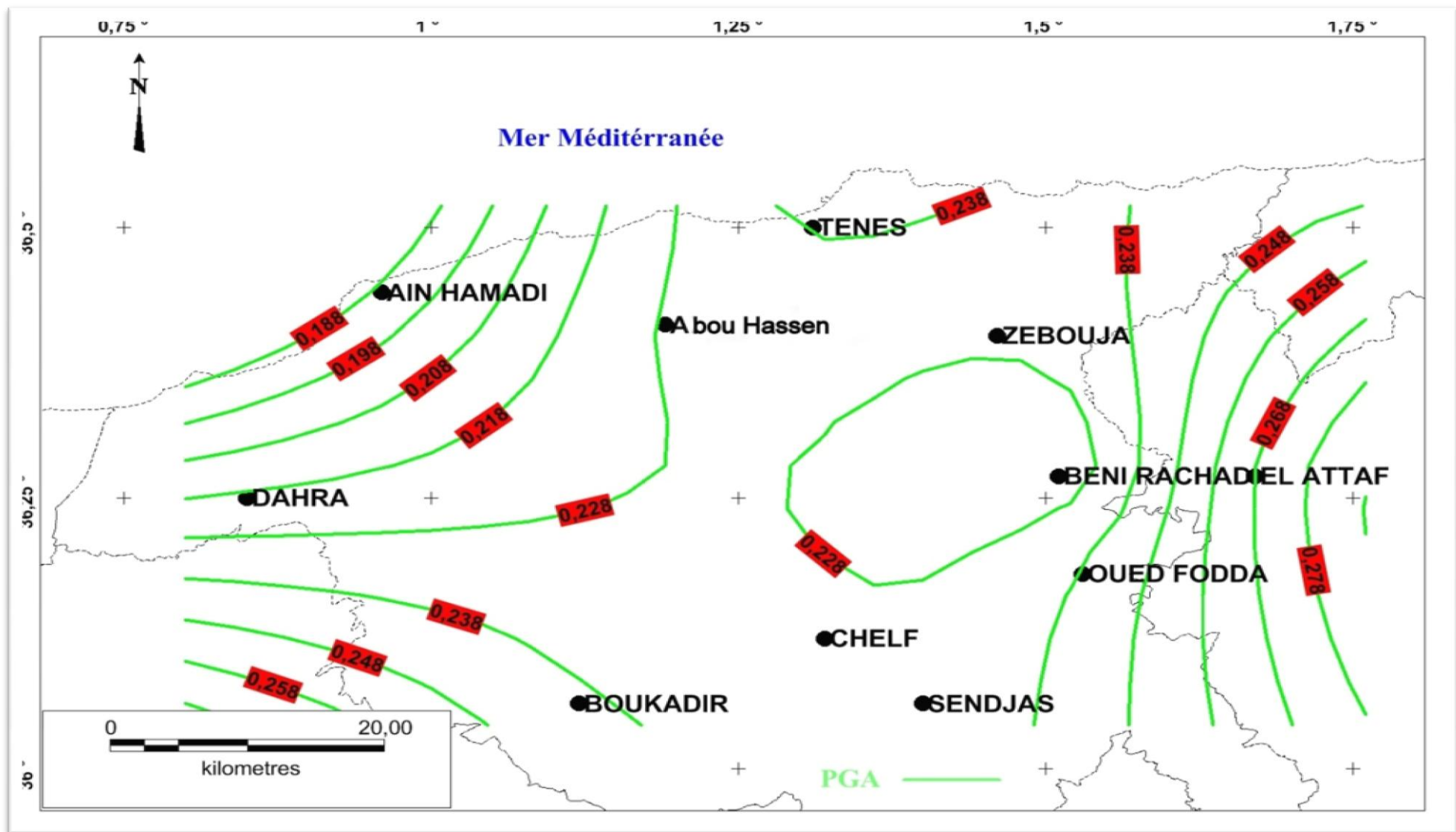


Figure 35 : Carte d'aléa sismique de la région de Chélif de la période de 50 ANS

VI.1.1 Interprétation de la carte d'aléa sismique de Chélif période 50 ans :

- Les courbes d'aléa sismique sont interprétées par leur composantes d'accélération sismique, montre une répartition non homogène sur l'ensemble de région chlef dont trois segments sont distingué :
 - Les courbes PGA augmentent en valeurs déterminant ainsi une activité sismiques Moyenne depuis la côte de Ain Hamadi jusque Chélif et Sendjas de valeur PGA(0.18 a $\leq 0.23(m/s^2)$
- Au centre de la carte thématique apparaît une boucle de PGA à valeur constante PGA=0.22 qui s'étend sur le nord du Chélif a Beni Rached et Zeboudja (Zone a risque sismique importante).

A la partie orientale de la carte, montre une particularité intéressante concernant la répartition de PGA qui augmente en valeurs d'accélération moyenne à fort (0.22 a $\leq 0.27(m/s^2)$

- la configuration géométrique de cette carte d'aléa exprime l'effet d'un jeu d'accédant profonde de décrochement dextre qui correspond à une phase d'extension tectonique notable suivant l'axe NNW-SSE (l'axe Abou Hassan et Sendjas).

VI-2/Carte d'aléa sismique de période 100 ANS :

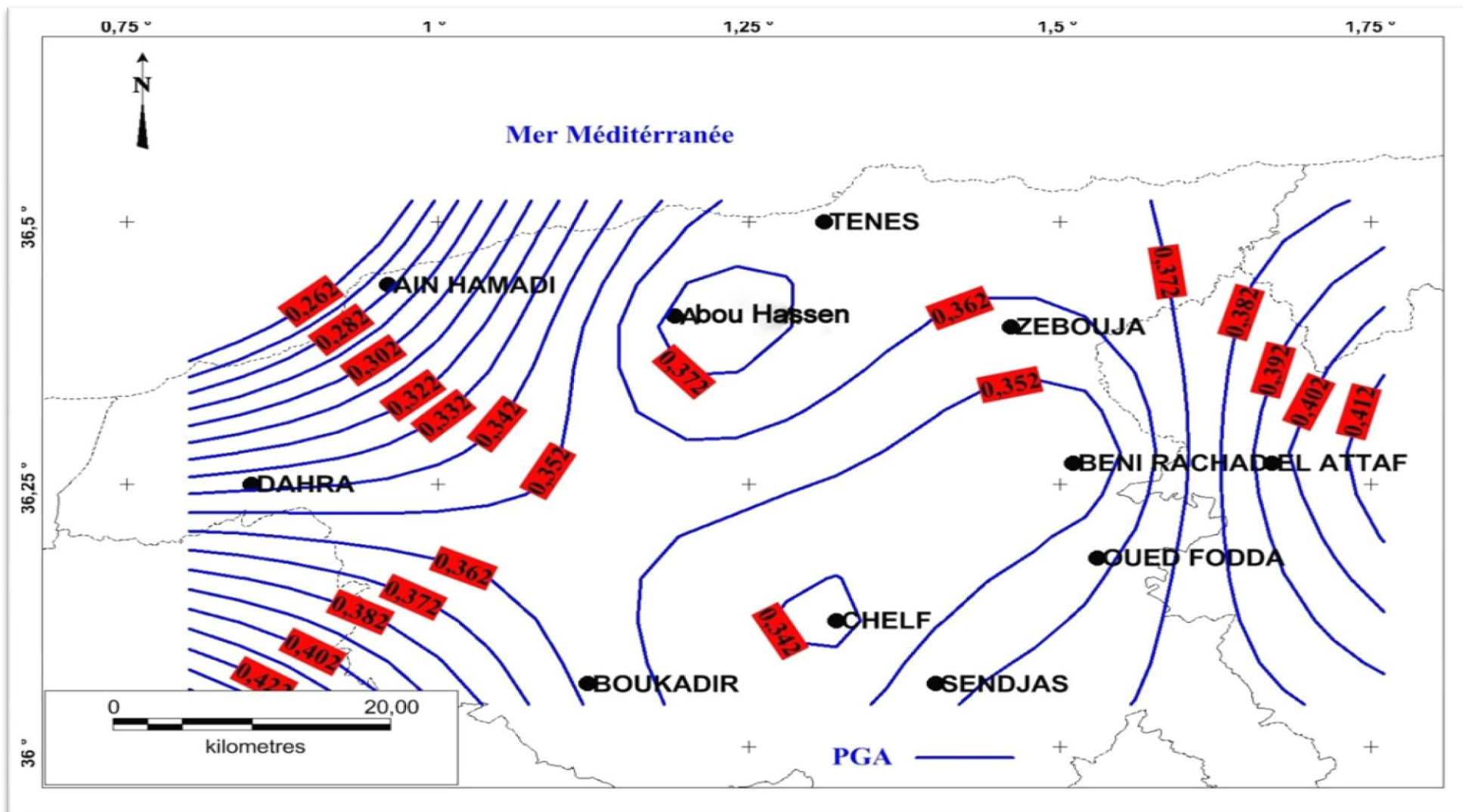


Figure 36 : Carte d'aléa sismique de période de 100 ANS

VI.2.1 Interprétation de la carte d'aléa sismique de Chélif période 100 ans :

- Les courbes d'aléa sismique sont interprétées par leurs composantes d'accélération sismiques, montrant une répartition non homogène sur l'ensemble de région chlef qui segmentée trois partie distinctes :
 - Les courbes PGA augmentent en valeurs marquant une activité sismique moyenne depuis la cote de Ain Hamadi jusque Chélif et Sendjas de valeur PGA(0.26 a \leq 0.34)
 - Comme estimation d'activité sismique moyenne
- Au centre de la carte thématique apparait en deux boucle de valeurs de (PGA) important, boucle à Abou Hassen d'un PGA=0.37 et boucle de Chélif d'un PGA=0.34

Qui s'étend de Chélif a Beni Rached ,Zeboudja et Abou Hassen (Zone à risque sismique importante) de magnitude $M_s \geq 6.5$ (apparition des failles à surface).

- A la partie orientale de la carte montre une particularité intéressant dans la repartitions des PGA qui augmente en valeurs d'accélération moyenne à fort (0.37 a \leq 0.41)
- la configuration géométrique de cette carte d'aléa exprime cette fois l'effet d'accélération décrochement sénestre due à une phase de compression tectonique notable sur l'axe NE-SW (l'axe Zeboudja et Boukadir).

VI-3/Carte d'aléa sismique de période 200 ANS :

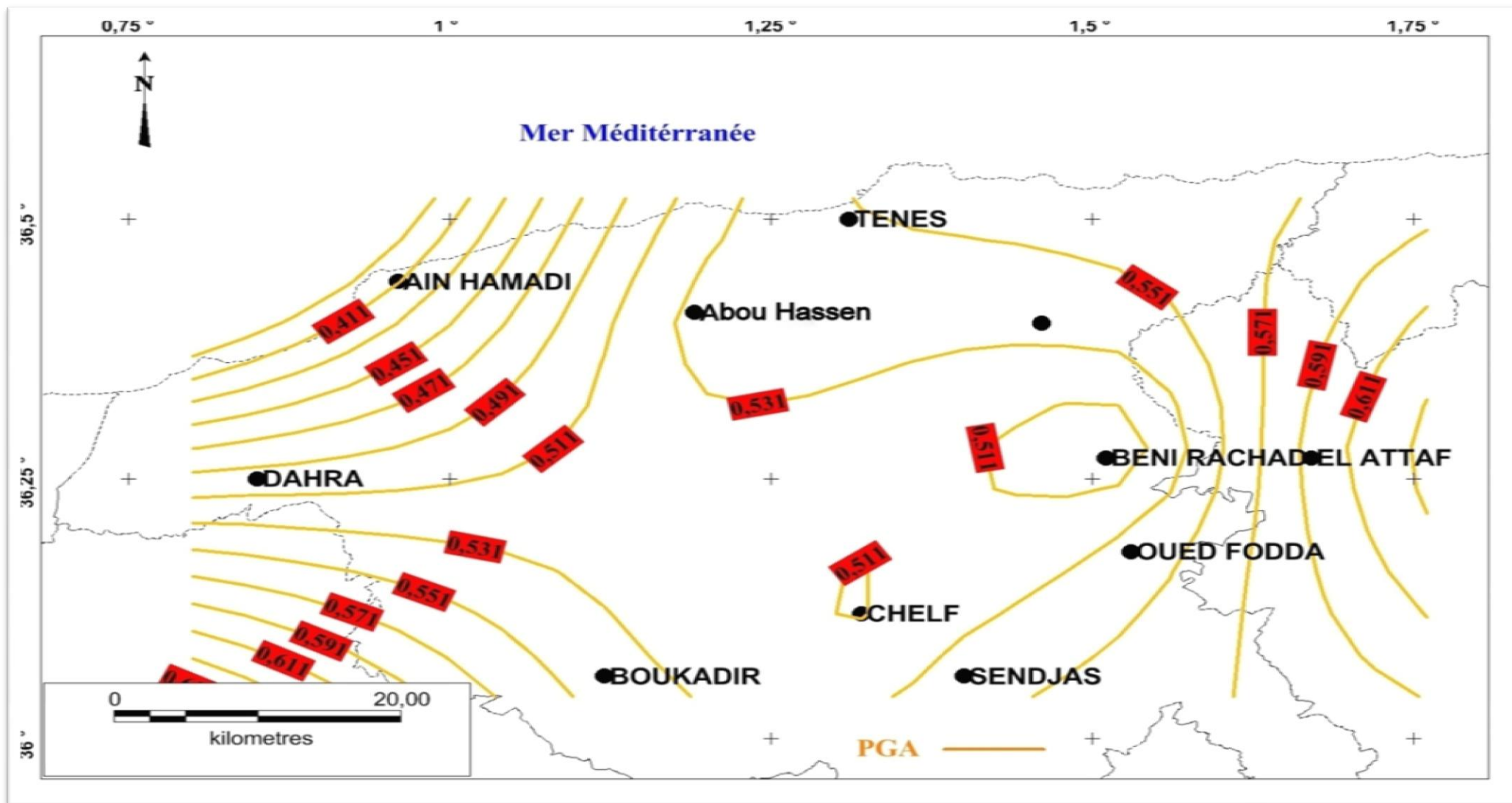


Figure 37 : Carte d'aléa sismique de période de 200 ANS

VI.3.1 Interprétation de la carte d'aléa sismique de Chélif période 200 ans :

- Les courbes d'aléa sismique sont interprétées par leurs composantes d'accélération sismique, montrant une répartition non homogène sur l'ensemble de la région chlef où trois segments sont identifiés :
 - Les courbes PGA augmentent en valeurs depuis la cote littoral de Ain Hamadi jusque Chélif et Sendjas des valeurs PGA(0.41 a ≤ 0.51)
- Au centre de la carte thématique apparait deux boucles de PGA , boucle a Beni Rached d'un PGA=0.51 et boucle de Chélif d'un PGA=0.51 (m/s^2)

Qui s'étend de Chélif a Beni Rached et Abou Hassen (Zone à risque sismique la plus importante).

- A la partie orientale de la carte en marque une particularité important dans les répartitions de PGA qui augmentent en valeurs d'accélération fort à très fort (0.57 à $\leq 0.60(m/s^2)$)
- la configuration géométrique de cette carte d'alea exprime l'effet d'accident séismotectonique régionale décrochement dextre d'une phase de compression + cisaillement notable selon l'axe ENE-WSW (l'axe Beni rached et Dahra).

Conclusion Général

Conclusion général :

L'objectif de notre travail est d'apporter une contribution pratique à l'étude d'aléa sismique sur la région Chélif qui située sur un segment important de la ceinture orogénique des Maghrébides (Tell algérien). Ce constat envisage le traitement de plusieurs données à variantes complémentaires telles que la morpho structure, la séismotectonique, la géomantique et la sismologie instrumentale et historique. Notant que la région du Chélif à connu depuis le Miocène jusqu'à l'actuel plusieurs phases tectoniques de nature distincte dont l'enregistrement reste bien conservé au sein des facies sédimentaires et sur les reliefs et vallées gardant encore la trace des dernières déformations occasionnées par les événements dévastateurs, en particulier ceux de l'année (1954) et de l'année (1980). Cette zone tellienne à réputation sismique, par rapport aux autres régions de l'Algérie occidentale, se place en position centrale de l'axe sismogènes défini par Mac-Kenzi qui s'orientent d'Est en Ouest conformeront à la ceinture orogénique du Tell algérien. Cet axe séismotectonique délimite en effet les principales entités de plaques tectoniques : de l'Afrique & de l'Eurasie ou une zone de collision intra-plaques est bien lisible.

Les données sismiques que nous avons exploitées sont de plusieurs sources d'inventaires et de catalogues nationaux et étrangers dont leur traitement a permis le classement et la complétude des événements sismiques en plusieurs catégories. Au total, plus de 225 événements sont examinés et représentés sous forme de diagramme et de cartes épicentrales représentatives de la sismicité régionale. Pour mieux gérer notre base de données sismique une ébauche statique a été envisagée par notre équipe des risques naturels & gestion d'où une liste d'inventaire sismique spécifique à la région du Chélif a été arrêtée pour l'état d'activité sismique des unités séismotectoniques des Monts « Dahra » et de « l'Ouarsenis » qui encadrent la wilaya du Chélif. Dans ce contexte, nous avons appréhendé plusieurs approches de calcul d'aléa et de représentation paramétrique des coefficients sismogènes intéressant la région d'étude.

L'utilisation des lois fréquentielles de Gutenberg Richter et de Gumbel ont permis d'estimer le coefficient de la variabilité sismique (a) et la vitesse de changement de la dynamique sismique (b). Une modélisation de la sismicité régionale a été en fin admise grâce à l'établissement de courbes fréquentielles de l'aléa sismique $N(M_s)$ mettant en évidence l'état d'occurrence sismique en fonction des périodes d'observation (projetées) imposées respectivement en (t=50) années, en (t=100) ans et en (t=200) ans. L'interprétation de ces cartes thématiques a donné de bonnes réponses aux sollicitations de contraintes

Conclusion Général

séismotectonique régionales qui admettront le modèle tectonique de Riedel comme un canevas d'orientation de notre recherche sur l'état de la distribution de l'activité sismique en terme d'accélération du mouvement du sol (PGA). La configuration géométrique des différentes cartes thématique à permis de suivre l'évolution spatiale de l'activité sismique régionale, et d'optimiser l'état critique des dommages potentiels lors des périodes d'observation envisagées

Etant donne que l'aléa sismique régional est omniprésent est qu'on y peut rien faire à l'arrêter, on propose alors des solutions liées plutôt à la vulnérabilité des sites pour atténuer le risque qui menace les grandes agglomérations et d'entreprendre les méthodes géotechniques les plus efficaces pour contrecarrer les accélérations de pointes (PGA) sur les sites et les villes à agglomération notable tels : ville de Chélif, béni rached, Ain-Defla et Sendjas.

References Bibliographiques

AMBRASYES, N.N. and J. VOGT (1988). Material for the investigation of the seismicity of the region of Algiers, Eur. Earthquake Eng., 3, 16-29.

Anderson H. and J. Jacjson (1987). Active tectonics of the Adriatic region. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 91, 937-983.

Aouadi A. et al (2006). Etude de la bordure sud du bassin Chellif .DRN, SH-Exploration, Boumerdes, Algérie.

Beldjoudi, H. (2003). Calcul des solutions focales par l'approche de variation du champ des contraintes principales: Application aux répliques du séisme d'El Asnam (Ech-Chlef) du 10 octobre 1980. Thèse de magister de l'Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB), pp. 163.

Benhallou H. (1985). les catastrophes sismique de la région de Chélif dans le contexte de la séismicité historique de l'Algérie, PhD .Thèses, USTHB, Alger, p223.

Benhallou H. (1985). les catastrophes sismique de la région de Chélif dans le contexte de la séismicité historique de l'Algérie, PhD .Thèses, USTHB, Alger, 294 pp.

Benhallou H. (1985). les catastrophes sismique de la région de Chélif dans le contexte de la séismicité historique de l'Algérie, PhD .Thèses, USTHB, Alger, pp 123-124.

Benouar, D. (1994). The Seismicity of Algeria and the Maghreb during the Twentieth Century, Ph.D. Thesis, Imperial College London, U.K.

Boudiaf A. (1996). Etude séismotectonique de la région d'Alger et la Kabylie. Thèse de Doctorat D'Université, de Montpellier II, 273 p.

Cisternas, A., Dorel, J. And Gaulon, R. (1982). Model of the complex source of El Asnam earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 2245-2266.

Centre De Recherche En Astronomie, Astrophysique et Géophysique. Les Séismes En Algérie De 1365. Banque De Données Sismologique.

Deschamps, A., Gaudemer, Y & Cisternas, A. (1982). The El-Asnam Algeria earthquake of 10 October 1980: multiple source mechanism determined from long period record, Bull. Seism. Soc. Am., 72, 1111-1128.

Groupe de Recherche Néotectonique de l'Arc de Gibraltar (1977). Structure actuelle et évolution depuis le miocène de la chaîne Rifaine (partie de l'Arc de Gibraltar). Bull.Soc.Géol.France, p :786-789

- Lammali, K., Bezzeghoud, M., Oussadou, F., Dimitrov, D. and Benhallou, H.(1997).** Postseismic deformation at Asnam (Algeria) in the seismotectonics context of North Western Algeria. *Geophys. J. Int.*, 129, 597-612.
- M.H.A.T (2004).** Rapport Risque sismique et redéploiement des activités et de l'urbanisation.
- Mc KENZIE, D. (1972).** Active tectonics of the Mediterranean region: *Geophysical journal of the royal astronomical society*, V., 30,P 109-185.
- Meghraoui M. (1988).** Géologie des zones sismiques du nord de l'Algérie. paléosismologie, tectonique active et synthèse sismotectonique. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Paris-Sud, 356 pp.
- Meghraoui M., Cisternas A. and Phillip H. (1986).** Seismotectonics of the Cheliff basin: Structure background of the El-Asnam earthquake, *Tectonics*5, 809-836.
- Meghraoui, M. (1988).** géologie des zones sismique du nord de l'Algérie, tectonique active,paléoséismologie et synthèse sismotectonique, Ph.D. thèse, 336 pp., Univ.de Paris-Sud Orsay, Paris.
- Meghraoui., M and , Doumaz., F. (1996).** Earthquake-induced flooding and paleoseismicity of El Asnam (Algeria) fault-related fold.*J.Geophys.Res.*, 101, 17617-17644.
- Mokran, A., Ait Messaoud, A., Sebai, A., Menia, N., Ayadi, A. and Bezzaghoud, M. (1994).** Les séismes en Algérie de 1365 à 1992, Publication du Center de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique, supervised by M. Bezzaghoud and H. Benhallou, Alger-Bouzaréah, 277 pp.
- Molnar P. and P. Topponnier (1975).** Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision. *Science*, 189, 419-425.
- Nadji, M.(2010).** Etude sismotectonique du littoral oranais : Contribution a l'alea sismique, Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'oran,pp 196-200.
- Ouyed, M. (1981).** Le tremblement de terre d'El Asnam du 10 Octobre 1980: Etude des répliques, Ph.D. thesis, 227 pp., Uni. de Grenoble, France.
- Ouyed, M., et al. (1981).** Seismotectonics of the El Asnam earthquake, *Nature* 292, 26-31.
- Ouyed, M., Yielding, G., Hatzfeld, D. and King, G.C.P. (1983).** An Aftershock study of the El Asnam (Algeria) earthquake of 10 Octobre 1980, *Geophys. J. R. astr. Soc.*
- Perrdon, A., 1957.** Étude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale. *Bulletin du service de la carte géologique d'Algérie.* 12 : 1-382.
- Phillip H., (1983).** La tectonique actuelle et récente dans le domaine Meditteraneen et ses bordures, ses relations avec la sismicité.Thèse de Doctorat de l'USTL.

Phillip H., (1987). Plioquaternary evolution of the stress field in the Mediterranean zones of subduction and collision. *Annales Geophysicae.*, 5B, 301-320.

Rothé J.P. (1942). La sismicité des Alpes occidentales. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 5^{ème} série, II, 295-320.

Roussel, J (1973). les zones actives et fréquence des séismes en Algérie 1716-1970. *Bull.Soc.Hist.Nat.Afr.Nord.*64,n°3, 11-227

Ruegg, J. C., Kasser, M., Tarantola, A., Lepine, J. C. & Chouikrat, B., (1982).

Deformations associated with the El Asnam earthquake of 10 Octobre 1980: Geodetic determination of vertical and horizontal movements. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 72, n°6, pp. 2227-2244.

Tapponnier Paul, (1977). Evolution tectonique du système alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique [Tectonic Evolution of the Alpine system in the Mediterranean: punching and crushing rigid-plastic]. *Bull.Soc.Géol.France*, 7(2), 437-460.

Woodward-Clyde Consultants, (1984). Etude d'alea sismique, micro Zonation Sismique de la Region d'echllif algerie, v 1,alger.

Yelles-Chaouche, A.k.(2001). Recent Seismic Activity in Algeria, Workshop on the Geodynamics of the Western Part of the Eurasia-Africa Plate Boundary (Azores-Tunisia) San Fernando(Cadiz,Spain), 31 May-2 June.

Yielding G., Ouyed M., King. G.C.P. and Hatzfeld D. (1989). Active tectonics of the Algerian Atlas Mountains: Evidence from aftershocks of the 1980 El-Asnam earthquake. *Geophys. J. Int.*,99, 761-788.

Liste des Figures

Figure 01. Situation géographique de secteur d'étude.....	02
Figure 02. Cadre géologique général (Perridon, 1957-Mattauer, 1958).....	03
Figure 03. Structure du Tell- Centre Ouest –(Perrodon, 1957 ; Mattauer, 1958).....	07
Figure 04. Carte séismotectonique du Nord de l'Algérie montrant les principales structures actives observées dans le Tell (inspiré de Benouar et al., 1994).....	08
Figure 05. Carte Séismotectonique Régional du Cheliff.....	09
Figure 06: Carte localisation des principales unités géologiques composant la région du Maghreb et le pourtour de la Méditerranée occidentale.....	12
Figure 07: Carte morpho tectonique de l'ouest de l'Atlas tellien(Meghraoui (1988)).....	13
Figure 08: Carte sismicité historique et instrumentale de l'Algérie de 1365 à 2010 (Catalogue CRAAG).....	15
Figure 09 : Situation de région d'étude en contexte séismotectonique (Mac-Kenzi 1972).....	18
Figure 10 : Carte épacentres réplique des secousses de 1954 et 1980 dans le contexte de la Carte historique de la région. (Benhallou, 1985).....	20
Figure 11 : Carte montrant le mécanisme au foyer du séisme 09/09/1954 et séisme d'El Asnam du 10/10/1980 (CRAAG).....	22
Figure 12: Le séisme d'Orléansville inscrit à Strasbourg sur appareil wiechert : composante nord-sud.....	23
Figure 13: Cassure au bord de la route de Beni Rached coteau (photo Corset).....	23
Figure 14: Fissure à flanc de (photo J. Rothé).....	23
Figure 15: Séisme Orléansville 09-09-1954(CRAAG).....	24
Figure 16: Carte représente l'épicentre séisme du 09 septembre 1954 (Benhallou,1985)..	25
Figure 17 : Localisation du séisme d'El-Asnam du 10 octobre 1985 (Benhallou,1985).....	27
Figure 18 : Carte des intensités du séisme du 10/10/1980 Eche-Chélif-Zebouja (J.Dorel 1980).....	28
Figure 19 : Déplacement verticaux mesures le long de la rupture du séisme du 10/10/1980.....	29
Figure 20 : a) Carte montrant le mécanisme au foyer du séisme d'El Asnam du 10/10/1980.....	30

Figure 20 : b) Carte de la répartition des 1279 répliques bien localisées les traces de surfaces sont mentionnées par des lignes (Yielding et al., 1989).....	30
Figure 21 : Champ de déformation lié au séisme d'El Asnam de 1980.....	33
Figure 22 : Le séisme d'El Asnam 10 octobre 1980 (Ms 7.3) (CRAAG).....	32
Figure 23 : Effet du séisme d'El Asnam 10.10.1980 sur le bâti (CRAAG).....	34
Figure 24 : Effet du séisme d'El Asnam 10.10.1980 sur le terrain (CRAAG).....	35
Figure 25 : Effet du séisme d'El Asnam 10.10.1980 sur le Chemin de ferre (CRAAG).....	36
Figure 26 : Courbe d'activité sismique régionale par Excelle.....	39
Figure 27 : Courbe d'aléa sismique de la région étudiée de période de (1900,2010) par Excelle.....	40
Figure 28 : Courbe d'aléa probabiliste de la région étudiée de période (1900,2003) par Excelle.....	40
Figure 29 : Ajustement de droite du Gumbel.....	41
Figure 30 : Courbe d'aléa sismique de la région étudiée de période de.....	42
Figure 31 : Organigramme de calcul de l'aléa sismique. (Nadji, 2010). Modifié.....	45
Figure 32 : Carte séismotectonique de la région Chélif pour calcule les distances entre les sites et leur source sismique.....	48
Figure 33 : Courbe d'aléa sismique (manuelle).....	49
Figure 34 : Courbe d'atténuation de (Esteva 1973).....	50
Figure 35 : Carte d'aléa sismique de période de 50 ANS.....	53
Figure 36 : Carte d'aléa sismique de période de 100 ANS.....	55
Figure 37 : Carte d'aléa sismique de période de 200 ANS.....	57

Liste tableaux

Tableau. 1 : Historique de la sismicité en Algérie de 1365 à 2003(craag, 2002a2006)...	14
Tableau . 2 : Les majeurs séismes en chlef.....	21
Tableau. 3 : Catalogue régional de la sismicité.....	37
Tableau . 4 : Classement de magnitude.....	38
Tableau. 5 : Le calcule de (Tr) en fonction (Ms).....	39
Tableau. 6 : Représentation de la calcule G(Ms) et (Tr).....	42
Tableau. 7 : Résultat de Modélisation de G. Richter et de Gumbel.....	43
Tableau. 8 : D'évaluation des accélérations sismique (PGA) de la région selon les périodes de retour	51