

N° d'ordre :



République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

Faculté des sciences de la Terre et l'Univers

Département de Géologie

Mémoire :

Présenté pour l'obtention du grade de master en science de la terre et l'univers

Option : Risques géologiques

Etude comparative entre l'activité sismique des zones de littorale Ténès, Mostaganem et Arzew via l'approche fréquentielle

Présenté par

Delimi Khadidja

Le 06/07/2022

Devant le jury :

Mr Boursali Tewfik	Enseignant à l'université Oran 2	Président
Mm Ablaoui Halima	Enseignante à l'université Oran 2	Examinatrice
Mr Nadji Abdelmansour	Enseignant à l'université Oran 2	Rapporteur

Oran, 2022

Dédicaces

Je dédie ce travail :

À ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

À toi mon très chère père Nourdine, quoi que je fasse ou je dise, je ne pourrais jamais te remercier comme il se doit, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différentes obstacles.

À ma très chère mère Saliha, qui s'est toujours sacrifiée pour me voir réussir, tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager, que ce travaille traduise ma gratitude et mon affection.

À mes adorables petites sœurs Kawter et Doha Amina et mon très chère petit Frère Ibrahim Mohamed qui savent toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille.

À Mon très chère oncle Kaddour Merine et sa femme Asma qui n'ont jamais cessés de croire en moi, m'encourager, me soutenir, et m'encadrer tout au long de ma vie, aucune dédicace ne serait témoin de mon immense gratitude et de mon plus grand respect car je ne pourrais jamais oublier la bienveillance, la tendresse et l'amour dévoué par lesquels ils m'ont toujours entouré depuis toujours.

À ma grand-mère Rabia Hadj Doula et mon grand-père Hadj 'hmed Boukhalfa à qui je dois tout l'amour et le respect, merci pour les instants inoubliables.

À Mes tantes Khadidja et Naima et Mon oncle Sofiane Benseddik qui ont toujours été là pour m'encourager, m'encadrer, m'orienter et me motiver, vous êtes une vraie source d'espoir et un exemple à suivre dans la vie, que dieu vous protège et vous offre la chance et le bonheur.

À mon encadrant Monsieur Abdel Mansour Nadji pour ses connaissances dans le domaine qu'il a su partager avec moi, son soutien inconditionnel et sa bienveillance. Je dédie ce travail à tous ceux qui ont participé à ma réussite.

Khadidja Delimi

Remerciement

C'est un plaisir de remercier toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé durant la préparation de mon mémoire de master. Je veux leur exprimer ma sincère gratitude.

Tout d'abord, je tiens à remercier Mr Nadji Abdelmansour Professeure à l'université d'Oran 2, pour m'avoir proposé ce sujet et encadré de près et de loin de mes travaux de recherches.

Mes remerciements sont adressés aussi à Mr Boursali Tewfik enseignant à l'université d'Oran 2 qui a accepté de présider le jury de soutenance.

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à Mme Ablaoui Halima enseignante à l'université d'Oran 2 qui a accepté d'examiner ce modeste travail.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude envers l'ensemble des professeurs de département de géologie pour la qualité enseignement offerts.

Je tiens à remercier vivement mes collègues Riahi Samah , Belhadj Sara et Youcefi Fatiha pour le soutiens morale continue et sans cesse.

Enfin, un grand merci à tous ceux qui m'ont aidé à accomplir ce travail.

Résumé :

L'étude comparative entre l'activité sismique des zones côtières du littoral Oranais est d'une importance capitale pour établir les plans préventifs des réseaux sismiques à une échelle régionale. Connaissant la répartition latérale des épicentres et le recoupage sismotectonique des sites vulnérables sur l'ensemble du littoral Oranais associé aux données séismogènes qui ont permis d'envisager l'aléa sismique via l'approche fréquentielle et l'approche proba-statistique.

En effet, les études d'aléas sismiques pour les différentes unités (zones) ont permis de caractériser les modalités de chaque zone dont les paramètres b value constituent l'élément essentiel de l'activité sismique régionale. Les différentes approches utilisées ont contribué à l'inter-prévention de l'évolution dynamique de la sismicité tout au long de la bande atlasique tellienne de l'Algérie, ainsi décrit ce modeste travail.

Mots clés : littoral oranais – aléa sismique – approche fréquentielle.

Abstract:

The comparative study between the seismic activities of the coastal areas of the Oran coast is of paramount importance to establish the preventive plans of the seismic networks on a regional scale. Knowing the lateral distribution of the epicentres and the seismotectonic cross-section of the vulnerable sites on the entire Oran coast associated with the seismogenic data which made it possible to consider the seismic hazard via the frequential approach and the proba-statistical approach.

Indeed, the seismic hazard studies for the different units (zones) made it possible to characterize the modalities of each zone whose b value parameters constitute the essential element of the regional seismic activity. The different approaches used have contributed to the inter prevention of the dynamic evolution of seismicity throughout the Tellian Atlas band of Algeria, as described in this modest work.

Key words: Oran coast – seismic hazard – frequency approach.

SOMMAIRE

Remerciement et dédicaces

Résumé

Introduction générale

Chapitre I : Cadre géodynamique régional

- I. Introduction
- II. Cadre géodynamique de la méditerranée
- III. Contexte géodynamique et séismo-tectonique de la méditerranée occidentale
- IV. Contexte séismo-tectonique de Nord de l'Algérie

Chapitre II : Représentation de la région d'Etude

- I. Introduction
- II. Cadre géographique
- III. Cadre géomorphologique
- IV. Cadre géologique

Chapitre III : Les zones séismogènes du Nord-Ouest de l'Algérie

- I. Introduction
- II. Contexte tectonique
- III. La sismicité historique de Nord-Ouest de l'Algérie
- IV. Les principaux séismes de Nord-Ouest de l'Algérie
- V. Les zones séismogènes du Nord-Ouest de l'Algérie

Chapitre IV : Analyse et interprétation de l'alea sismique de Nord-Ouest de L'Algérie

- I. Méthode d'évaluation d'alea sismique
- II. Les étapes fondamentales d'évaluation d'alea sismique
- III. Evaluation d'alea sismique par l'analyse fréquentielle
- IV. Estimation de paramètres seismogenes b value sue le littoral Oranais

Conclusion générale

Références bibliographiques

List des figures

- Figure I.1. Configuration actuelle des plaques tectoniques Amérique du Nord, Amérique du Sud, Afrique et Eurasie (modifié d'après Nocquet, 2007).
- Figure I.2. Les vitesses prédites par des différents modèles sur l'ensemble de la frontière de plaques basées sur des modèles géologiques.
- Figure I.3 : Contexte tectonique actuel et les principaux domaines structuraux de la Méditerranée (modifié d'après Serpelloni et al. 2002)
- Figure I.4.a Sismicité de la région Europe-Méditerranée occidentale et centrale de la période 2001-Août 2013.
- Figure I.4.b carte de situation des principales régions et structures géologiques en Europe et Méditerranée avec une synthèse cinématique en Europe-Méditerranée occidentale et centrale réalisée à partir des données géodésiques et sismo-tectoniques (modifié d'après Nocquet et Calais)
- Figure I.5 : Principales unités structurales de l'Atlas (Domzig 2006).
- Figure I.6 : Carte structurale schématique du domaine tello-rifain (Durand Delga 1969).
- Figure I.7 : Carte de la sismicité historique de 1359 à 1895 avec la sismicité instrumentale du Nord de l'Algérie entre 1900 et 2005; (Belabbes 2008).
- Figure II.8 Cadre géographique montrant les différentes wilayas de la région d'étude
- Figure II.09. Cadre géomorphologique du bassin de la bas Chelif d'après Perrodon, 1957.
- Figure II.10 Carte géomorphologique montrant les différents reliefs de Nord-ouest Algérien
- Figure II.11 Log synthétique montrant la biozonation et principaux cycles transgressives dans la série type des bassins miocènes de l'Algérie nord-occidentale (Chélif- Tafna) d'après Belkebir (1996).
- Figure III.12. modèle tectonique de la déformation des terrains en zone de cisaillement.
- Figure III.13 : Carte Macrosismique du tremblement de terre d'Arzew 1956(CRAAGmodifié)
- Figure III.14: Carte Macrosismique du tremblement de terre d'Oran 1959 (CRAAG modifié)
- Figure III.15 : Carte Macrosismique du tremblement de terre de Sig 1967 (CRAAGmodifié)
- Figure III.16 : Carte Macrosismique du tremblement de terre de mascara 1994(CRAAGmodifié)
- Figure III. 17. Sismicité de la région oranaise : (a) MNT, (b) structures actives.
- Figure IIIIV.18: Carte sismotectonique du littoral Oranais modifiée d'après (Nadji 2010), la distribution spatiale des événements sismiques selon le catalogue régionale de (Belayadi et al. 2017).
- Figure IIIIV.19 présentation de la relation entre les magnitudes Mw et la probabilité de récurrence à différentes périodes de **retour**.

Liste des Tableaux

- **Tableau III.01** : Les importants séismes affectant la zone Oranaise de 1992 à 2001
- **Tableau IIIIV.2** : paramètres séismogènes des unités sismotectonique du littoral Oranais (1900-2006)

Introduction générale

Introduction générale :

Le présent travail rentre dans le cadre de la formation des masters académiques affiliés à notre faculté des sciences de la terre et l'univers. La thématique envisagée concerne le domaine des risques naturels et géologiques affectant le Nord de l'Algérie y compris la marge occidentale de Nord algérien.

Cet endroit se superpose de plusieurs phénomènes géodynamiques d'un pacte important notamment l'effet sismotectonique qui marque bien des exercices d'interaction entre les plaques Eurasiatique et l'Africaine. Plusieurs études géologiques, géophysiques et géodésiques ont évoqué l'instabilité des structures à l'échelle régionale avec ou sans préciser autant l'impact différentielle d'inter willayas dans les terrains d'Ouest Algériens.

Sur le plan de pratique, notre étude doit englober plusieurs notions fondamentales qui dérive de plusieurs domaines de point de vue géologique, géomorphologique, structurale et géophysique. Les données d'investigation géophysique utilisé sont basées sur l'inventaire des événements sismiques enregistré entre 1900 jusqu'à 2016 qui révèlent les données instrumentales, le traitement de ces données sous l'aspect d'engineering basé sur les approches et probastatistiques qui ont contribué de mettre en évidence un dimensionnement et paramétrage des coefficients séismogènes dans les normes et dans leur état normales.

La connaissance de modèles mathématiques des occurrences sismiques nous a facilité le travail pour obtenir des résultats favorables dans leur ensemble, la modélisation des courbes fréquentielles de chaque unité sismotectonique a permit de faire distingué l'existence des variations plus ou moins notable de paramètres sismogènes b value.

Ce modeste travail vient pour renforcer l'hypothèse d'une sismicité régionale qui est faible à modérée jugé vise à vis à la faveur des paramètres des activités sismique b value.

Ce résultat confirme que la sismicité au Nord de l'Algérie est plus ou moins importante, compte tenue des enregistrements des séismes de référence alors que l'activité sismique sur la partie Nord occidentale de l'Algérie reste moyenne à modérée.

En conséquence, ce travail peut contribuer favorablement à l'établissement d'un plan de prévention sismique régionale utilisé dans chartes d'évaluation des risques sismiques

Chapitre I

Cadre géodynamique régional

Introduction :

Depuis plus de 60 millions d'années, notre méditerranée est frappé par de grands séismes et volcans convergeant deux grands plaques lithosphériques, l'Africaine et l'Eurasienne.

Cette convergence est associée à une sismicité qui touche un certain nombre de pays des deux rives. Cette sismicité est notée dans la région de l'Arc Sicilio-Calabrais et dans la région Egéenne, alors qu'elle est modérée dans la région Maghrébine.

L'activité sismique manifestée au Nord de l'Algérie est le résultat de cette convergence qui se positionne essentiellement dans la chaîne tellienne où des événements modères à forts se sont produits.

La sismicité en Algérie trouve donc son origine dans le contexte géodynamique de la région Ouest Méditerranéenne.

Cadre géodynamique de la Méditerranée :

La convergence Afrique Eurasie :

La convergence de la plaque Afrique vers la plaque Eurasie est liée à l'expansion océanique au niveau de la dorsale médio-atlantique. Les vitesses d'extension obtenues indiquent une ouverture moyenne pour l'Atlantique nord (entre les plaques Eurasie-Amérique du Nord) de 25 mm/an alors qu'elle atteint 40 mm/an pour l'Atlantique sud (Afrique-Amérique du Sud) (Figure I.1). Cette différence de vitesse d'ouverture a pour conséquence un mouvement de rotation antihoraire de la plaque africaine par rapport à l'Europe avec un pôle de rotation situé au niveau des Iles Canaries. La valeur actuelle de ce pôle est donnée par le modèle cinématique global NUVEL1A (DeMets et al. 1990; DeMets et al. 1994) qui propose un pôle situé à (longitude -20.6°E , latitude 21.0°N , $0.13 \pm 0.02^{\circ}/\text{Ma}$) (Figure I.1). La plupart des études récentes sont en accord avec un pôle Eulerien, situé au large de l'ouest de l'Afrique (long $25 \pm 5^{\circ}\text{W}$, lat $5 \pm 5^{\circ}\text{S}$ et vitesse angulaire de $0.06 \pm 0.01^{\circ}/\text{Ma}$).

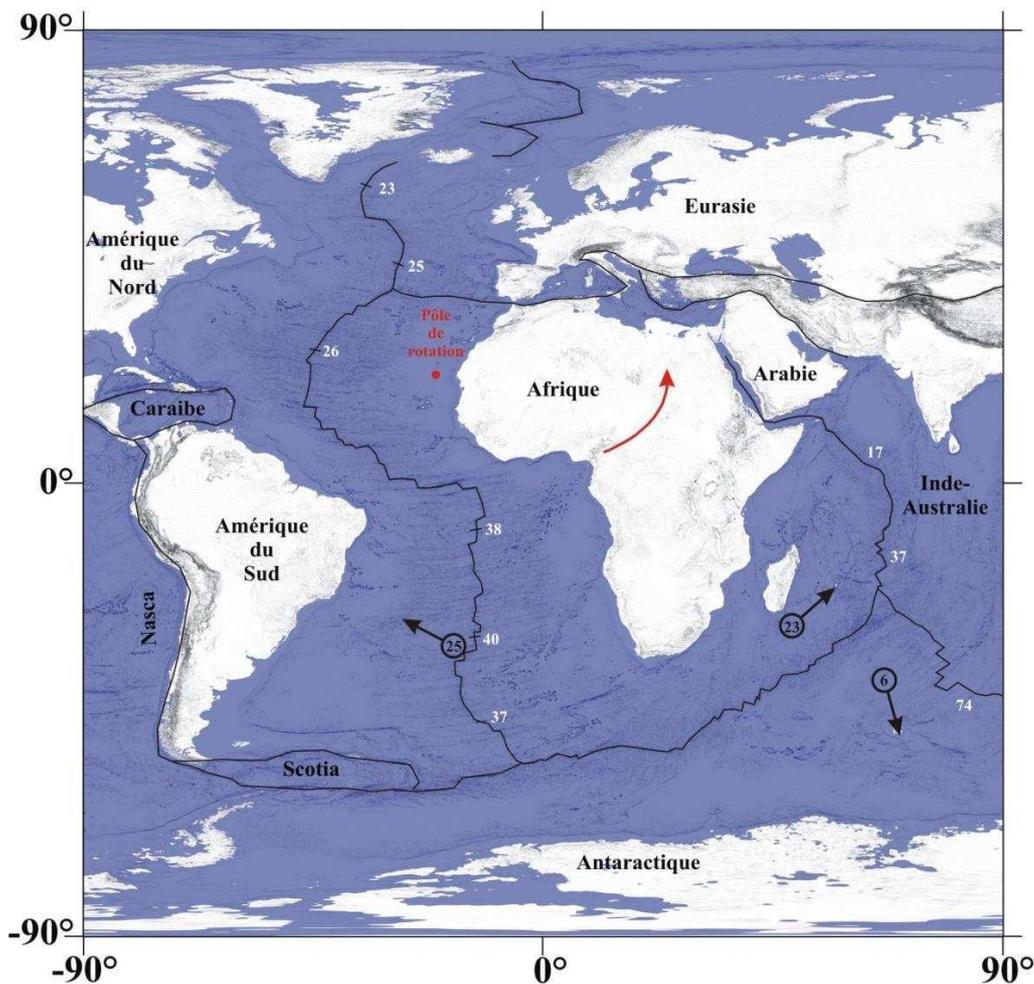


Figure I.1. Configuration actuelle des plaques tectoniques Amérique du Nord, Amérique du Sud, Afrique et Eurasie (modifié d'après Nocquet, 7007)

Les directions de convergence sont plus au moins compatibles entre les modèles. La direction de convergence en Méditerranée orientale est comprise entre N0 et N330, et en Méditerranée occidentale, entre N350 et N300. Par exemple, le mouvement relatif de la Nubie par rapport à l'Eurasie, en Méditerranée occidentale est de 5.3 ± 0.1 mm/an dans une direction $N46 \pm 2^\circ W$ à la longitude de la Sicile et de 4.5 ± 0.2 mm/an dans une direction $N75 \pm 1^\circ W$ à longitude $10^\circ W$ d'après le modèle de Nocquet (Nocquet et al. 2006 et 2012) (**Figure I.2**).

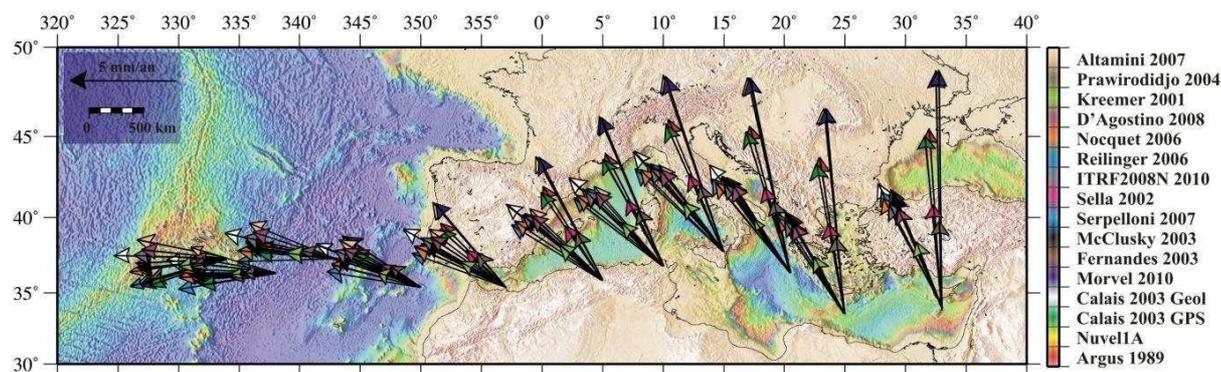


Figure I.2. Les vitesses prédites par des différents modèles sur l'ensemble de la frontière de plaques basées sur des modèles géologiques (mouvement moyenne sur 3.16 Ma) et géodésiques (Argus et al. 1989; DeMets et al. 1990, 1994, 2010; Calais et al. 2003; Fernandes et al. 2003; McClusky et al. 2003; Serpelloni et al. 2007; Sella et al. 2002; Altamimi et al, 2007, 2011; Reilinger et al, 2006; Nocquet et al, 2006; D'Agostino et al, 2008; Kreemer et Holt, 2001 et Prawirodirdjo et Bock, 2004).

Grandes ensembles de la Méditerranée :

La géologie de la Méditerranée occidentale est caractérisée par une ceinture de bouclier plis-et-failles entourant deux principaux bassins : il s'agit des bassins Liguro- Provençal et Tyrrhénien formés de croûte océanique récente (Miocène). Dans la Méditerranée orientale et dans les fonds océaniques méditerranéens, on rencontre le troisième bassin au sud des fosses Helléniques qui est formée d'une croûte océanique mésozoïque (**Figure I.3**).

Associé à l'existence de ces bassins, on peut affirmer que les différents processus géodynamiques qui marquent actuellement la région Méditerranéenne (Jolivet, 1997) sont :

Les zones de subductions : La lithosphère océanique de la Méditerranée orientale subducte sous les deux arcs Hellénique et Calabrais. Les fosses Helléniques ne représentent pas le front de subduction mais des fossés d'avant-arc en extension. Les deux zones de subduction passent latéralement à des zones de collision au débouché de la mer Adriatique et au sud de la Turquie.

Les zones de collisions : Elles apparaissent dans :

La chaîne Dinaro-Hellénique. Cette chaîne se prolonge à l'Est par la chaîne des Taurides en Turquie et plus loin encore rejoint la ceinture péri-Arabe (Zargos et Oman) et Himalaya .

Les deux rives de l'Adriatique : le long du tronçon Dinarique (îles ioniennes) et au front de la chaîne des Apennins. Ces deux zones de collision sont actives et reliées au nord par la chaîne des Alpes (Balkans).

La chaîne de Maghrébides : qui se prolonge en Afrique du Nord sur toute la marge nord-africaine depuis les rives de l'Atlantique jusqu'en Tunisie.

La chaîne des Pyrénées : Celle-ci résulte de la fermeture d'un rift Crétacé entre l'apéninsule Ibérique et la plateforme européenne à l'Eocène.

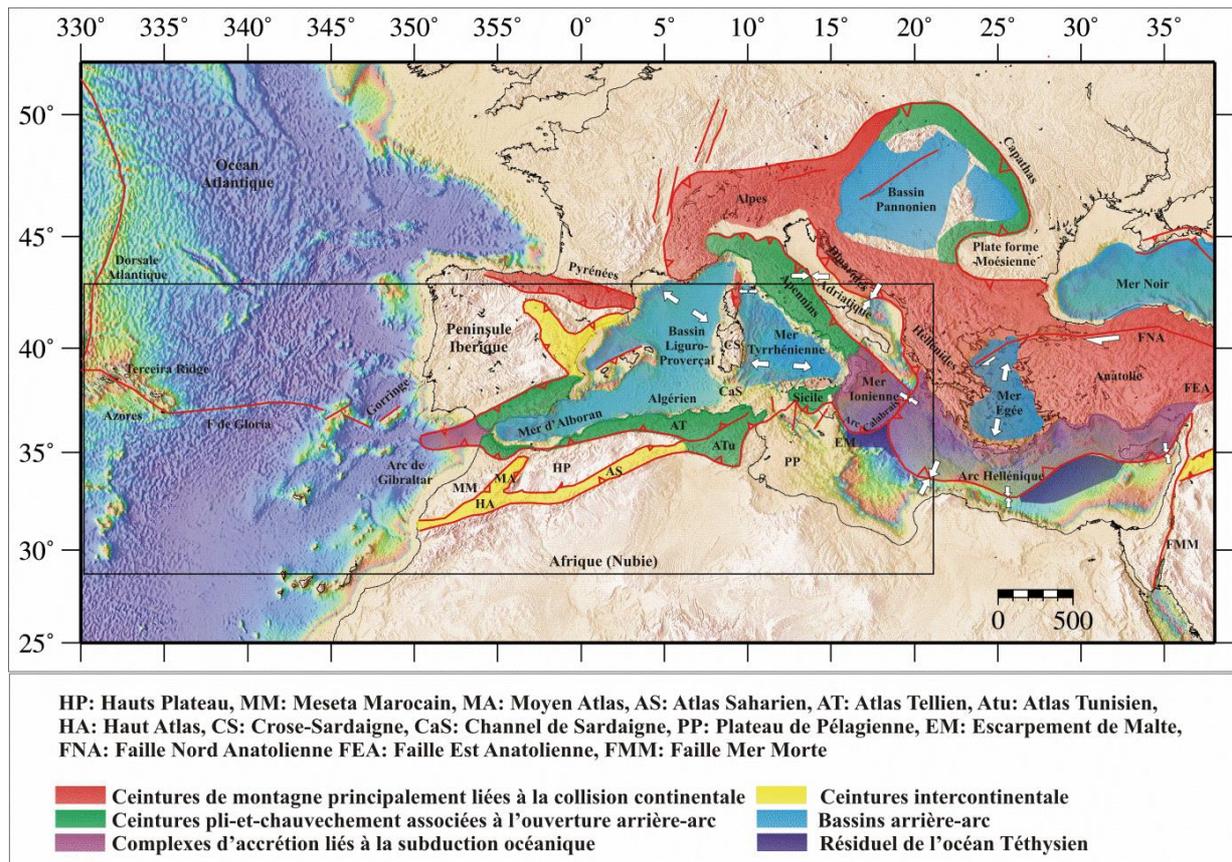


Figure I.3 : Contexte tectonique actuel et les principaux domaines structuraux de la Méditerranée (modifié d'après Serpelloni et al. 7002)

Les zones d'extrusion : A l'extrême Est du domaine méditerranéen, le bloc anatolien coulis très rapidement vers l'ouest, le long de la Faille Nord Anatolienne. Ce bloc anatolien est expulsé vers les zones de subduction helléniques par la collision Arabie-Eurasie de l'Est de l'Anatolie.

Les zones d'extension post-collision : Dans la Méditerranée Occidentale, les bassins Liguro-Provençal et Tyrrhénien, Ainsi que la Mer d'Alboran , sont situées sur l'emplacement des zones internes des Apennins et des Maghrébides. L'extension de la mer Tyrrhénienne se superpose aux structures compressives des Apennins internes et la Corse alpine. L'ouverture de ces bassins a débuté à la fin de l'Oligocène et se poursuit aujourd'hui dans le sud de la Tyrrhénienne au nord de la Sicile.

En Méditerranée orientale, la Mer Egée est située sur l'emplacement d'une chaîne de collision faisant le lien entre les Hellénides et les Taurides. L'ouverture de la Mer Egée, est active depuis le début du Miocène.

Contexte géodynamique et séismo-tectonique de la Méditerranée :

La Méditerranée occidentale représente une zone de déformation complexe répartis le long de la

ceinture tectonique active liée à la convergence lente entre les deux plaques. Pour étudier la cinématique actuelle de cette zone, plusieurs travaux basés sur la géodésie spatiale (par exemple GPS), la sismicité, les mécanismes aux foyers et les moments sismiques ont été réalisés. La **Figure I.4.a**, représente une synthèse cinématique en Europe-Méditerranée occidentale et centrale réalisée à partir des données géodésiques (VLBI, SLR et GPS) et sismo-tectoniques (Nocquet et Calais, 2004), et ceci afin de matérialiser les zones de déformation (taux et directions de déformation).

1- *La direction de convergence*, indiquée par la plupart des modèles, est $N45W \pm 20-30^\circ$. En amplitude, la vitesse de convergence va de 3 à 8.3 mm/an à la longitude de la Sicile et de 1.8 à 5.3 mm/an à la longitude de Gibraltar et de 2.7 à 6.6 mm/an à longitude d'Alger.

2- *La région de Gibraltar, Rif, Bétique et Mer d'Alboran* : il faut, tout d'abord, noter l'existence d'une faille transformante majeure (Faille de Gloria avec un mouvement de décrochement dextre de 4.7 mm/an (Serpelloni et al. 2007)), qui sépare l'Eurasie et la Nubie (Searle 1980; Madeira et Ribeiro 1990) et qui s'étend entre le point triple des Azores jusqu'au Détroit de Gibraltar. L'arc de Gibraltar est quant à lui dominé par la subduction de la plaque d'Alboran. Cet arc permet le lien entre la région des Bétiques en Espagne et la région du Rif au Maroc. Au niveau de cette zone de subduction, des séismes profonds peuvent se produire.

La région du Rif est caractérisé par un mouvement décrochant senestre le long d'un système de faille orientée NE-SO (failles de Jebha et du Nekor) avec un taux de déformation de 4 mm/an (Vernant et al. 2000). Les régions d'Alboran et des Bétiques se caractérisent principalement par des régimes de décrochement et tensionnelle à transtension. Les données GPS, montrent une extension E-O à ENE-OSO dans la région Alboran-Bétique de l'ordre de 7.0 ± 0.2 mm/an (Serpelloni et al. 2002) et de 3mm/an (Koulali et al. 2011). Le champ de vitesse montre que la micro-plaque Ibérique au nord des Bétiques fait partie de l'Eurasie stable avec un mouvement résiduel moyen de 0.3 ± 0.1 mm/an et aucune déformation interne (Fernandes et al. 2007).

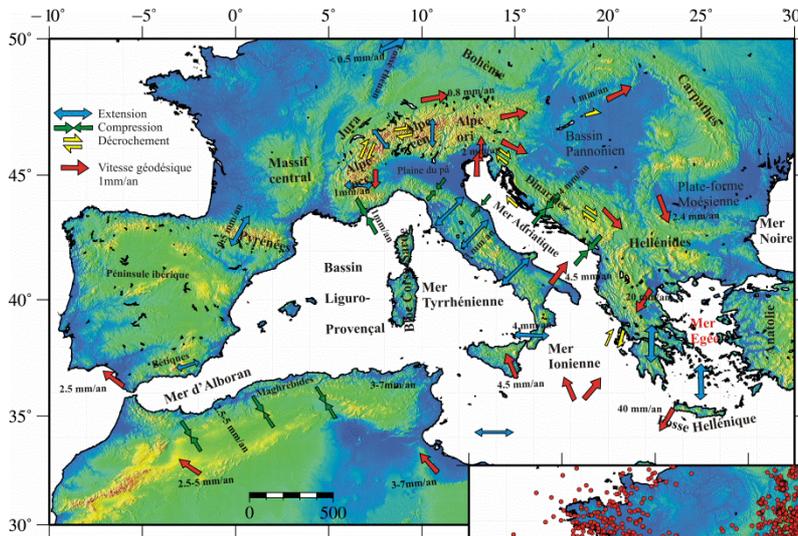
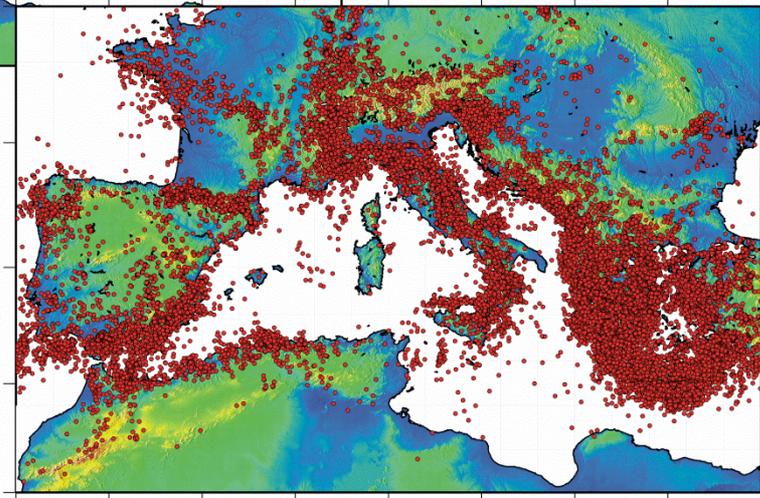


Figure 1.4.a : Carte de principales régions géologiques en Europe-Méditerranée occidentale et centrale de données géodésiques et sismotectoniques (Nocquet et Calais, 2004).

Figure 1.4.b : Sismicité de la région Europe-Méditerranée occidentale et centrale de la période 2001-Août 2013



3- Région des Maghrébides et bassin Algéro-Liguro-Provençal : En Afrique du Nord, la sismicité est principalement distribuée le long de la région des Atlas. Au Maroc, la sismicité se concentre le long des Moyens Atlas et Haut Atlas selon une direction NE-SO. Les données GPS indiquent que la déformation le long du Moyen et Haut Atlas est encore active avec un taux de raccourcissement orientée ONO-ESE (Serpelloni et al. 2007) pouvant aller jusqu'à 0.2 ± 0.8 mm/an. Le séisme d'Agadir de 0960 est le témoignage de cette sismicité. Plus au nord, la sismicité se concentre au niveau de l'Arc rifain recoupé par les grands accidents NE-SO, là où se sont produits les deux séismes d'El Hoceima de 7004.

En Algérie et en Tunisie, la sismicité se concentre dans la région Tellienne. Dans cette région, se produit la majeure partie de l'activité sismique. L'Atlas tellien est dominé par un régime transpressif, avec une direction de compression NS à NO-SE. Les structures accommodant cette déformation sont orientées NE-SO perpendiculairement à la direction de raccourcissement, de manière similaire aux failles d'El Asnam et de Boumerdès. Serpelloni et al (2002), montrent que l'Atlas Tellien accueille 2.7 à 3.9 mm/an de la convergence actuelle Nubie-Eurasie. L'hypothèse d'une bande de déformation le long de la marge, recueillant un très grand pourcentage de la convergence Nubie/Eurasie, est en accord avec la distribution de la sismicité récente modérée à importante représentée par le séisme de Boumerdes en 2003 de magnitude 6.8 (ex : Yelles-

Chaouche et al. 2004b) et par l'enquête géophysique marines « MARADJA » (Deverchère et al. 2005). Les résultats obtenus grâce à ces campagnes appuient l'idée d'une subduction du bassin Liguro-provençal sous la marge algérienne (Deverchère et al. 2005). Il à noter la faible sismicité de la région nord tunisienne. Est-ce due à une absence de couverture instrumentale où à une faible activité des structures actives.

Les Haut Plateaux semblent plutôt asismique. Au niveau de l'Atlas saharien (figure **I.4.b**) , une faible sismicité est enregistrée. La plateforme saharienne représentant l'intérieur de la plaque africaine est quant à elle asismique.

4- Sicile, mer Tyrrhénienne et le bloc Corso-Sarde: La sismicité de la région nord maghrébine se poursuit plus à l'Est au niveau de l'Arc Calabrais. Dans cette région marquée par une subduction de la plaque africaine sous la plaque Eurasiatique, la sismicité y est élevée et caractérisée parfois par des séismes profonds. On y relève également la présence des volcans actifs célèbres de l'Etna marquée par des éruptions spectaculaires ou du Vésuve près de la ville de Naples. En arrière d'Arc, la sismicité se produit au niveau de la mer maginale tyrrhénienne et au niveau de la chaîne des Apennins, là où s'est produit le dernier séisme de l'Aquila.

5- Les Alpes : Dans les Alpes occidentales, on y constate une prédominance de cisaillements dextres combinés à de l'extension EW (Calais et al. 2002). La sismicité y est faible marquée parfois par des événements modérés qui touchent le bassin Liguro-Provençal (région de Nice).

Contexte sismo-tectonique de Nord de l'Algérie :

L'Algérie du nord est caractérisée par quatre unités morpho structurales importantes : l'Atlas Tellien, les Hautes plateaux, l'Atlas saharien et la plateforme Saharienne (figI.5).

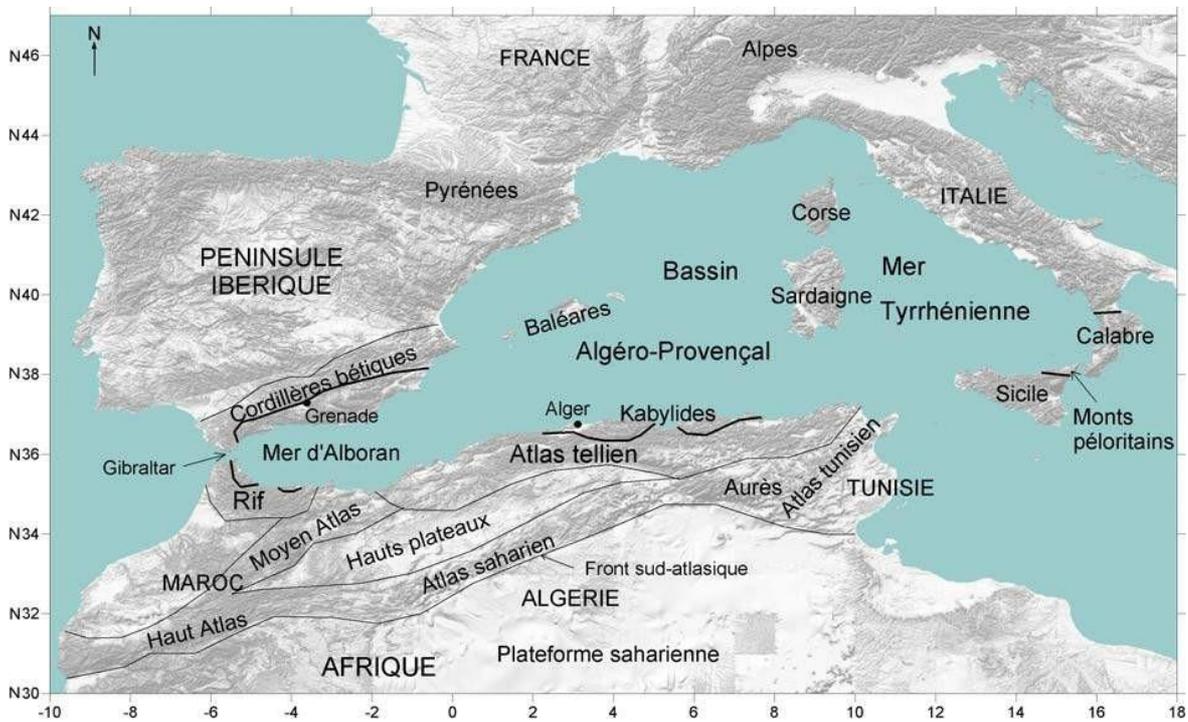


Figure I.5 : Principales unités structurales de l'Atlas (Domzig 2006).

L'Atlas tellien est composé de trois domaines structuraux (figI.6) :

- Un domaine externe (tello-rifain) : Il est constitué par un ensemble de nappes à vergence sud découpées dans des terrains sédimentaires (surtout marneux et calcaires) principalement d'âges crétacé et paléogène. Au sein de ce domaine apparaissent localement des massifs formés de terrains métamorphisés du cycle Alpin. Ces unités dérivent d'une ancienne marge africaine de la Téthys (Said2011).
- Le domaine des Flyschs : comporte des nappes pelliculaires de flyschs d'âge crétacé-paléogène, chevauchées sur les unités telliennes.
- Le domaine interne : c'est un domaine qui comporte des massifs de socle poly- métamorphique panafricain et Hercynien, des terrains d'âge cambrien à carbonifère modérément métamorphosée et leur couverture d'âge Mésozoïque et Tertiaire. Elles chevauchent le domaine des flyschs et le domaine tellien. En Petite Kabylie, les chevauchements sont très plats et des formations d'âge mésozoïque et éocène métamorphisées, appartenant aux unités telliennes et aux flyschs, apparaissent en fenêtre sous le socle kabyle à plusieurs dizaines de kilomètres en arrière du front de chevauchement (Said 2011).

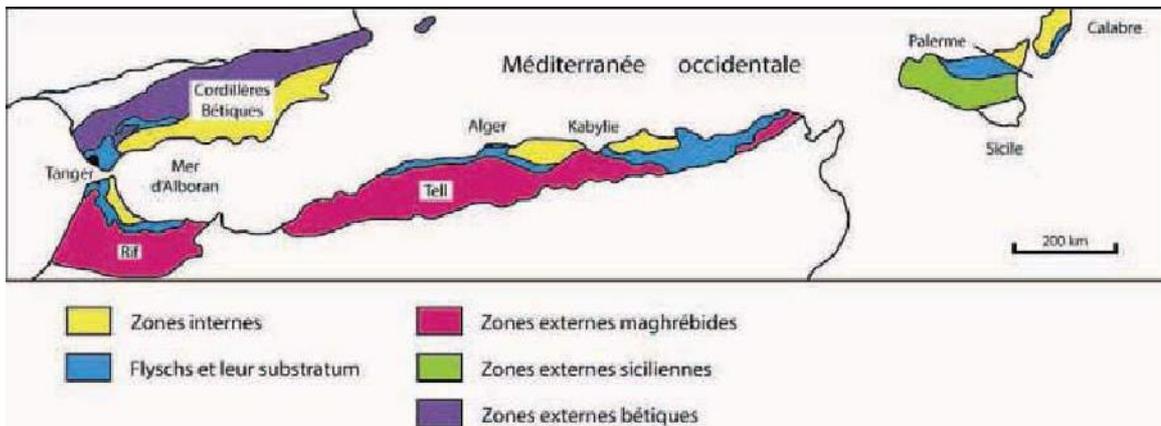


Figure I.6 : Carte structurale schématique du domaine tello-rifain (Durand Delga 1969).

Contexte sismotectonique de l'Atlas Tellien

L'Atlas tellien est considéré comme la zone la plus affectée par les séismes (Belabbes 2008), ou plusieurs séismes destructeurs sont enregistrés, on mentionne celle d'Alger, 1365 $I_0 = X$ et 1716 $I_0 = X$, d'Oran 1790 intensité $I_0 = X$, de Blida le 02/03/1825 intensité $I_0 = X$, de Mascara le 1 Mars 1819 ($I_0 = VIII$), le 22 Novembre 1851 ($I_0 = VIII$), et le 29 Novembre 1887 ($I_0 = IX-X$), de Gouraya le 15/01/1891 ($I_0 = X$), d'El Asnam 1980 $M_s = 7.3$ (fig I.10) (Rothé et al. 1950, Philip and Meghraoui 1983, Meghraoui 1988, Yelles- Chaouche et al. 2006, Belayadi et al. 2017).

La sismicité de l'ère instrumentale est caractérisée par une magnitude modérée ($M < 6$) (Belabbes 2008). Deux forts séismes sont enregistrés au niveau d'El Asnam le 10 octobre 1980 d'une magnitude $M_W = 7.3$ et de Zemmouri le 21 mai 2003 d'une magnitude $M_W = 6.3$ (Belabbes 2008). Plus récemment, le nord Algérien a connu des séismes de magnitude modérée dans sa partie Ouest, Mascara (Aout 1994, $M_w = 5,7$), celui d'Ain Temouchent (Décembre 1999, $M_w = 5,7$) et celui d'Oran (Juin 2008, $M_w = 5,5$). Dans la partie Est, le événement le plus forte est de Beni Ourtilane (10/11/2000, $M_w = 5.7$) (fig 1.9) (Ayadi and Bezzeghoud 2015).

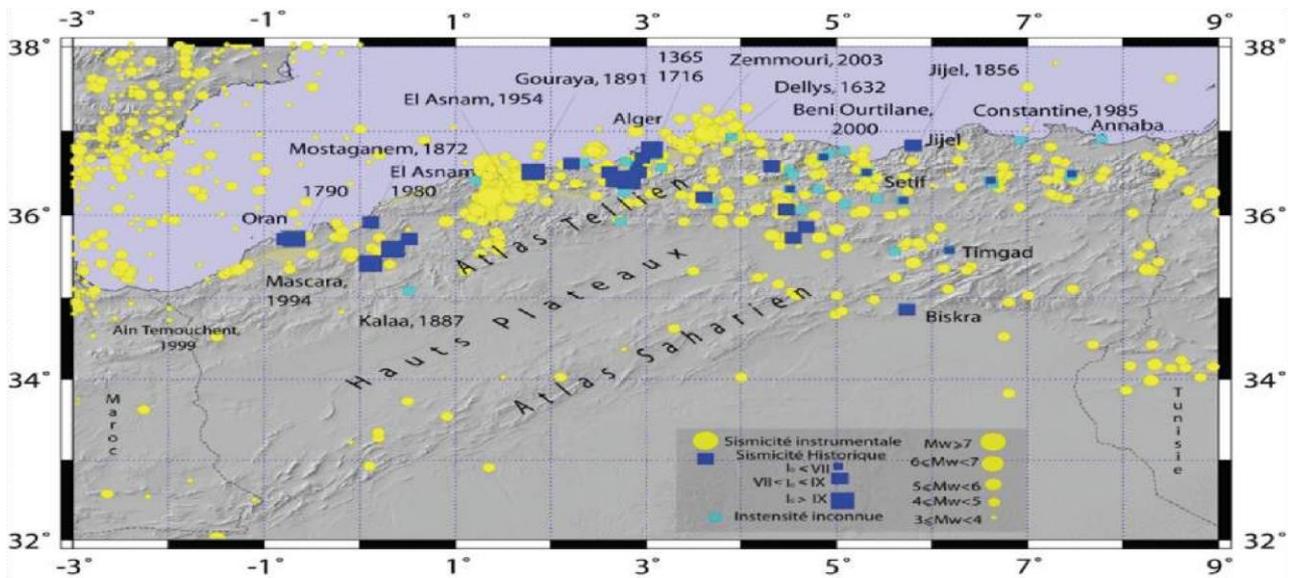


Figure I.7 : Carte de la sismicité historique de 1359 à 1895 avec la sismicité instrumentale du Nord de l'Algérie entre 1900 et 2005; (Belabbes 2008).

Chapitre II

Représentation de la région d'étude

Introduction :

La région d'étude choisie concerne la région Nord-Ouest de l'Algérie marquée par une sismicité important et des événements sismiques majeurs.

Donc, ce chapitre est consacré à présenter la région d'étude de ce mémoire. Pour cela, nous commençons par une présentation du cadre géographique, ensuite le cadre géomorphologique, et à la fin, nous présentons le cadre géologique où nous allons mentionner les principales formations lithologiques qui sont marqués dans la région Nord- Ouest Algérienne.

1. Cadre géographique :

Notre région d'étude concerne le tell occidental de l'Algérie. Elle est comprise entre les longitudes de $1^{\circ} 18', 16''$ Est et $0^{\circ} 37', 50,8764$ Ouest et les latitudes de $36^{\circ} 30', 44''$ et $35^{\circ} 41', 49,459''$ Nord (fig II.11). Elle est bordée au Nord par la mer Méditerranée, à l'Est par le tell central, à l'Ouest par la Bas Tafna, Sud-ouest, par les Monts de Tessala, au Sud par les Monts de Beni Choukran, les Ouarsins .

De point de vue administrative, notre région d'étude englobe les wilayas d'Ain Temouchent , Sidi bel-Abbes , Mascara, Relizan, Mostaganem , Oran et Chlef (Fig II.08) .

Notre région d'étude comprend des villes importantes, Comme la ville d'Oran (Capitale de l'Ouest de l'Algérie et la deuxième grande ville de l'Algérie) ou s'est produit lors de XVIII siècle le séisme le plus important de son Histoire, le seisme du 09 Octobre 1790, la ville de Chlef (ex El Asnam) qui est le site du séisme le plus violent jamais enregistré dans la région Ouest Méditerranée, celui de 10 Octobre 1980 .

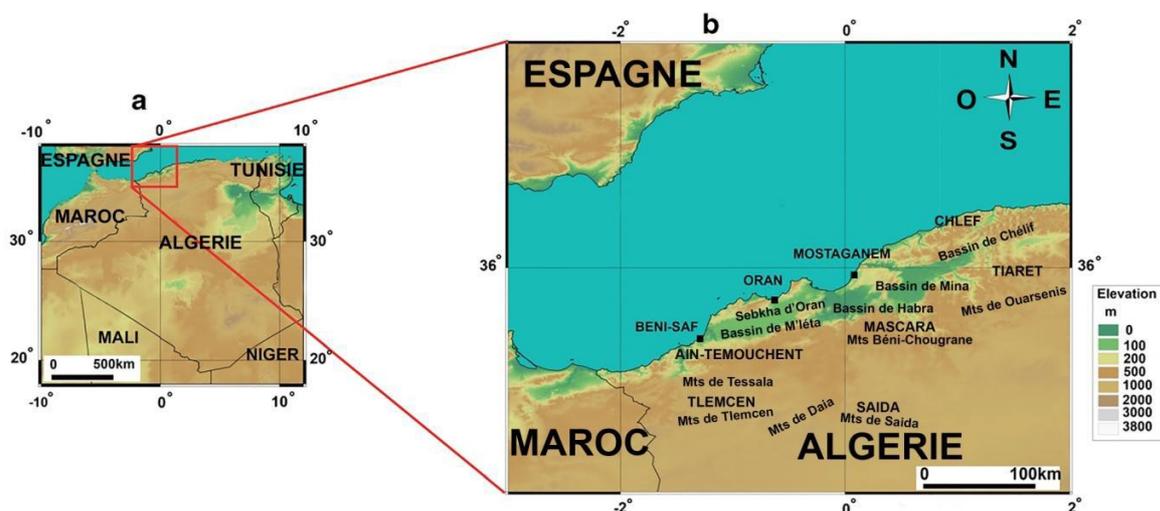


Figure II.8 Cadre géographique montrant les différentes wilayas de la région d'étude

2. Cadre géomorphologique :

De point de vue géomorphologique (fig II.09), notre région d'étude est composée de :

a. Les bassins :

Le bassin du Bas Chélif est considéré comme le plus important des bassins sublittoraux de l'Algérie Nord occidentale. Il se présente sous forme d'une vaste dépression s'étendant depuis la région d'Ain Temouchent à l'Ouest jusqu'à Djebel Daoui à l'Est (Perrodon, 1957). Sa marge septentrionale est constituée d'Ouest en Est, par les massifs de Moulay Abdelkader Moul El Mayda d'Oran, les massifs d'Arzew, les massifs du Dahra, et les massifs des Beni Menacer. Parallèlement, les massifs des Tessala, des Beni Chougrane et l'Ouarsenis forment sa marge méridionale (figII.09)

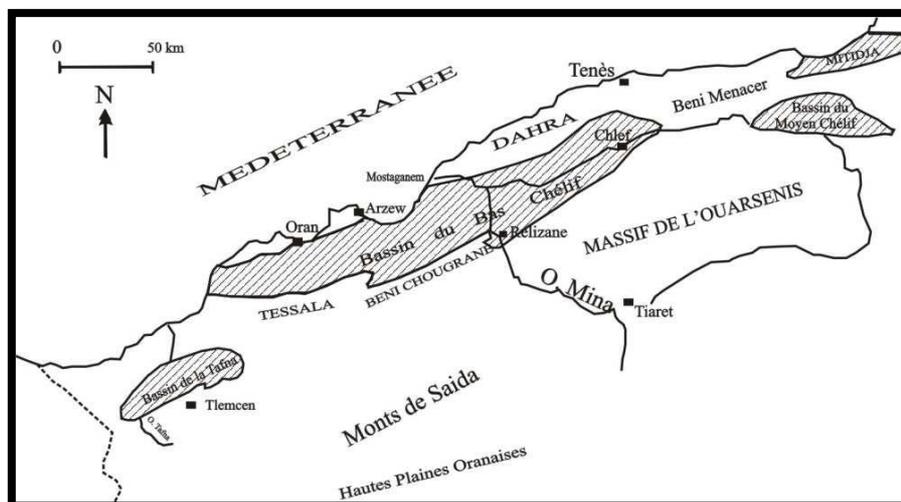


Figure II.09. Cadre géomorphologique du bassin de la bas Chélif d'après Perrodon, 1957.

b. Les chaînes de montagnes :

Notre secteur d'étude comprend de Nord-Est au Sud-Ouest des massifs côtiers (figII.10); Ces massifs sont caractérisés par des altitudes moyennes (de 400 à 600 m) et plus particulièrement par une dissymétrie, bien marquée à Arzew et Oran : chute brutale au Nord-ouest, et une décroissance progressive de l'altitude vers le Sud-Est se manifeste clairement. Vers l'Est, le Cap de Ténès se dresse à 700 m d'altitude. Le Dahra avec ses reliefs boisés est formé par les massifs crétacés et les plateaux gréseux du Miocène. Vers le Sud, cette zone côtière cèdera à la faveur de la zone effondrée de la plaine du Chélif formée essentiellement par les marnes du Miocène. A l'intérieur même des ensembles géographiques ainsi définis, des fossés à remplissage néogène isolent un certain nombre de montagnes citant à titre d'exemple la dépression des andalouses qui se prolonge jusqu'à l'Est et montre une continuité morphologique du plateau de Achacha (Thomas, 1985).

Les massifs côtiers sont relativement bien délimités sur le plan géologique et présentent la particularité de contenir des fosses sismogènes très localisées telle que celle d'Oran, de Mers el Kebir, et de Mostaganem, qui se prolongent en mer à des distances pouvant atteindre une vingtaine de kilomètres.

- *Cap Ténès* : La région côtière de Ténès, à l'Ouest d'Alger, se trouve à cinquante kilomètres au Nord de la zone sismogène du Chélif. Cette dernière est située dans le bassin Mio-Plio-Quaternaire du Chélif tectoniquement actif et sismiquement reconnu, puisqu'il a été le siège des deux plus importants séismes qui ont frappé l'Algérie durant le siècle passé. Le secteur de Ténès et ses environs, représentent la partie marginale de ce bassin. Cette région se caractérise par une activité sismique (historique et instrumentale) assez importante aussi bien à terre qu'en mer. C'est également vers cette zone qu'on note la migration de la plupart des répliques des évènements destructeurs qui ont endeuillé la région.

- *Les massifs de Dahra* : Le Dahra est une région montagneuse d'Algérie située au Nord du pays. Dahra est un mot arabe signifiant «dos», en toponymie ce terme désigne un plateau étendu et de faible relief. Il s'agit d'un massif montagneux étendu et varié faisant partie de l'Atlas Tellien Occidental. Il est couvert de forêts ou de cultures pauvres et abrite de nombreux ports de pêche. Il s'étend de l'Oued DJER à l'Est jusqu'à l'embouchure du Chélif à l'Ouest; de la Méditerranée au Nord jusqu'à l'Oued Chélif au Sud. Certains massifs calcaires sont truffés de grottes. Le secteur du littoral est appelé «Corniche du Dahra»: Occidental, entre Ténès et Mostaganem et Oriental entre Ténès et Cherchell. Ce massif constitue une région très accidentée, à cheval sur les régions de Tipasa, Chlef, Aïn Defla, Mostaganem, Relizane et Blida (extrémité Orientale). La ville de Mostaganem est considérée en Algérie comme la capitale de la région de Dahera .
- *Le massif d'Arzew* : il est situé dans la partie littorale au N-E, présente une unité néotectonique particulière de soulèvement (près de 400 mètres). Ce massif est séparé du massif de Gdyl à la partie Sud par des flexures et des failles réactivées. Ces failles peuvent être suivies de la ville d'Arzew à l'Est jusqu'à la Méditerranée dans la direction tout à fait à l'Ouest.
- Le massif de la montagne des lions (Ain el Feranin) : un petit horst sépare des monts d'Arzew à l'Ouest et s'étend sur une surface 4 km.
- *Le massif de Moulay Abdelkader Moul El Mayda d'Oran* : Moul El Mayda ou El Murdjadjo, dont la morpho-structure est en forme d'un grand horst, il se trouve directement à l'Ouest sur plus de 50 km jusqu' à la méditerranée. Dans sa partie Sud, il est séparé du massif d'Arzew par le plateau d'Oran et la sebkha, au Nord sa largeur varie entre 15 et 20 km, elle confine avec le bassin méditerranéen et particulièrement avec la dépression des Andalouses.

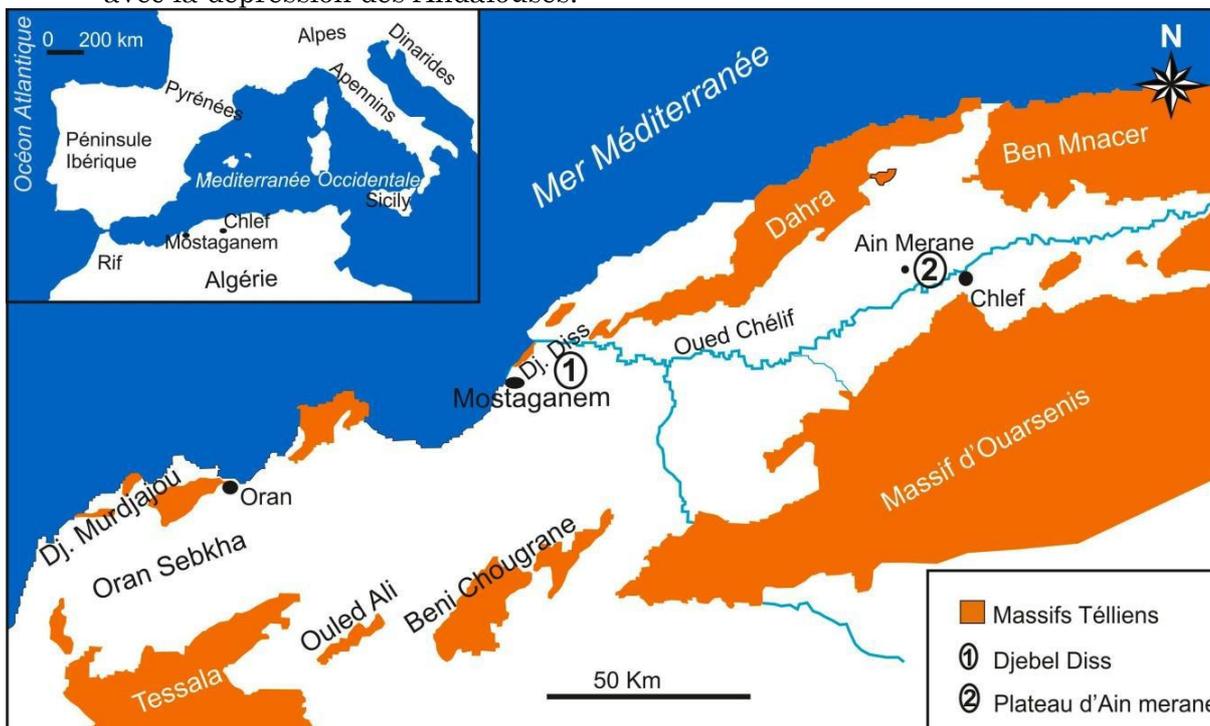


Figure II.10. Carte géomorphologique montrant les différents reliefs de Nord-ouest Algérien

3. Le cadre géologique :

De point de vue géologique, notre secteur d'étude appartient à la partie Nord Ouest du tell Algérien qui s'inscrit dans le bassin de la Bas Chélif.

Le bassin de la bas Chélif est un bassin en compression d'âge mio-plio-quaternaire formé lors des

dernières étapes de l'orogénèse alpine (Perrodon 1957). Sa genèse est rattachée à l'ouverture du bassin arrière-arc nord-algérien et engendrée par une subsidence tardi-tectonique enclenchée vers 17 Ma. Sa structuration est accompagnée par des mouvements extensifs (10-12 Ma) à l'origine des coulées andésitiques et des intrusions doléritiques (Lepvrier et Magné 1975).

Son ouverture s'est poursuivie au cours du Serravallien supérieur et au Tortonien inférieur entraînant la mise en place de structures en horst et graben. La série marno-diatomitique tortono-messinienne a permis le remplissage de ces structures. Les phases compressives du Pliocène ont non seulement engendré de nouvelles déformation mais également accentuer les structures plissées héritées du Tortonien supérieur et du Messinien. La phase compressive quaternaire a entraîné la création de petits bassins allongés de direction Est-Ouest et le rétrécissement Nord- Sud du bassin du bas Chélif (Magraoui, 1982). Cette direction de raccourcissement est à l'origine de la déformation actuelle du bassin. Elle résulte de la convergence des plaques de l'Afrique et L'Eurasie (Philip et Thomas 1977)

Le bassin du Bas Chélif est caractérisé par un substratum allochtone d'âge Crétacé à Oligocène (Delteil, 1974) sur lequel repose, en discordance dia strophique (Perrodon, 1957), une couverture néogène. Très épaisse et continue dans la partie centrale du bassin, cette couverture accuse une réduction considérable dans les zones marginales du bassin. Cette réduction est accompagnée par de nombreuses discontinuités et d'importants passages latéraux de faciès.

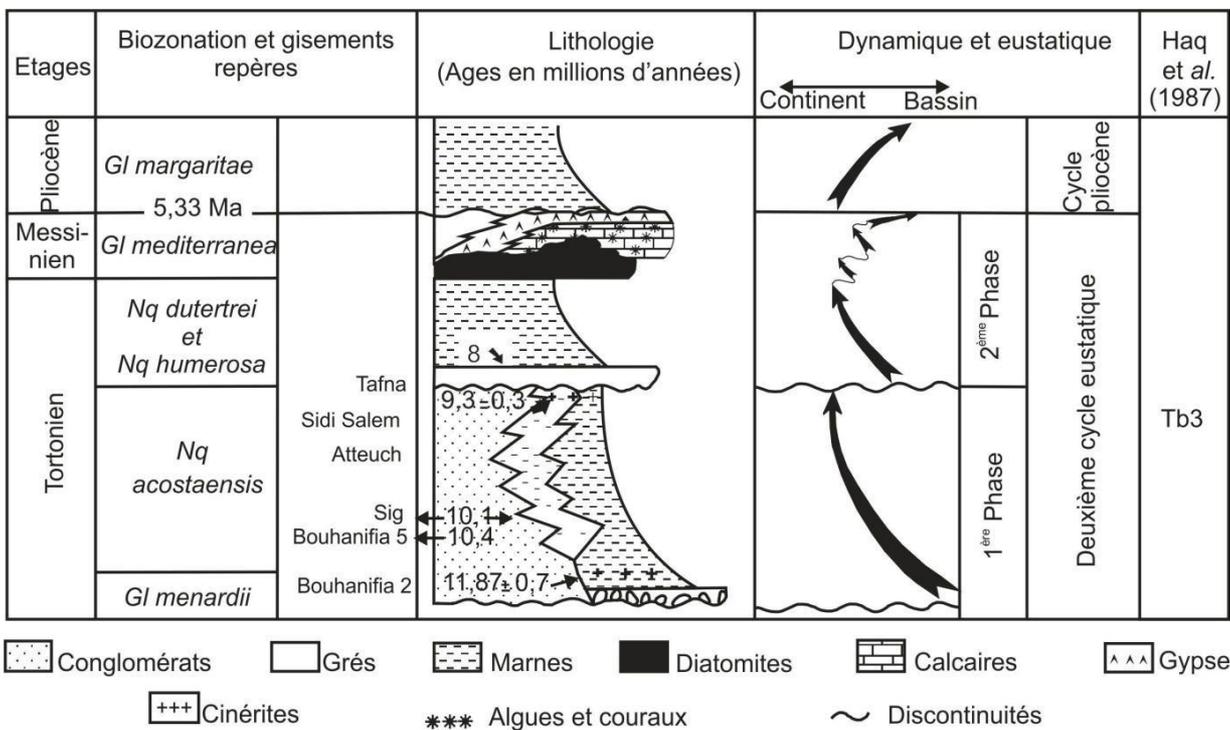


Figure II.11. Log synthétique montrant la biozonation et principaux cycles transgressives dans la série type des bassins miocènes de l'Algérie nord-occidentale (Chélif- Tafna) d'après Belkebir (1996).

Chapitre III

Les zones sismogènes de Nord- Ouest de l'Algérie

Introduction :

La chaîne Maghribide constitue la totalité du Nord de l'Algérie. Cette région est connue par son activité tectonique importante qui exerce des forces gigantesques et frappe notre région d'étude par des séismes les plus meurtriers de la méditerranée.

Ce chapitre est dédié à présenter les zones séismogènes du Nord-Ouest de l'Algérie. Pour cela, nous commençons par une présentation du contexte tectonique de la région, ensuite, la sismicité historique de Nord-Ouest de l'Algérie et les principaux séismes du Nord Ouest de l'Algérie, à la fin, nous présentons les zones séismogènes du Nord-Ouest de l'Algérie.

Contexte tectonique :

Les données microtectoniques relatives aux affleurements des terrains néogènes de la région confirment l'existence d'une complexité tectonique importante. Les abords proches de la ville d'Oran conservent d'importants arguments marquant l'existence d'une tectonique mixte et polyphasée affectant l'ensemble des terrains secondaires et tertiaires. L'esquisse cartographique des anciens travaux géologiques confirme ce fait à partir de quelques extrapolations azimutales de certains affleurements de contacts anormaux. Bien que leurs approches soient rigoureusement admises, elles restent orientées selon des principes théoriquement liés à certaines observations restreintes. Dans ce travail, on met l'accent sur l'existence d'une complexité structurale bien prononcée, depuis la marge littorale vers les zones internes qui met en relief une alternance entre les massifs côtiers et les vallées intermédiaires. L'organisation spatiale de ces unités morpho structurales forme l'esquisse d'un modèle tectonique régional (Fig.12). En effet, les observations géologiques, à des échelles variées, soulignent l'association d'une déformation souple avec une autre déformation décrochante (cassante) qui reste bien conservée au sein dans les terrains 'Plio- quaternaires' de la marge littorale. Cet aspect tectonique semble être lié aux déplacements de blocs crustaux qui constituent les niveaux structuraux inférieurs. Ces derniers caractérisent le substratum des massifs littoraux, matérialisant une tectogenèse à déplacement subhorizontal (tectonique tangentielle) qui affecte les terrains de la couverture néogène selon un système de 'rampe- décollement'. Ce style tectonique évoque l'interprétation de coupes géo structurale évoque la notion de nappes de charriage « néogènes » à vergence méridionale. Les résultats de la stéréographie, confirment l'existence d'une alternance dans les valeurs du rapport déviatorique des contraintes tectoniques (Φ) permettant d'en déduire une variation du régime tectonique de la déformation sur l'ensemble de la marge littorale. Sur la fig.25, on constate l'existence des variations de l'intensité de la fracturation et de leur amplitude exprimant un régime tectonique mixte sur des terrains

qui appartiennent à la même région. A la lumière de cette approche structurale je souligne l'effet d'un cisaillement profond affectant le substratum de la région dont la direction est pratiquement Est- Ouest, qui semble responsable de la génération des sources sismiques récurrentes et entretenue de façon permanente sur l'ensemble du littoral oranais; depuis le Plio-quaternaire jusqu'à nos jours.

Cette sismicité résulte de l'effet des tenseurs de contraintes tectonique différentielles, dont ' □2' épouse les zones de flexuration où se projettent les principaux accidents tectoniques d'ordre inférieur. Les contraintes tectoniques changent de direction sur le long des rampes tectoniques tout en respectant ta cinématique globale (fig.12).

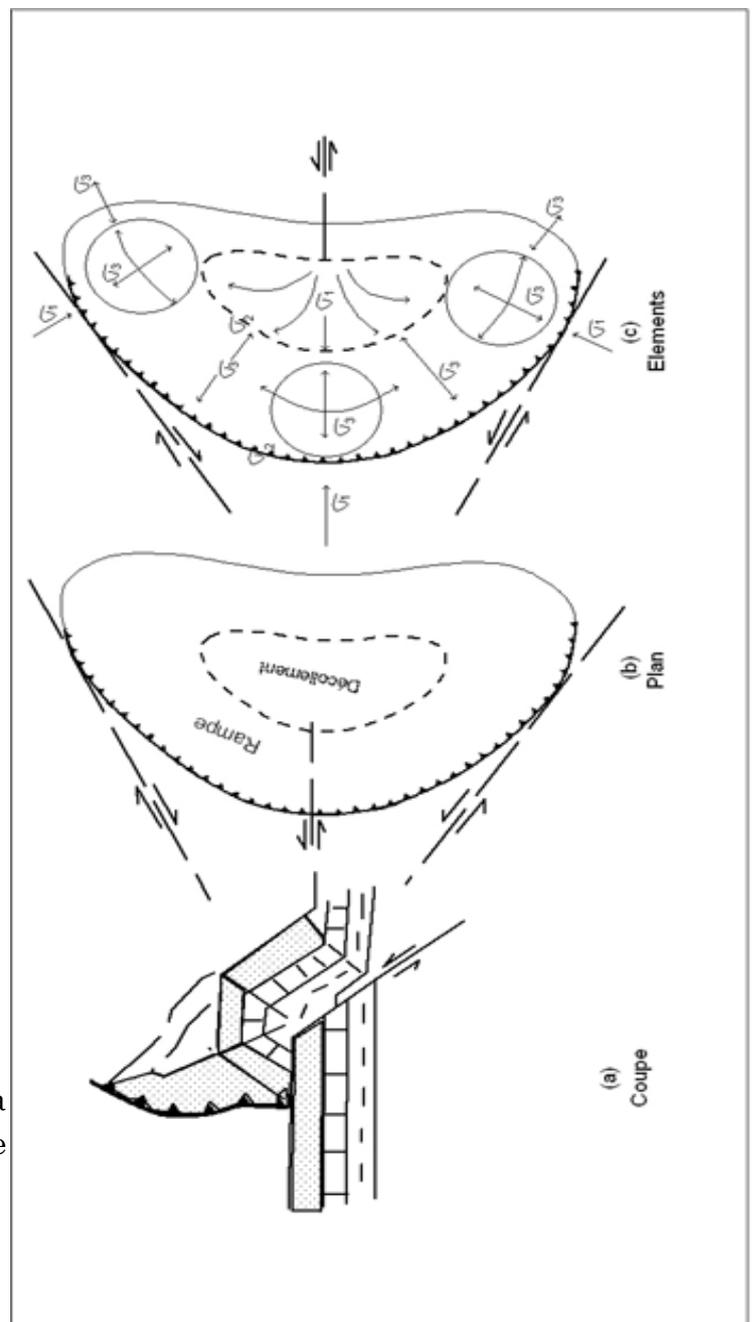


Figure III.12. Modèle tectonique de la déformation des terrains en zone de cisaillement.

La sismicité historique Nord-Ouest d'Algérie :

Le zonage sismique du territoire, montre que la bande tellienne notamment dans sa frange littorale est soumise au degré d'aléa sismique le plus élevé. La région Tellienne est un espace tectoniquement complexe à vulnérabilité sismique naturelle élevée, appelée à connaître d'autres séismes d'importance variable.

La sismicité augmente du S-O vers le N-E et devient plus au moins important selon les données historiques notamment pour la région comprise entre les villes de Mascara, Mostaganem, Sig et Oran, où a eu lieu un plus grand nombre de séismes.

Les mouvements tectoniques ont conditionné la morphologie actuelle du terrain, l'analyse tectonique développée dans un cadre régional permet de décrire les grandes unités structurales et de mettre ainsi en évidence les contours de différentes zones sismiques et de localiser des failles séismogènes, afin de déterminer les séismes potentiels et de prévoir leur intensité maximale.

Pour le regroupement des données des séismes intéressants, les sources peuvent être différentes à partir des comptes rendus historiques, liste d'enquêtes de macro sismicité, jusqu'aux enregistrements par les instruments de microsismicité. Les données historiques rendent comptes d'observations faites sur plusieurs siècles et témoignent de l'existence de grands séismes, par contre elles sont peu précises et n'émanent que des zones habitées. En outre plus on remonte dans le temps plus les événements faible ou moyenne importance sont oubliés et seul les événements forts sont conservés ; plusieurs séismes sont toujours inconnus avant et après l'année 1365.

Les données instrumentales sont une mesure objective et plus précise de l'événement mais elles n'existent que depuis peu de temps. Les données des séismes ne sont donc pas suffisamment sûres pour la période d'avant l'année 1900, et ont un caractère proprement informatif.

Les principaux séismes de l'Ouest Algérien

Oran : séisme du 09 octobre 1790

Heure : 01h15mn

Intensité (I₀): X

Magnitude (M) : 7.5

Epicentre : 35°70N 00°60E

Ce séisme présente un intérêt particulier dans la mesure où il s'agit du plus grand événement historiquement connu.

Région de Mascara : séisme de mars 1819

Heure : 00h01mn

Intensité (I₀) : X

Magnitude (M) : 7.5

Epicentre : 35°40N 00°10E

Ce séisme d'intensité X occasionne la destruction des habitations et la mort d'un grand nombre de personnes dans la région de Mascara. Peu de dégâts à Oran ont été signalés.

Région de Mascara : séisme de 22 novembre 1851

Heure : 09h, 30,mn

Intensité (I₀) : VIII

Magnitude (M) : 5.7

Epicentre : 35°40N 00°10E

A 9h30mn, dans la région de Mascara et des monts de Beni Chograne, un séisme d'intensité VIII marqué par de longues et sourdes détonations entraîne la destruction de plusieurs maisons.

Mostaganem : séisme du 16 janvier 1878

Heure : 19h00

Intensité (I₀) : VI

Magnitude (M) : 4.6

Epicentre : Mostaganem

Mercredi 16 janvier 1878 à 19 h, la population de Mostaganem a été effrayée par un séisme d'intensité VI. Ce séisme fut local, il n'a été ressenti que dans un rayon de 12 à 15 km aux alentours de Mostaganem.

Kalâa : séisme de 29 novembre 1887 Heure 13mn

Intensité (I₀) : IX-X

Magnitude (M) : 6.5-7.5

Epicentre : 35°58N 00°33E

A 13h25mn des secousses ont été ressenties à Kalâa, Thiouret et Mascara, Relizane, Oran, Arzew, El Bordj, Ouled Bouali et enfin Ami Moussa ; la direction des oscillations E-W, durée moyenne 8 secondes, la magnitude de ce séisme est entre 6.5-7.5 et l'intensité IX-X, l'épicentre a été probablement au voisinage de Kalâa.

Une réplique a été ressentie à 13h30 mn, et trois autres à 12h,24mn il n'y a pas eu de dégâts à Oran et Mascara, mais des dégâts considérables à Kalâa.

Oran :

séisme du 21 mai 1889

Heure : 04h15 mn

Intensité (I₀) : VIII-VII

Magnitude (M) : 5.2-5.7

Epicentre : 35°70N 00°80W

A 04h15mn un séisme a réveillé la population dans la région d'Oran. Ce séisme d'intensité modéré VIII-VII n'a provoqué que très peu de dégâts ; quelques maisons lézardées, des corniches fendues, et des cheminées renversées. Ces dégâts matériels sont insignifiants, quand la population fut prise de panique.

Région de Relizane : séisme de 25 avril

1900

Heure : 18h08 mn

Intensité(I₀) : VII-VI

Magnitude(M) : 4.6-5.2

Epicentre : Oran

Une vingtaine de secousses ont été ressenties à Relizane. Ce séisme d'intensité VII-VI a été localisé dans la région de Relizane car il a été ressenti à l'Hillel et à Bel Hacel, il a été beaucoup plus faible à Salines, et nul à Sidi Med Benaouda.

Arzew :

séisme du 24 juillet 1912 Heure :

18h06 mn42s

Intensité(I₀) : VII

Magnitude(M) : 5.2

Epicentre : 35°70N 00°40W

Un séisme de magnitude 5.2 secoua la ville d'Arzew le 24 Juillet 1912 à 06 heures du soir. Cette secousse a provoqué divers dégâts ; ébranlé et disloqué les maisons, produit des tassements, éclatement de gros murs. Cette secousse a été ressentie sur toute la côte de la phase d'Arzew jusqu'à l'embouchure de la Macta. . Plusieurs répliques ont suivi le choc principal dont 03 assez fortes.

Sig : séisme de janvier 1929

Heure : 01h52mn44s

Intensité (I₀): non disponible

Magnitude (M) :

Non disponible

Epicentre : 35°50N 00°20W

La ville de Sig fut ébranlée par un violent séisme. Le choc tellurique est exceptionnel par ce que d'une part, il a eu lieu la nuit et d'autre part les maisons sont certainement de qualité médiocre.

Oran :

Séisme du 4 novembre 1949

Heure :

12h36mn49s

Intensité (I₀) : V à Oran, Bousfer, Misserghin et Sénia

Magnitude (M): 4.1

Epicentre: 35°70N 00°70W

Forte secousse ressentie à Oran sur le littoral et en particulier dans la région de Misserghin.

Un fort grondement souterrain a effrayé la population à Sénia et Oran, et Guambetta.

Région d'Arzew : séisme du 01 janvier 1956

Heure : 07h22mn48s

Intensité (I₀): V-VI à Béthioua

Magnitude (M) : 4.1-4.6

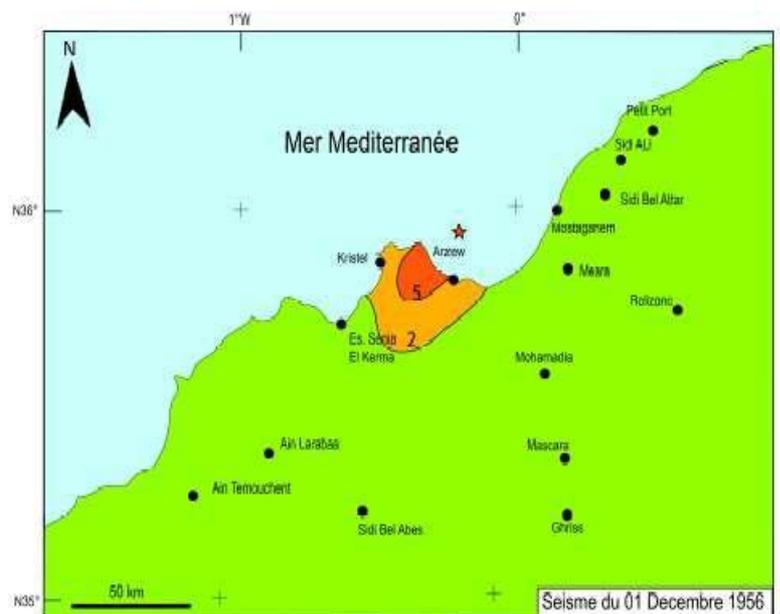
Epicentre: 36°80N 00°30W

Rayon moyen de perception : 20

km. **Profondeur :** 4 km

La carte de l'isoséiste est représentée dans la fig (III.13).

Fig III.13 : Carte Macrosismique du tremblement de terre d'Arzew 1956(CRAAGmodifié)



Oran : séisme du 12 décembre 1959

Heure :

20h00mn05s

Intensité (I_0):

VII à Oran et Gdyl

Magnitude (M) :

5.2

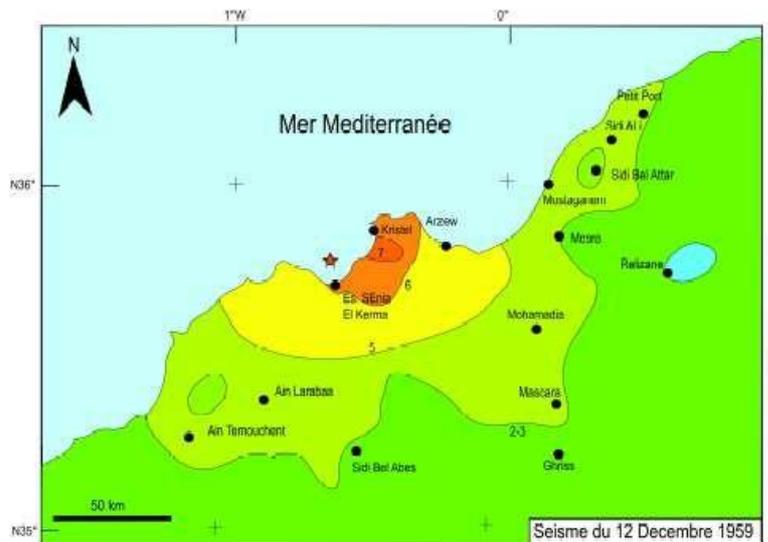
Epicentre :

35°80N 00°60W

Rayon moyen de perception : 75 km Profondeur : 9 km.

Le foyer de ce séisme serait voisin de celui de 09 Octobre 1790 (35°07N 00°07W) degré X (figIII.14).

Fig III.14: Carte Macrosismique du tremblement de terre d'Oran 1959 (CRAAGmodifié)



Béni Saf :

séisme du 13 mai 1964

Heure: 13h46mn21s/33s/22s

Intensité (I_0): VII a Béni Saf

Magnitude (M) : 5.2

Epicentre : 35°50N et 01°50W

Profondeur : 8-9 km (fig 1.12).

Cette secousse a eu lieu entre les monts de Tessala et ceux de Ben Chougrane. Elle fut suivie par de nombreuses répliques (fig III.15).

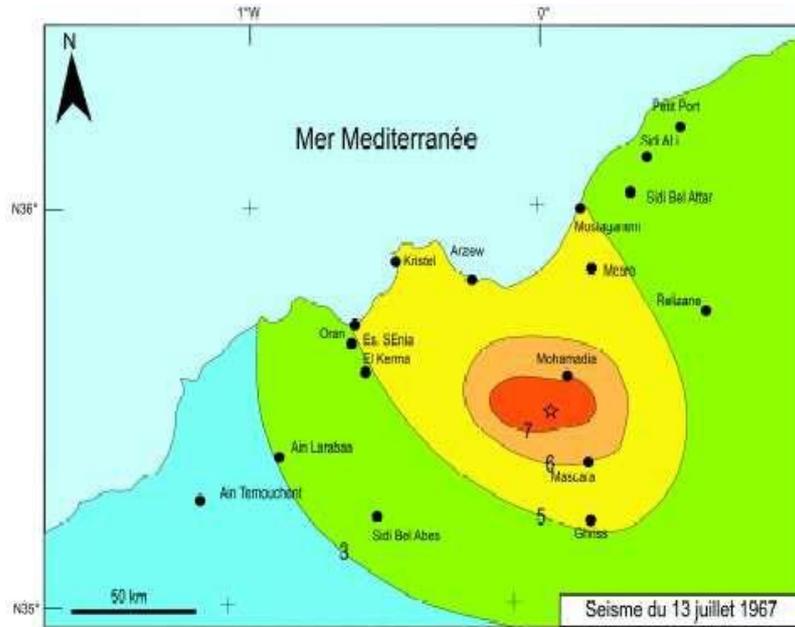


Figure III.15 : Carte Macrosismique du tremblement de terre de Sig 1967 (CRAAG modifié)

Béni Chougrane, Hacine :

séisme du 18 août 1994

Heure : 02h13mn

Intensité (I₀) . VIII

Magnitude (M) : 5.6

Épicentre: 35°45N00°03W

La nuit du mercredi à jeudi 18 août 1994 : 172 morts et 654 blessés et 12500 sans-abris dans la région de Mascara, lors d'une secousse d'une magnitude de 5,6 degrés sur l'échelle de Richter. Ce séisme a eu pour épicentre la zone située entre la commune de Hacine et la daïra de Sig, une profondeur de 10 km. La secousse a été suivie par 16 répliques entre 5.1 à 3.9 sur l'échelle de Richter. La plus grande réplique se fut dans le même jour à 02h43mn, les communes les plus touchées sont celles de Bou Hanifia, Hacine, Gueritoune et Douar Hébaïtra.

Cette région se situe dans une zone de failles où la montée du socle africain vers le socle européen provoque régulièrement des séismes confirmant ainsi la stabilité géologique de l'ensemble du Magreb. La secousse a été ressentie plusieurs dizaines de kilomètres à Sidi Bel Abbés, Sig, Saida et Oran. Ce séisme a causé d'importants dégâts dans la zone de Mascara (Hacine) à cause de la précarité des habitations qui ont été construites sur un bassin sédimentaire (fig III.16).

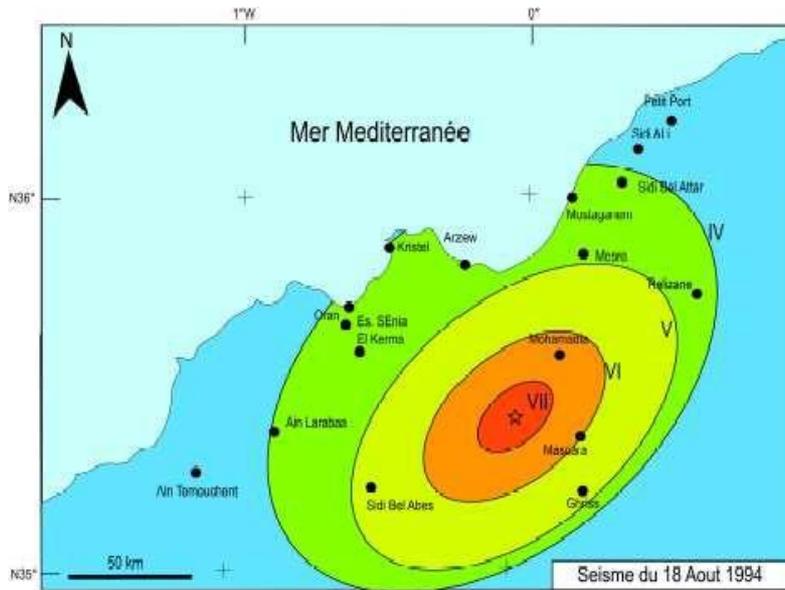


Fig III.16 : Carte Macrosismique du tremblement de terre de Mascara 1994(CRAAG modifié)

La région d'Ain Témouchent : 22 décembre 1999

Heure : 17h 36 mn 55s

Intensité (I0) VIII

Magnitude (M): 5.8

Epicentre : $35^{\circ}29'N 01^{\circ}31'W$

Le Mercredi 22 décembre 1999, à 17h 36 mn 55s, un séisme d'une amplitude de 5.8 sur l'échelle de Richter et d'intensité VII a frappé la ville de Ain Témouchent et les villages environnants de Sidi Ben Adda, Ain Tolba et Ain Lâalem faisant 28 morts et 175 blessés. Tout le reste de la Wilaya était également touché mais sans dégâts importants et sans perte en vie humaine. Ce séisme a été ressenti dans tout l'Ouest algérien (Oran, Tlemcen, Mascara...) jusqu'au Maroc (Oujda). L'épicentre de ce tremblement de terre a été localisé au niveau des monts de Tessala qui est situé à 20 km à l'Est de Ain Témouchent. (L'épicentre $35^{\circ}29'N 01^{\circ}31'W$). Au niveau de la ville de Témouchent, c'est dans la partie Sud, où se concentre le vieux bâti, et où les dégâts ont été les plus importants

On dénombre 2000 habitations touchées dont 39% durement touchées et 15% à démolir. Par contre la nouvelle ville, construite plus ou moins selon des règles parasismiques, n'a pratiquement subi aucun dommage important. Quant au minuscule village de Ain Lâalem, il a été complètement rasé. Ain Tolba à moitié détruite n'a miraculeusement déploré aucun décès. Sidi Ben Adda, elle aussi, a enregistré d'importants dégâts dans certains quartiers.

Tableau III.01 : Les importants séismes affectant la zone Oranaise de 1992 à 2001

DATE	HH MN SS	EPICENTRE	M	I ₀	REGION
17.10.92	20 43 28.0	35.30°N 01.20°W	4.8	V	A.TEMOUCHENT
18.08.94	01 13 00	35.40°N 00.00°E	5.6	VII	MASCARA
10.06.95	19 37 37	35.57°N 00.11°W	4.5	IV	MASCARA
17.09.95	02 46 53.5	35.75°N 00.15°E	4.2	V	MASCARA
21.11.95	00 25 19	35.42°N 00.87°W	4.7	V	S.B.ABBES
12.04.96	03 42 56	35.42°N 00.20°W	4.9	V	MASCARA
19.12.97	15 35 00	35.33°N 01.00°W	4.0	V	A.TEMOUCHENT
07.04.98	07 45 34	35.56°N 00.07°W	4.2	V	MASCARA
10.12.98	17 01 12.9	35.49 °N 00.13°W	4.8	IV	MASCARA
24.02.99	01 16 14	35.44°N 00.12 °W	4.0	IV	MASCARA
10.07.99	10 24 50	35.72 °N 0.38°W	4.7	IV	ORAN
22.12.99	17 37 00	35.26°N 01.23°W	5.8	VII	A.TEMOUCHENT
23.08.2000	00 42 03	35.10 °N 00.99°W	4.0	IV	A.TEMOUCHENT

Les zones sismogènes de Nord-Ouest de l'Algérie :

La région d'Oran :

Cette région fut frappée en 1790 par un séisme dévastateur. Les investigations récentes de terrain [22] ont permis l'identification de deux structures actives majeures pouvant générer d'importants séismes (Fig III.16).

La faille de la Sebkhia nord (F4). Cette faille s'étend sur environ 15 km selon une direction NE–SW. Elle délimite les monts du Murdjadjo, au nord, et la plaine de la grande Sebkhia, au sud (bassin de la Mléta). Vers l'ouest, cette faille change brusquement de direction vers le nord-ouest, sur environ 4 km. Elle est interprétée comme une faille inverse à pendage nord. Plus au nord, vers les hauteurs, le déplacement le long de la faille est supposée active, car les épaisseurs des séquences sédimentaires d'âge Quaternaire, rencontrées immédiatement au sud sont en faveur d'une importante subsidence tectonique du bassin de la Mléta. Cette faille, qui a une longueur totale de 55 km, est parfois le siège d'une micro-activité sismique, comme en témoigne le dernier petit séisme (M_l 3,1) qui s'est produit le 26 novembre 2004 dans l'extension marine du pli-faille du Murdjadjo. Elle pourrait être aussi à l'origine du séisme d'Oran en 1790.

La faille de la Sebkhia sud (F5). Cette importante structure correspond à un système de failles inverses discontinues, à pendage sud à sud-est. Elle recoupe les surfaces de piémont représentés par des niveaux alluvionnaires d'âge Pléistocène inférieur à Holocène, qui séparent la grande Sebkhia d'Oran (bassin de la Mléta), au nord, des monts du Tessala, au sud. Cette faille, d'orientation NE–SW, présente un plan sur lequel des stries ont été observées. Ces dernières sont en faveur d'une cinématique en faille inverse, générant d'un chevauchement oblique vers le sud et le sud-est. Ce système de failles se prolonge le long des monts du Tessala, sur une longueur d'environ 30 km. Sur la base de la cartographie réalisée par Thomas [43], ce système de faille se prolonge d'au moins 35 km supplémentaires vers l'est, le long de la limite méridionale de la plaine de Habra, soit une longueur totale de 65 km environ. Les ruptures de failles observées dans les niveaux du Quaternaire supérieur sont exprimées par de

nombreuses terrasses étagées observées sur le compartiment soulevé (partie sud) de la faille et par des escarpements de failles, qui déplacent les surfaces alluviales de piémont situées entre la montagne, au sud, et la sebkha, au nord. Dans certaines zones de cet escarpement, la faille est représentée par une zone de 200 m de largeur environ, dans laquelle au moins trois niveaux de terrasses ont été identifiés. La trace la plus méridionale coïncide avec un escarpement de 40–50 m d'élévation situé à la base du front, qui déplace les dépôts alluviaux quaternaires. Des profils topographiques de ces escarpements ont été réalisés, afin de localiser l'emplacement précis de la faille sur les terrains alluviaux Holocène et Pléistocène. La partie nord du profil, recouverte en grande partie par des alluvions Pléistocène, est recoupée par deux escarpements. L'âge de ces dépôts alluvionnaires n'est pas connu avec précision, mais ne dépasserait probablement pas 35 000 ans. Le déplacement vertical cumulé à travers les escarpements sur les profils réalisés est de 17,1 ± 1,0 m. Ces données sont en faveur d'un taux de déplacement (à long terme) sur la faille de la Sebkha sud d'au moins 0,49 mm an⁻¹. La surface du deuxième profil topographique est recouverte par des dépôts colluviaux d'âge Holocène. Des datations au carbone 14 d'échantillons de charbon, collectés dans un ravin d'oued situé à 10 m environ du premier profil, montrent que l'âge des dépôts colluviaux est de moins de 3000 ans. Le déplacement vertical cumulé à travers les deux escarpements serait ainsi d'environ 1,4 ± 0,5 m. Ces données indiquent des déplacements (à court terme) estimés à 0,46 mm an⁻¹, similaires à ceux évalués sur le long terme. Les failles associées à l'un des escarpements sont visibles dans un ravin d'oued situé immédiatement à 10 m à l'est du profil. La faille est montrée en coupe le long de la paroi du ravin et se traduit par deux ruptures très proches, présentant un pendage de 55° vers le sud. Le déplacement vertical cumulé est ≥ 1,6 m. Trois datations au carbone 14, effectuées sur des échantillons prélevés sur ces plans de faille, indiquent que les failles ont été générées durant les 3000 dernières années. Elles indiquent un taux de déplacement à court terme ≥ 0,53 mm an⁻¹.

une terrasse alluviale présentant un sol gris faiblement développé, ce qui laisse supposer que les dépôts de la terrasse sont âgés de moins de 100 000 ans. Une faille croise le contact entre cette terrasse et le rocher sous-jacent et abaisse ce contact d'approximativement 60 cm vers le nord. Ces observations sont cohérentes avec l'hypothèse que le séisme de Ténès du 25 août 1922 [3] s'est déclenché sur la structure d'Oued Alla-lah.

La zone faillée en mer (F2). Une faille active a été localisée en mer, le long du littoral de la région de Ténès. Elle est plus clairement exprimée dans la zone côtière à l'ouest de Ténès. Plusieurs critères ont été re-tenus : le relevé réalisé en 1970 montre des flexures de direction nord-est, avec des flancs nord raides. Des failles sont localement présentes au cœur des flexures et présentent un abaissement du compartiment nord-ouest selon un plan vertical. Ces structures sont similaires à celles qui sont associées avec les failles actives dans la zone d'Ech Chélif ; la cartographie montre une faille, de direction nord-est et de 15 à 20 km de longueur le long de la projection des flexures. Cette faille montre un abaissement du compartiment nord-ouest selon un plan vertical ; ces failles et flexures reposent le long d'une ligne qui sépare une zone déformée, topographiquement plus élevée, au sud-est, d'une zone topographiquement plus basse, soulignée par des terrasses, au nord-ouest.

Ces caractéristiques structurales et géomorphologiques se poursuivent en mer jusqu'à environ 15 km à l'ouest de la limite de zone côtière. Elles sont supposées s'étendre le long de la côte au nord de la région d'étude, pour trois raisons :

à l'est de Ténès, les roches du Néogène ont une direction approximative est-ouest (parallèle à la côte) et un pendage de 60° vers le nord. Ceci laisse supposer une flexure faisant face au nord, qui devrait être similaire à celles qui longent le côté nord de la plaine du Chélif ;

plusieurs séismes de taille moyenne ont eu lieu le long de la côte près de Ténès, et un fort séisme a eu lieu près du littoral, au voisinage de la ville de Gouraya, vers l'est ;

le littoral de la région de Ténès est escarpé et s'élève rapidement, l'altitude atteint couramment 500 à 700 m dès les premières crêtes situées au sud de la côte.

Ces structures sont une image miroir de celles de la région d'Ech Chélif, le long du côté sud de la chaîne, et sont interprétées comme résultant d'une ceinture de failles inverses de direction nord-est, qui s'enfoncent au sud-est sous les roches déformées et relativement soulevées de la chaîne ouest du Dahra.

Bien que la zone faillée en mer soit décrite comme une fracture continue, les segments émergés sont similaires à la zone faillée de la vallée du Bas Chélif par leur aspect en segments de faille relativement courts et discontinus. Ils présentent par ailleurs approximativement la même direction, et sont couramment joints par des plis ou des flexures.

Chapitre IIIV

Analyse et interprétation d'Alea sismique du Nord-Ouest de l'Algérie

Méthode d'évaluation d'aléa

Deux méthodes sont couramment utilisées pour l'évaluation de l'aléa sismique : l'analyse probabiliste d'aléa sismique (PSHA) et l'analyse déterministe d'aléa sismique (DSHA) ; (Bommer 2002). Les deux méthodes utilisent les mêmes données sismologiques et informations géologiques, mais les approches à définir et calculer l'aléa sismique sont fondamentalement différemment. Dans l'approche PSHA, l'aléa sismique est défini comme mouvement d'accélération du sol avec une probabilité annuelle de dépassements qui est calculé à partir d'une triple intégration (un model statistique) basée sur des relations statistique du tremblement de terre et du mouvement du sol. Dans la méthode DSHA, l'aléa sismique est défini comme le mouvement au sol maximal d'un seul tremblement de terre ou l'ensemble de tremblements de terre est calculé à partir d'un modèle statistique simple entre le tremblement de terre et le mouvement du sol.

Un élément clé pour l'évaluation des aléas sismiques, y compris les deux méthodes (PSHA et DSHA) et le paramètre d'atténuation du mouvement du sol ou l'équation de prédiction du mouvement du sol (GMPE).

Les étapes fondamentales d'évaluation d'aléa :

La méthodologie d'évaluation de l'aléa sismique peut être subdivisée en un certain nombre d'étapes, ces dernières sont déduites grâce à une bonne connaissance de la sismotectonique régionale et la disponibilité des données de la sismicité de la région d'étude.

- La première étape est d'établir un zonage sismotectonique basé sur la corrélation entre les structures géologiques actives et la séismicité. Ce zonage repose sur la définition et la délimitation du domaine d'étude en unités séismogènes ; supposées géologiquement et géophysiquement homogènes.
- La seconde étape est d'établir une base de données régionale dite catalogue sismique.
- La troisième étape fondée sur le calcul de l'activité sismique de chaque unité séismogène par l'application d'une loi de distribution fréquentielle de Gutenberg Richter.
- La quatrième étape est spécifique au choix du modèle sismique de distribution des futurs événements séismes.
- La cinquième étape est d'estimer ; en un site donné les effets induits par les

différentes zones sous forme de paramètres du terrain (déplacement, vitesse, propagation et accélération) ou l'intensité. Ces effets sont évalués à partir des lois d'atténuation adaptées au contexte sismotectonique local qui dépend de la distance focale ou épacentrale, de la magnitude, ou de l'intensité épacentrale et de la profondeur du séisme envisagé.

- La sixième étape est celle de présentation de l'aléa sismique par les courbes d'aléa et/ou par les cartes d'aléa sismique.

Evaluation de l'aléa sismique par l'analyse fréquentielle :

L'analyse fréquentielle comprend une longue série de données permettant d'estimer les périodes de retour. Cette évaluation basée sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel présenté par l'équation de modélisation Gumbel à variante statistique.

L'estimation de la probabilité et/ou la période de retour d'un tremblement de terre, suite aux informations historiques, présente une étape fondamentale dans l'évaluation de l'aléa sismique. Les méthodes de prédiction sont généralement basées sur les méthodes statistiques fondées sur l'analyse d'événements précédentes ou par les méthodes purement déterministes (El-Quliti et al. 2016).

Des modèles statistiques très souvent utilisés dans l'estimation de la probabilité d'un séisme sont ceux de la relation de Gutenberg–Richter 1944 et loi double exponentielle ou loi de Gumbel 1958.

La première loi connue de (Gutenberg and Richter 1944) propose la relation empirique la plus connue entre la magnitude des séismes (M) et la fréquence des séismes (N) qui est largement appliquée afin de prédire l'occurrence des tremblements de terre. Cette relation est donnée par l'équation suivante :

$$\text{Log}_{10}(N(M))=a-b*M \quad (1)$$

$N(M)$: est le nombre annuel de séismes de magnitude supérieur ou égale à M , a et b appelées les paramètres de la loi de Gutenberg-Richter sont des coefficients de régression, ils dépendent des conditions sismotectonique de la région.

La valeur b joue un rôle très important dans la relation de GR. Comme cela aide à structurer une idée claire sur le modèle sismique et le niveau de contrainte sismique

d'une zone, le calcul du b-value est une étape fondamentale pour l'analyse du risque sismique de n'importe quelle zone (Ahmed et al. 2016)

L'application de L'approche statistique des valeurs extrêmes du (Gumbel 1958) dans l'évaluation de l'alea sismique est utile et significatif (Tezcan 1996) et surtout dans le cas où le catalogue des événements sismiques est hétérogène ou non complet.

La fonction de répartition de la loi de Gumbel $G(M)$ s'exprime de la manière suivante :

$$G(M) = e^{\alpha e^{-\beta M}} \quad (2)$$

α et β représentent les coefficients de régression de Gumbel, peuvent s'exprimer par les relations suivantes :

$$\alpha = 10^a, \quad a = \log \alpha \quad (3)$$

$$\beta = b / \log e, \quad b = \beta \log e \quad (4)$$

Calcul de la probabilité de récurrence et les différentes périodes de retour d'un séisme

La probabilité de récurrence du séisme de magnitude pendant 1 an (R_1) et D années (R_D) et la période de retour (Tr) peuvent être estimées selon les équations suivantes (Tezcan 1996) :

$$N(M) = \alpha e^{-\beta M} \quad (5)$$

$$Tr = \frac{1}{N(M)} \quad (6)$$

TableauIII.2 : paramètres séismogènes des unités sismotectonique du littoral Oranais (1900-2006)

Unité séismogène	Loi fréquentielle de Guttenberg Richter	b value
Zone 02 littorale d'Arzew	$\text{Log } M(N) = 3.52 - 0.57M_w$	0.57
Zone 03 littorale de Mostaganem	$\text{Log } M(N) = 3.156 - 0.47M_w$	0.47
Zone 04 Littorale de Ténès	$\text{Log } M(N) = 3.92 - 0.51M_w$	0.51

Le calcul des lois de distribution de la sismicité pour les différentes zones montre une caractéristique importante liée aux faibles valeurs de 'b'. Ce paramètre, indice d'activité sismique, montre une spécificité géodynamique importante (Nadji 2010).

La distribution spatiale de l'activité sismique sur le littoral Oranais montre que les zones internes caractérisant par une faible activité sismique faible par rapport aux zones du tell septentrional. Cette distribution est liée aux plusieurs paramètres, Les travaux de (Jhon curtus 1973) confirment que les faibles valeurs de 'b' décroissent avec la profondeur du substratum et avec le temps géologique.

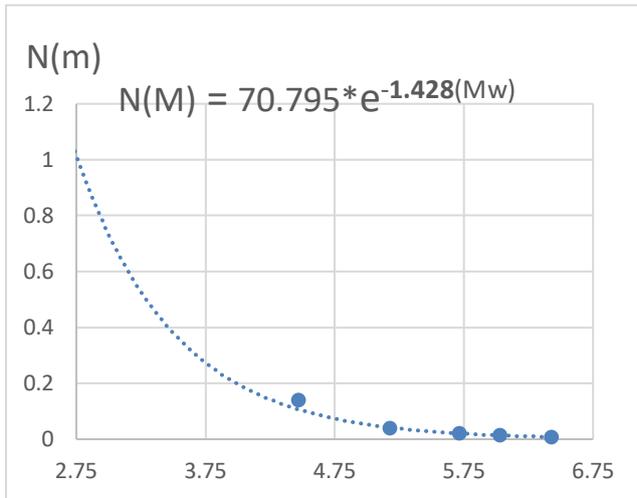
Interprétation d'aléa sismique de Nord-Ouest de l'Algérie :

Les données de valeur de coefficients d'activité sismiques expriment en sens dynamique l'état d'évolution du substratum régionale envisagé d'après les données et la configuration des diagrammes séismogènes (figIII.19) et la configuration géométrique de fréquentielle de Guttenberg Richter, on vient de confirmer que les zones orientales sont généralement plus dynamiques que les zones occidentales. Ces résultats ont une autre lecture dans le sens géostructurale qui se presume respectivement des faits suivant :

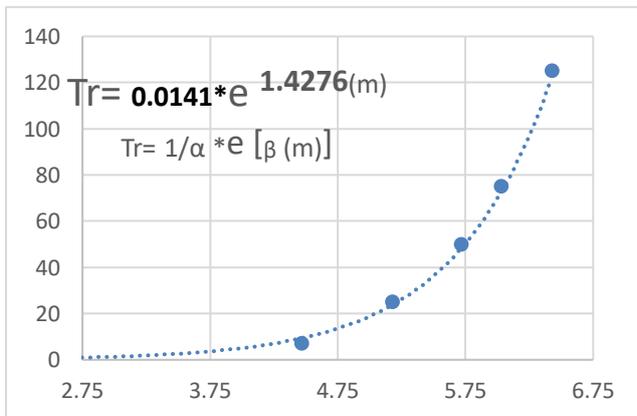
- Le découpage sismotectonique est utilisé et considéré comme une donnée fondamentale et raisonnable vue les résultats présentés.
- Les zones à reliefs de littorale Oranais sont le résultat de l'énergie profond qui se dessine progressivement aux fils de temps pour donner la géomorphologie actuelle.

- Les zones internes représentent une activité sismique qui englobe spécialement la couverture sédimentaire, cette dernière prend 2 aspects différents : soit une couverture meuble avec des couches sédimentaires détritiques qui peuvent amplifier les ondes sismiques donnant en conséquence des b values important ou une couverture sédimentaire plus ou moins compacte qui atténue les ondes sismiques donnant en conséquence de b value modérer.

Zone 02 :

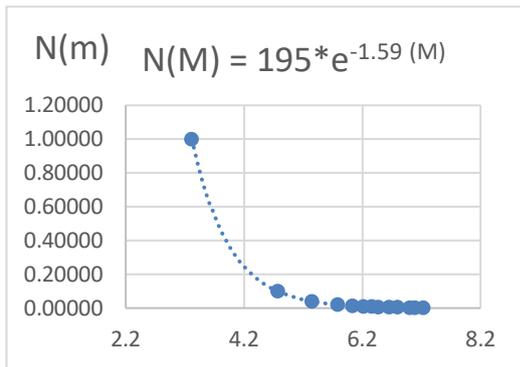


(a)

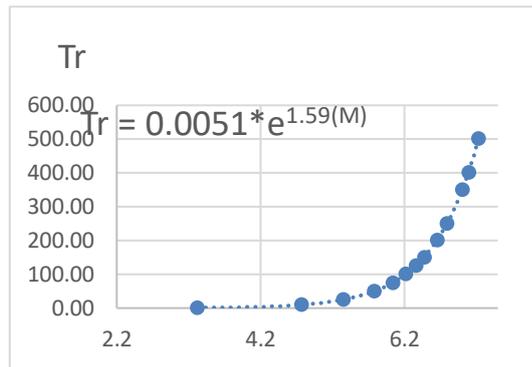


(b)

Zone 03 :

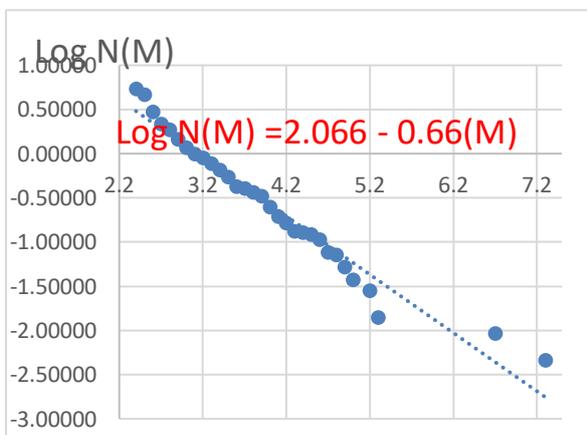


(a)

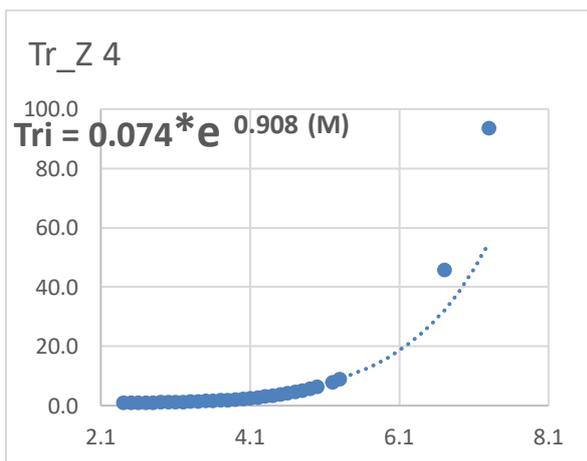


(b)

Zone 04 :



(a)



(b)

Figure IIIV.19 présentation de la relation entre les magnitudes M_w et la probabilité de récurrence à différentes périodes de retour.

(a) probabilité de récurrence (b) période de retour

Conclusion générale

Conclusion générale :

En un demi-siècle, des preuves suffisantes ont été offertes aux chercheurs algériens d'être maintenant convaincus que les risques de tremblements de terre dans notre pays sont bien réels et, surtout, fatales et inéluctables. L'Algérie est contrainte d'apprendre à vivre avec les séismes. Pour prévenir les catastrophes, il faut d'abord apprendre à connaître les risques, comprendre les mécanismes physiques d'un séisme et ensuite apprendre comment il agit sur les communautés humaines. Les données sismiques que nous avons exploité son de plusieurs sources d'inventaires et catalogues nationaux et internationaux dont leur traitement a permis le classement et la complétude des événements sismiques en plusieurs catégorie.

Dans ce modeste travail, nous avons appréhendé plusieurs approches de calcul d'aléa et de présentation paramétrique des coefficients séismogènes de notre région d'étude. L'utilisation des lois fréquentielles ; de Gutenberg-Richter et celle de Gumbel qui nous ont permis d'estimer les coefficients de la variabilité sismique (a) et de la vitesse de changement de la dynamique séismique (b). L'interprétation de ces données ont donné de bonnes réponses concernant le lien existant entre les sollicitations de contraintes sismotectonique et les paramètres séismogènes sur l'ensemble des terrain étudiés des zones 2, 3 et 4 (bas-Chéelif).

A la lumière de cette étude, nous pouvons donc en conclure que la sismicité du littoral oranais montre que le Nord-Ouest de l'Algérie est caractérisé par une sismicité modérée liée à une géodynamique régionale où on souligne l'effet d'un cisaillement profond qui affecte le substratum de ces régions selon un relai directionnel qui s'oriente pratiquement d'Ouest en Est ; in Nadji (2010). En conséquence nous avons effectué une comparaison sur la latitude séismique de cette région littorale via le paramètre séismogènes ; 'b_value' qui exprime vraisemblablement la vitesse de l'activité séismique approuvées par différentes sources qu'elle est perpétuellement croissante suivant de l'Ouest vers l'Est.

Avec une annotation importante spécifique à la zone-4 ; qui conserve sur le long de son extension des valeurs en 'b_value' qui sont intermédiaires à faibles par rapport à l'ensemble. Voir le tableau de synthèse suivant :

Data (unités-séismotectoniques)	b_value/Magnitudes (Ms); in Nadji (2010)	b_value/Magnit(Mw); présent travail (2022)
Zone-2	b2 = 0.31	b2 = 0.57
Zone-3	b3 = 0.34	b3 = 0.69
Zone-4	b4 = 0.28	b4 = 0.51

Avec cette remarque nous venons de souligner l'intérêt d'engineering séismique envers l'exploration de la géodynamique des entités géologiques (profondes) et que seule la contribution de la 'séismologie' permet de valider actuellement l'état dynamique d'une région donnée.

Références Bibliographiques :

- **Abacha I.**,2015 étude de la sismicité de la région Nord-est de l'Algérie, Université Ferhat Abbas , Setif , Thèse , pp 11-20.
- **Belhadji A.**,2021 La sédimentation du Miocène supérieur au Pliocène des monts du Dahra (exemple de Djebel Diss et Plateau d'Ain Merane) aspects litho-stratigraphique et micropaléontologique, université Mohamed Benahmed ,Oran, thèse, pp 13-14.
- **Mekebrat I.** , 2017,synthèse hydrogéologique et origine de la salinité des eaux thermo-minérales du littoral Oranais par les méthodes géochimiques et isotopiques, université Mohamed Benahmed Oran, Mém., 4p.
- **Nadji A.**, 2010, étude sismotectonique du littoral Oranais – Contribution à l'Aléa sismique, Université d'Oran Es-senia ,Oran , thèse, pp68-69.
- **Refas S.**, 2020, cartographie et prévention des risques naturels : évaluation de l'Aléa sismique pour une meilleure gestion des catastrophes naturelles dans l'Oranie (tell Occidentale-Algérie), université Mustapha Stambouli ,Mascara thèse, pp22-31.
- **Refas S.**, 2020cartographie et prévention des risques naturels : évaluation de l'Aléa sismique pour une meilleure gestion des catastrophes naturelles dans l'Oranie (tell Occidentale-Algérie), université Mustapha Stambouli Mascara , thèse, pp45-47.
- **Roukh Z.**,2020 cartographie algébrique d'alea multirisque du littoral Oranais, NO Algérie, Université Mohamed Benahmed ,Oran , thèse, pp 28-30.
- **Roukh Z.**,2020 cartographie algébrique d'alea multirisque du littoral Oranais, NO Algérie, Université Mohamed Benahmed ,Oran , thèse,pp40-45.
- **Yelles-Chaouche A.**, Boudiaf A., Djellit H, Bracene R., 2006, La tectonique active de la région nord-algérienne, *Centre de recherche en astronomie astrophysique et géophysique, CRAAG, route de l'Observatoire, BP 63 Bouzaréah, Alger, ME2i, 4, allée des Jachères, SILIC 421, 94263 Fresnes, France, Division Exploration Sonatrach, Boumerdes, Algérie, Art.*, pp129-132.

Annexe

Annexe :

Zone 02 :

Id.	Date		Longitude_	Latitude_	Mw
	Event_Jrs.				
21	25/07/1912	-0,3	35,9	2,8	
22	31/07/1912	-0,3	35,9	4	
23	02/08/1912	-0,3	35,9	3,4	
25	18/09/1912	-0,3	35,9	3,4	
32	10/06/1914	-0,43	35,78	2,8	
43	19/06/1925	-0,4	35,8	4,9	
54	27/02/1933	-0,33	35,85	3,4	
94	19/06/1956	-0,5	35,77	3,4	
95	10/10/1956	-0,5	35,77	3,4	
96	10/10/1956	-0,5	35,77	4	
98	14/02/1957	-0,4	35,8	4	
101	08/06/1957	-0,52	35,72	4	
106	18/10/1957	-0,4	35,83	4	
116	12/12/1959	-0,6	35,8	4,4	
156	06/06/1972	-0,6	35,8	4	
188	07/03/1982	-0,57	35,82	3,6	
189	23/08/1982	-0,42	35,78	3,4	
213	22/08/1991	-0,46	35,98	3,2	
219	26/02/1992	-0,36	35,82	3,7	
276	23/08/1994	-0,56	35,81	2,5	
282	27/08/1994	-0,53	35,85	2,7	
290	04/09/1994	-0,47	35,88	3,2	
295	30/09/1994	-0,41	35,81	3	
316	03/11/1995	-0,44	35,76	3,3	
348	28/10/1998	-0,4	35,8	3,2	
415	23/06/2002	-0,43	35,81	3,5	
432	11/11/2002	-0,36	35,93	3,3	
474	26/11/2004	-0,57	35,78	3,6	
484	21/04/2005	-0,38	35,95	3,2	
506	23/09/2005	-0,4	35,98	3,5	
534	27/01/2007	-0,6	35,8	2,8	
574	22/01/2008	-0,3	35,86	3,3	
575	22/01/2008	-0,46	35,88	3,4	
576	25/01/2008	-0,52	35,84	2,6	
615	06/06/2008	-0,42	35,78	3,9	
616	06/06/2008	-0,56	35,8	4,5	
617	06/06/2008	-0,52	35,81	5,5	
625	08/06/2008	-0,59	35,77	2,6	
628	12/06/2008	-0,48	35,85	3,5	
630	14/06/2008	-0,51	35,9	3,5	
631	15/06/2008	-0,59	35,86	3,5	

638	24/07/2008	-0,44	35,76	4,3
640	26/08/2008	-0,63	35,81	3,4
644	01/10/2008	-0,45	35,78	3,3
645	11/10/2008	-0,4	35,89	3,6
646	15/10/2008	-0,4	35,79	2,9
745	28/01/2010	-0,49	35,75	3
790	06/08/2010	-0,38	35,8	3,2
822	13/01/2011	-0,43	35,88	2,7
876	16/05/2011	-0,55	35,81	2,7
891	14/06/2011	-0,45	35,79	2,6
975	19/03/2012	-0,33	35,9	2,6
976	21/03/2012	-0,64	35,82	4,7
988	22/04/2012	-0,35	35,87	2,6
1029	20/03/2014	-0,42	35,81	3,6
1071	04/01/2015	-0,49	35,85	3
1092	13/01/2016	-0,39	35,91	2,5
1096	07/05/2016	-0,47	35,84	2,7

Les bins	freq-simple	f.cumulcrois	F.cum_de crois	Log N(M)
2.94	15	15	58	1.76
3.38	12	27	43	1.63
3.82	18	45	31	1.49
4.26	7	52	13	1.11
4.7	4	56	6	0.78
5.14	1	57	2	0.30
5.58	1	58	1	0.00
>	0			

Zone 03 :

ID	Date_jour_	Longitude_	Latitude_	Mw_Calculé
81	02/08/1953	1	36,25	2,8
83	20/09/1953	0,2	36,03	2,8
90	15/10/1955	0,92	36,42	3,4
109	30/08/1958	0,41	36,2	2,8
119	09/06/1960	0,9	36,1	4,6
121	26/09/1960	1	36,25	3,4
345	19/06/1998	0,8	36,24	3,6
423	14/08/2002	0,32	36,2	3,6
458	08/01/2004	0,84	36,5	3,7
468	30/05/2004	0,99	36,14	3,3
504	19/09/2005	0,4	36,25	3,3
522	11/08/2006	0,99	36,58	3,3
526	26/10/2006	0,95	36,29	2,8
531	16/12/2006	0,98	36,45	4,5
583	23/02/2008	0,32	36,04	2,8
587	02/03/2008	0,25	36,1	3,3
610	06/05/2008	1	36,41	3,2
611	06/05/2008	0,96	36,43	3,3
671	20/05/2009	1,01	36,39	2,6
690	11/07/2009	0,43	36,19	2,8
699	17/09/2009	0,43	36,21	2,9
715	17/11/2009	1	36,42	3
730	30/12/2009	0,35	36,06	2,5
740	13/01/2010	0,95	36,51	4
752	11/03/2010	0,93	36,35	2,7
795	22/08/2010	0,22	36,17	3,7
797	26/08/2010	0,99	36,36	2,5
807	28/10/2010	1,02	36,31	3,3
863	07/04/2011	0,82	36,18	2,5
866	14/04/2011	0,8	36,07	2,6
883	29/05/2011	0,75	36,34	2,8
885	04/06/2011	1,03	36,4	2,9
907	01/08/2011	1	36,46	2,5
908	06/08/2011	1,06	36,56	2,7
909	08/08/2011	0,59	36,05	3
930	11/10/2011	0,68	36,05	2,5
966	05/03/2012	0,97	36,48	2,6
967	05/03/2012	0,95	36,45	2,9

968	05/03/2012	0,94	36,5	3,1
969	05/03/2012	0,98	36,46	3,5
971	05/03/2012	0,91	36,47	4,5
972	08/03/2012	0,9	36,47	2,6
974	19/03/2012	0,97	36,29	2,5
977	24/03/2012	0,97	36,44	3,9
978	24/03/2012	1	36,4	3,9
979	24/03/2012	0,81	36,47	4
980	25/03/2012	0,96	36,43	2,5
982	03/04/2012	0,92	36,52	2,6
983	05/04/2012	0,98	36,37	3,6
984	06/04/2012	0,97	36,4	3,3
989	25/04/2012	1	36,43	2,6
992	17/08/2012	1,09	36,47	0
1019	16/06/2013	0,52	36,37	2,5
1040	05/06/2014	0,65	36,09	3,8
1052	12/08/2014	0,87	36,43	2,8
1053	16/08/2014	0,75	36,44	2,7
1073	07/01/2015	0,78	36,28	3,7

Classes	Bins	Freq_Simpl	FC_crois	FC_decroi	Log N(Mw)
2.50- 2.95	2.95	29	46.03	63	1.8
2.95- 3.40	3.4	13	20.63	34	1.53
3.40- 3.85	3.85	8	12.7	21	1.32
3.85- 4.30	4.3	4	6.35	13	1.11
4.30- 4.75	4.75	4	6.35	9	0.95
4.75- 5.20	5.2	3	4.76	5	0.7
5.20- 5.65	5.65	2	3.17	2	0.3
>	>	0			
	effect (N)=	63	100		

Zone 04 :

Id.	Date Event_Jrs.	Longitude_	Latitude_	Mw
15	07/08/1907	0	35,8	4,6
20	24/07/1912	-0,4	35,7	5,2
26	22/10/1912	0,1	35,9	2,8
44	20/06/1925	-0,18	35,82	4,6
50	24/08/1928	0,6	35,9	5,2
55	01/04/1939	0,1	35,9	4,6
56	08/01/1941	0,08	35,93	4,6
67	05/04/1950	-1,17	35,3	4
68	06/04/1950	-1,17	35,3	4
72	21/11/1950	-0,17	35,8	4
73	30/11/1950	0,1	35,92	3,4
77	20/06/1952	-0,2	35,8	5
89	10/10/1955	-0,83	35,5	3,4
92	25/02/1956	0,08	35,92	3,4
115	02/10/1959	0,1	35,93	2,8
122	01/12/1960	0,1	35,8	5,2
141	27/04/1967	-0,2	35,7	4,8
143	27/05/1967	-0,2	35,7	4,7
145	24/07/1967	-0,8	35,4	3,5
162	24/08/1973	-0,04	35,85	3,5
164	24/11/1973	-0,04	35,85	4,8
174	01/06/1976	0,07	35,93	3,4
181	16/01/1980	-1,03	35,35	4
183	19/01/1981	-0,32	35,81	4,6
193	10/11/1983	0,08	35,93	2,9
194	09/06/1984	-0,17	35,64	2,9
198	18/07/1985	-1,2	35,38	3,1
199	10/05/1986	0,32	35,84	3,9
202	04/11/1987	-0,5	35,67	3,3
206	02/03/1989	0,57	35,91	3,3
216	07/02/1992	0,11	35,84	2,8
217	08/02/1992	0,16	36,01	2,6
221	22/06/1992	-0,8	35,39	3,3
227	17/10/1992	-1,51	35,28	5
233	16/07/1993	0,07	35,69	3,3
234	15/08/1993	-0,33	35,59	3
242	18/08/1994	-0,14	35,55	4,8
243	18/08/1994	-0,67	35,6	3
244	18/08/1994	-0,16	35,57	3,4
245	18/08/1994	-0,12	35,54	4,2
247	18/08/1994	-0,41	35,68	3,4
252	18/08/1994	-0,57	35,65	3,3
256	18/08/1994	-0,61	35,61	2,8

257	18/08/1994	-0,26	35,7	3,3
259	18/08/1994	-0,75	35,43	2,7
260	19/08/1994	-0,89	35,47	2,4
261	19/08/1994	-0,18	35,73	3,4
266	20/08/1994	-0,13	35,56	3,3
268	21/08/1994	-0,17	35,69	3,3
272	22/08/1994	-0,26	35,59	2,8
281	27/08/1994	-0,61	35,65	2,7
284	28/08/1994	-0,29	35,78	3,3
286	31/08/1994	-0,07	35,73	2,5
292	24/09/1994	-0,49	35,65	3
293	26/09/1994	-1,02	35,43	3,1
294	27/09/1994	-0,09	35,61	3,4
303	31/01/1995	-0,23	35,65	4,8
313	17/09/1995	0,15	35,75	4,2
314	19/09/1995	0	35,81	3,7
315	30/09/1995	-0,71	35,61	3,2
317	21/11/1995	-0,87	35,42	4,1
319	25/02/1996	-0,39	35,67	3,3
326	31/05/1996	-0,96	35,35	2,9
338	19/12/1997	-0,9	35,4	4,1
343	07/04/1998	-0,09	35,54	3,9
362	22/12/1999	-0,96	35,31	3,5
363	22/12/1999	-1,52	35,36	3,8
365	22/12/1999	-1,5	35,38	3,8
366	22/12/1999	-1,33	35,35	3,9
367	22/12/1999	-1,58	35,29	3,9
369	22/12/1999	-1,37	35,3	4,5
373	23/12/1999	-1,35	35,4	4,9
376	24/12/1999	-1,4	35,37	4
380	31/12/1999	-1,51	35,29	4,2
382	03/01/2000	-1,24	35,36	4,1
387	20/03/2000	-1,36	35,39	4
391	10/04/2000	-1,43	35,43	3,8
397	23/08/2000	-1,49	35,4	3,9
421	06/08/2002	-1,14	35,44	3,2
424	29/08/2002	-0,48	35,61	3,4
426	21/09/2002	-0,97	35,3	3,6
427	21/09/2002	-0,95	35,47	3,9
428	21/09/2002	-0,97	35,4	4
430	17/10/2002	-0,68	35,52	4,1
431	01/11/2002	-0,07	35,86	3,4
436	29/03/2003	-0,11	35,65	3,6
442	01/07/2003	0,11	35,85	4,1
444	23/07/2003	-0,42	35,71	3,5
448	16/09/2003	-0,25	35,73	3,2

452	18/10/2003	0,37	35,95	4
460	06/02/2004	-0,09	35,71	4,3
464	18/04/2004	-0,05	35,69	3,9
475	29/12/2004	0,31	35,99	3,5
477	11/03/2005	-0,23	35,8	3,7
481	07/04/2005	-0,15	35,58	2,6
483	18/04/2005	-0,18	35,65	3,7
491	07/07/2005	-0,92	35,49	2,9
495	23/07/2005	-1,38	35,35	3,3
502	17/08/2005	-0,2	35,68	3,2
503	17/08/2005	0,14	35,81	4,4
507	07/10/2005	-1,13	35,36	3,5
519	23/07/2006	0,6	35,93	3,7
520	23/07/2006	0,62	35,93	4,5
521	23/07/2006	0,56	35,95	4,5
527	21/11/2006	0,31	35,92	2,5
532	23/12/2006	0,84	36	2,5
553	08/08/2007	0,09	35,99	4,2
558	21/11/2007	-1,36	35,46	2,6
559	14/12/2007	0,02	35,85	3,5
560	15/12/2007	-0,58	35,66	3,9
563	03/01/2008	0,12	35,89	3,2
567	09/01/2008	-0,46	35,65	3,8
568	09/01/2008	-0,57	35,63	5,3
569	10/01/2008	-0,46	35,58	3
572	21/01/2008	-0,55	35,6	2,6
578	05/02/2008	-0,16	35,62	3,2
594	12/03/2008	0,29	35,93	2,9
599	05/04/2008	0,39	35,84	3,2
614	06/06/2008	-0,66	35,63	3,4
618	07/06/2008	-0,26	35,66	3
619	07/06/2008	-0,51	35,56	3,5
620	07/06/2008	-0,45	35,59	3,5
622	07/06/2008	-0,37	35,76	3,9
623	07/06/2008	-0,32	35,58	4,2
624	08/06/2008	-0,49	35,64	2,6
626	09/06/2008	-0,29	35,59	3,1
629	14/06/2008	0,58	35,86	2,8
632	16/06/2008	0,22	35,87	2,8
633	19/06/2008	-0,53	35,57	3,1
634	20/06/2008	-0,39	35,71	3,5
636	11/07/2008	-0,53	35,62	3,5
655	28/12/2008	0,25	35,94	2,6
660	24/01/2009	0,07	35,75	2,8
663	20/03/2009	-0,23	35,67	3,1
664	06/04/2009	0,58	35,89	2,9

669	11/05/2009	0,16	35,78	3,2
675	29/05/2009	-0,78	35,55	2,6
676	02/06/2009	-0,89	35,5	3,9
679	11/06/2009	0,49	35,92	4,2
682	14/06/2009	0	35,88	2,7
692	04/08/2009	0,01	35,63	3,2
717	24/11/2009	0,26	35,83	2,8
722	21/12/2009	0,06	35,7	2,5
725	22/12/2009	0,09	35,69	2,5
726	22/12/2009	0,04	35,69	2,9
732	04/01/2010	0,1	35,9	3,3
746	02/02/2010	-0,54	35,58	2,9
748	04/02/2010	0,1	35,78	2,6
755	25/03/2010	-0,07	35,57	3,7
762	13/04/2010	-0,07	35,58	2,9
766	01/05/2010	0,32	35,99	3
784	18/07/2010	-0,71	35,47	2,8
798	03/09/2010	-0,53	35,64	2,7
810	07/11/2010	-0,07	35,72	2,7
811	08/11/2010	-0,76	35,55	3
814	20/11/2010	0,09	35,85	3,2
821	13/01/2011	-0,5	35,61	2,5
835	11/02/2011	-0,45	35,63	3,2
842	24/02/2011	-0,21	35,59	2,8
844	24/02/2011	0,17	35,94	3,2
847	07/03/2011	-0,67	35,57	3
850	14/03/2011	-0,19	35,85	3
860	04/04/2011	-0,07	35,79	2,7
862	04/04/2011	-0,24	35,8	3,3
867	18/04/2011	-0,29	35,7	2,9
868	21/04/2011	-0,82	35,54	2,8
877	16/05/2011	0,07	35,74	2,9
882	25/05/2011	-0,32	35,74	2,6
888	09/06/2011	-0,13	35,69	2,9
892	15/06/2011	-0,15	35,67	2,5
900	18/07/2011	-0,18	35,64	2,7
905	25/07/2011	0,43	35,84	2,5
910	11/08/2011	-0,01	35,68	2,9
919	22/09/2011	0,5	35,89	2,9
925	05/10/2011	0,82	36,02	2,6
931	13/10/2011	-0,94	35,45	3
936	09/11/2011	0,09	35,73	2,7
950	04/01/2012	-0,6	35,61	3,9
956	15/01/2012	-0,6	35,67	3,5
958	15/01/2012	-0,69	35,52	4,9
960	25/01/2012	-0,51	35,65	2,8

981	26/03/2012	-0,4	35,58	2,8
987	19/04/2012	0,93	35,95	3
995	09/10/2012	-1,16	35,32	3,4
999	25/11/2012	-1,18	35,42	2,6
1003	23/12/2012	-0,42	35,68	2,6
1005	03/01/2013	-0,97	35,49	2,6
1006	17/01/2013	-1,34	35,44	2,7
1007	17/01/2013	-1,37	35,47	3,1
1008	14/03/2013	-1,34	35,45	3,1
1009	02/05/2013	0,06	35,7	3,5
1011	02/05/2013	0,1	35,71	3,5
1014	24/05/2013	-0,97	35,22	2,5
1018	10/06/2013	0,05	35,71	3
1022	06/09/2013	-0,15	35,65	3,8
1025	01/01/2014	-1,37	35,44	3,1
1036	22/05/2014	0,05	35,89	4
1039	22/05/2014	0,12	35,78	4,9
1046	11/07/2014	-1,37	35,32	2,8
1049	07/08/2014	0,24	35,81	3,6
1051	12/08/2014	0,1	35,74	2,6
1055	19/08/2014	-0,19	35,68	2,8
1058	07/09/2014	0,12	35,72	3
1060	11/09/2014	0,1	35,82	3,7
1064	06/10/2014	0,14	35,77	3,4
1067	25/10/2014	-1,39	35,45	2,8
1076	01/02/2015	0,19	35,76	4
1077	17/03/2015	0,5	36	4,6
1078	26/03/2015	-0,33	35,79	2,9
1080	13/05/2015	-0,25	35,73	3,9
1082	07/06/2015	-0,18	35,57	3,5
1084	09/06/2015	-0,23	35,62	3,9
1093	22/02/2016	0,29	35,84	2,9
1094	20/03/2016	0,9	35,91	3,5

classes	bins	Freq simple	Fr cum_crois	F cum decr	Log N(m)
2.40- 2.96	2.96	66	66	216	2.33
2.96- 3.52	3.52	75	141	150	2.18
3.52- 4.08	4.08	37	178	75	1.88
4.08- 4.64	4.64	22	200	38	1.58
4.64- 5.20	5.20	13	213	16	1.20
5.20- 5.76	5.76	1	214	3	0.48
5.76- 6.32	6.32	0	214	2	0.30
6.32- 6.88	6.88	1		2	
6.88- 7.44	7.44	1			
	>	0	216		

