MINISTERE DE L'HABITAT DE L'URBANISME ET DE LA VILLE
CENTRE NATIONAL DE RECHERCHE APPLIQUEE EN GENIE PARASISMIQUE
C.G.S.

DIVISION : ALEA SISMIQUE
EQUIPE : NEOTECTONIQUE ET GEOLOGIE DU QUATERNAIRE
Code du projet : CGS/DAS/2022/04

Comportement sismique des zones de rupture de sols (déplacements tectonique et gravitaire) par des méthodes actives et passives et évolution spatiale et temporelle : applications sur des cas réels dans l'Atlas tellien et Atlas saharien (2019-2021)

par :

Machane D. et al.

Mars 2022

Objectifs

L'Algérie du Nord est menacée par des risques géologiques (Séismes, Effets de Site, Glissement de terrain), qui peuvent causer périodiquement des catastrophes entraînant des pertes de vie ou des dommages matériels. Ces phénomènes dangereux dont les plus courants sont les séismes et les glissements de terrain se manifestent par les **Ruptures** des masses rocheuses. Ces ruptures peuvent être d'origine **tectonique** ou **gravitaire**, engendrent des zones de **déformation** ou de **remaniement** de matériau. L'une des conséquence directes de ces ruptures sur les formations géologiques est la perte de leurs caractéristiques physiques (**Densité, Teneur en eau, Degré de saturation, Perméabilité**) et mécaniques (Vitesses de propagation des ondes, Cohésion, Compacité). Ces zones de déformations évoluent avec le temps, à travers parfois la compaction et le tassement des matériaux remaniés (pour les cas de glissement de terrain) et la colmatage et la cimentation des fractures par les recristallisations causées par la circulations des fluides au niveau des zones fracturées (Cas des failles anciennes). Tout ceci fait en sorte que les caractéristiques physiques et mécaniques évoluent également avec le temps, d'où les réponses sensées être différentes aux sollicitations sismiques en fonction des différents stades d'évolution des zones de rupture (exemple glissement de terrain récent et ancien et fracture par faille récente et ancienne). Sachant que l'intensité de la déformation est variable spatialement sur une même zone de rupture (zone de faille : diminution de l'intensité de déformation du cœur vers la périphérie et zone de glissement : près de l'escarpement et au piémont), la réponse sismique ne peut être que différente en différents endroits de la zone de déplacement des masses rocheuses. En effet, les zones de déformations liés aux failles sont parfois **larges**.

La corrélation entre les différentes méthodes géophysiques utilisées (**Bruit vibratoire ambiant, Imagerie Electrique**) permet non seulement d'imager la structure de subsurface de la zone de déformation dans le but de la délimiter mais aussi d'estimer le degré de déformation et/ou remaniement en fonction de l'amplification des formations géologiques l'évolution dans le temps.

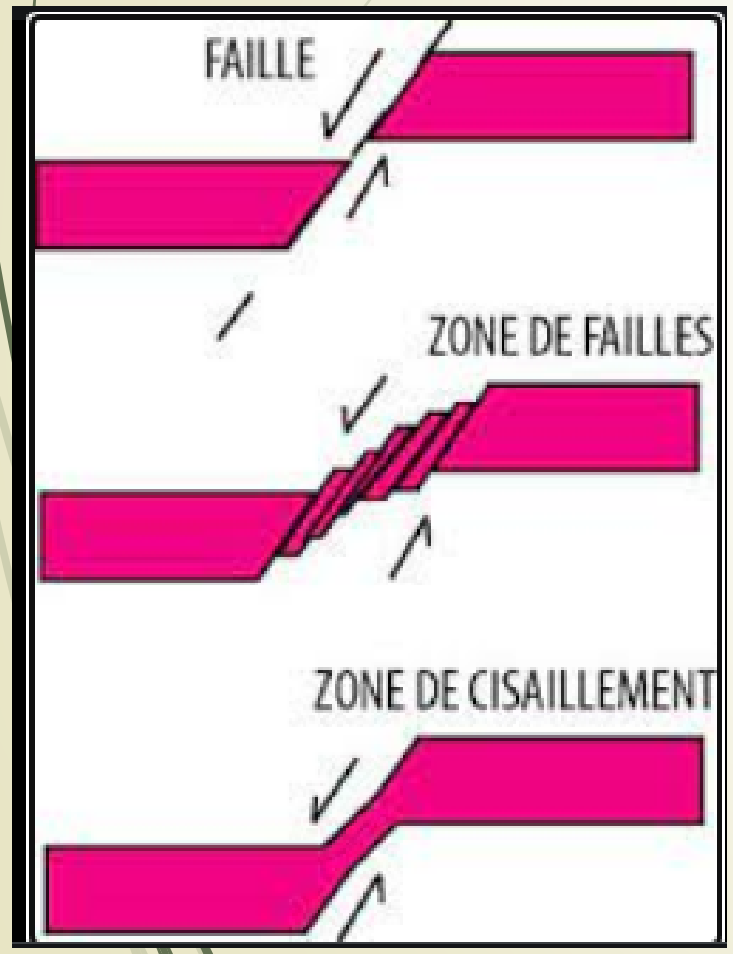
C'est sur cette problématique que nous avons orienté nos recherches à travers lesquelles nous avons analysé les réponses sismiques (bruit vibratoire ambiant) et électriques et appliquées sur quelques exemples à travers l'analyse de ces zones de rupture. Certains sites à expérimenter sont déjà déterminés et bien connus à l'instar des ruptures par faille dans l'Algérois, dans la Soummam ou, ou des glissements de terrain du Constantinois et de l'extrême Est algérien,

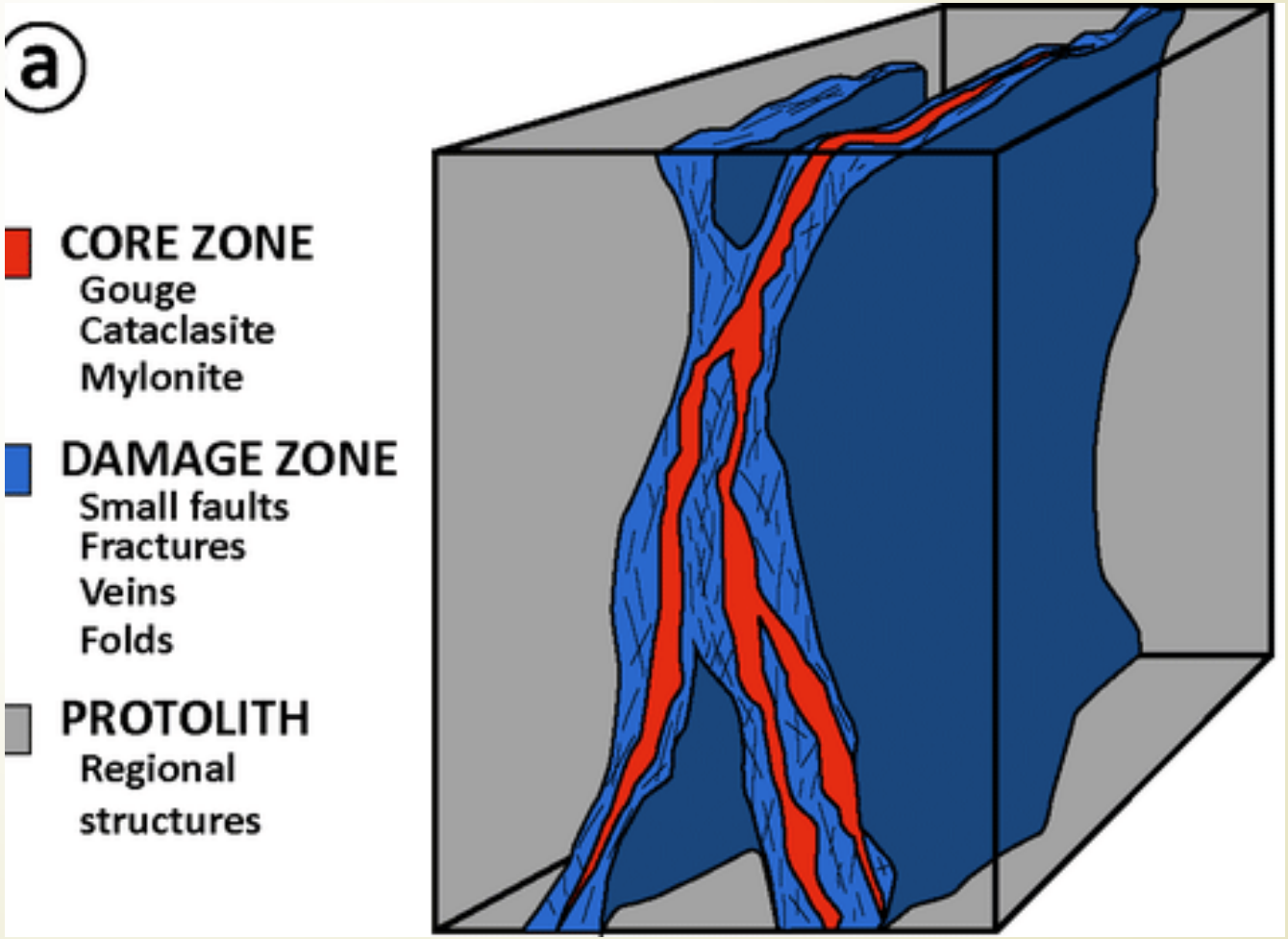
INTRODUCTION - GENERALITES

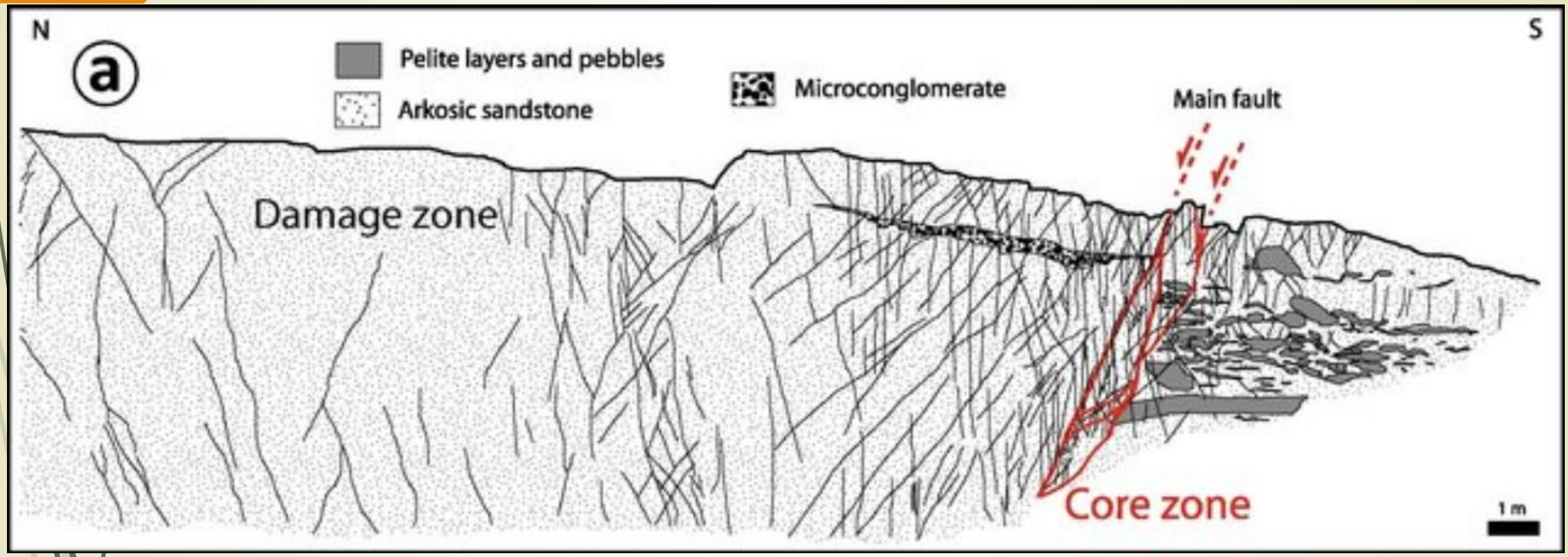
Les failles ne sont pas de simples plans discrets à la surface de la Terre, mais des **volumes de roches déformées** aux structures internes et géométries tridimensionnelles complexes.

Les zones de failles sont constituées de deux principaux volumes de déformation que sont le **cœur de faille** et **la zone d'endommagement** qui l'entoure.

Les zones d'**endommagement** sont d'importantes structures ayant de nombreuses implications : **problématiques de ruptures sismiques** et leur aléas (e.g. Sibson, 1989; Kim and Sanderson, 2008; Huang and Ampuero, 2011)







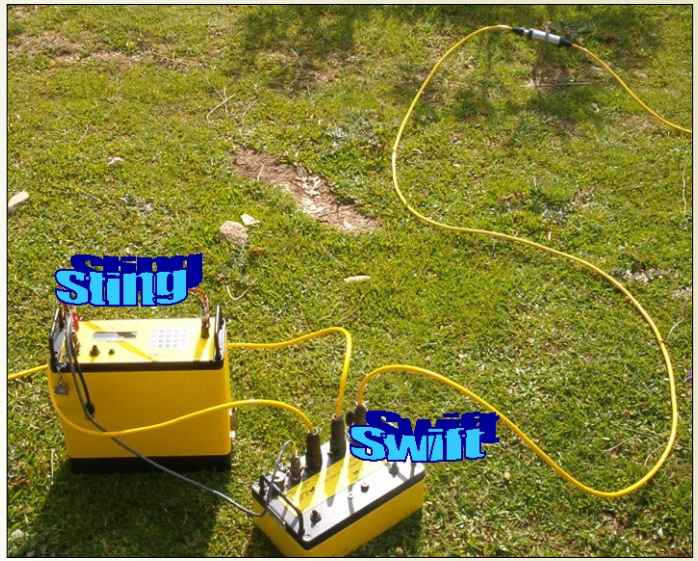
Cœur de faille parfois métrique à décamétrique alors que la zone de déformations peut avoir plusieurs centaines de mètres

Méthode géophysiques utilisées et Matériel

1. HVSR Bruit vibratoire ambiant

- station CitySharkII et sismomètre
- orienté au Nord, GPS (Garmin) et
- boussole pour orienter le sismomètre

2. Imagerie Electrique



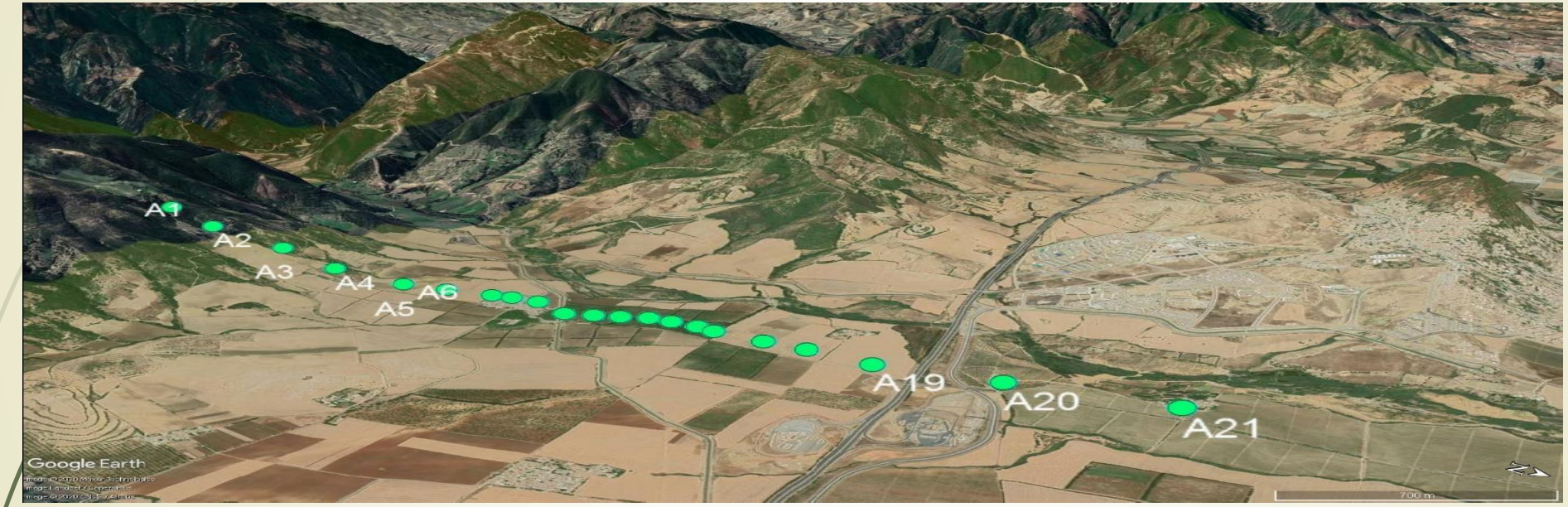
(Sting : résistivimètre, swift :

- boîte de connexion).

Les Tests d'application

Faille Sud Mitidjienne

- Le premier profil H/V perpendiculaire au tracé supposé de la faille, réalisé au piémont de l'Atlas Blidéen plus précisément au niveau de la région d'El Affroun, composé de 21 points d'enregistrements espacés de 100 à 200 mètres



- Les basses fréquences apparaissent sur toutes les courbes mais avec une amplitude variable, qui est relativement faible sur les points A1-A10, mais qui redevient comparable à celles des premières courbes, jusqu'à ce qu'elle atteigne son paroxysme au niveau du point 21 (Fig. 10). Ces basses fréquences témoignent de la présence d'un contraste en profondeur.
- La zone de transition (escarpent / plaine) est marquée par des fluctuations où on remarque un changement d'allure des courbes, ceci pourrait correspondre aux hétérogénéités géologiques et géométriques résultant du chamboulement de la zone de déformation de faille.

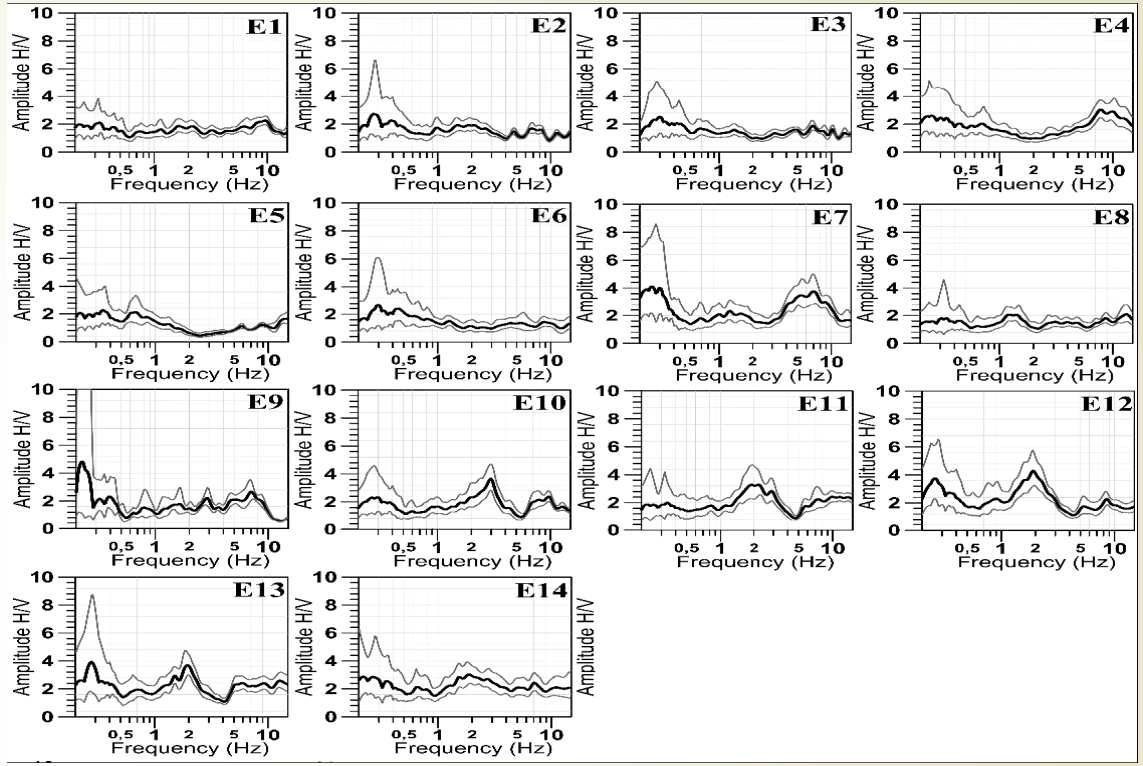
Les Tests d'application

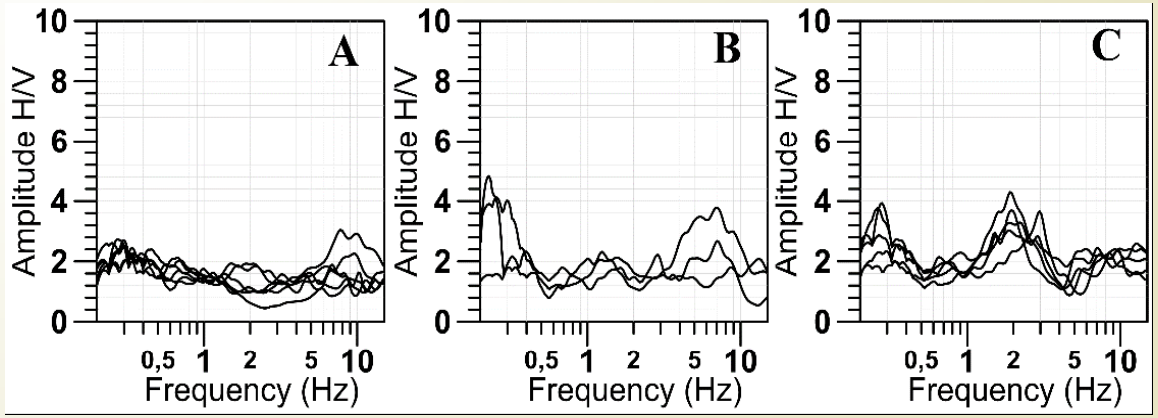
- **Faille du Sahel**

  Le second profil (se localise dans la ville de Halloula dans la région d'Attatba, contient 14 points espacés de 300 à 100 mètres. Les résultats des courbes H/V montrent une très bonne variation des pics H/V, un pic de 0.3 Hz présent pratiquement sur toutes les courbes avec une amplitude variable, un autre pic est observé aux alentours de 2 Hz dont l'amplitude augmente à partir du point E11 et un troisième pic entre 7 et 10 Hz.

- Après la superposition des résultats avec la morphologie du terrain, la classe (A) correspond avec l'escarpement, tandis que la classe (C) coïncide parfaitement avec la plaine.

- la classe intermédiaire (B), elle couvre une partie de 300 mètres de long, elle peut être liée à la zone de transition qui coïncide avec la zone de chamboulement/remaniement





Les Tests d'application

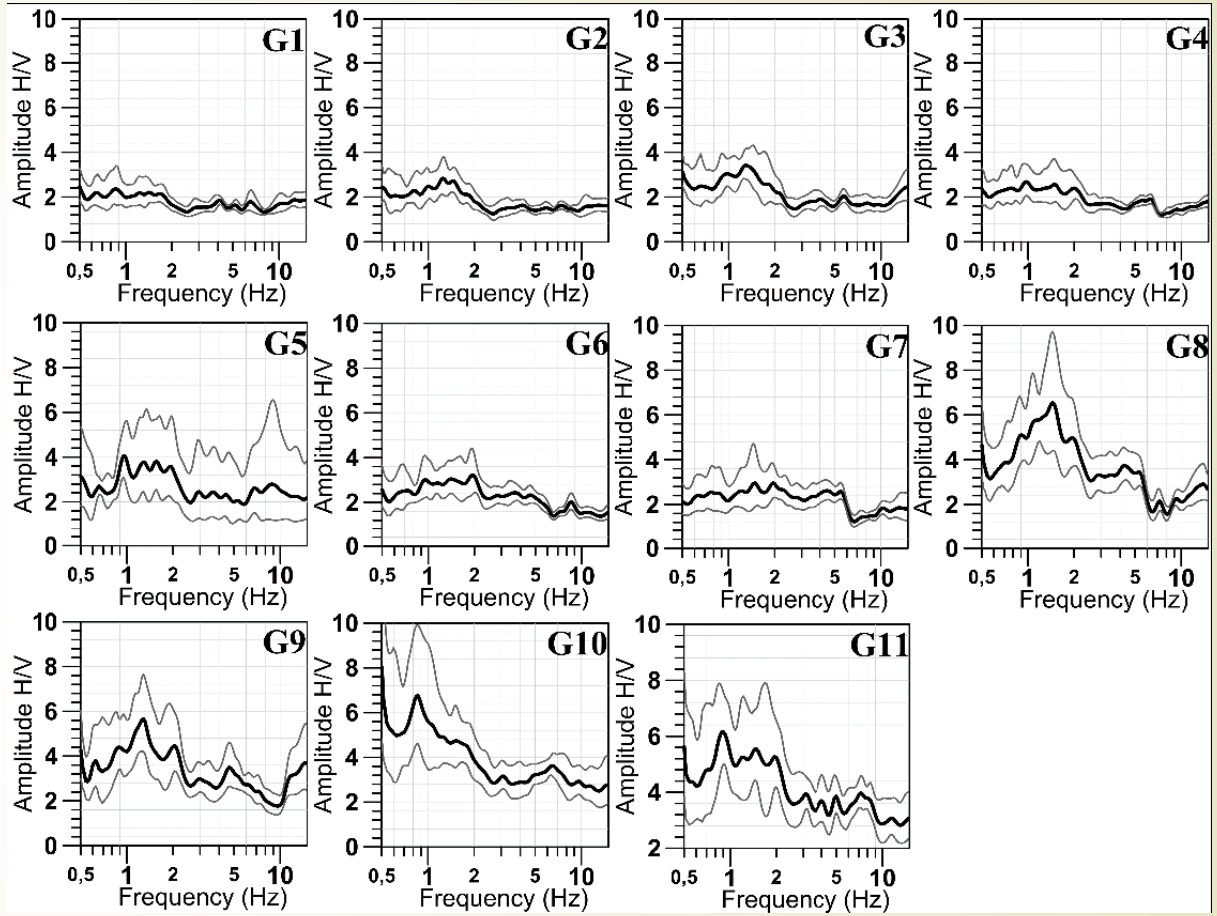
- **Faille de Thenia**

  Le site du premier profil (G) a été choisi dans la localité de Heraoua sur la berge Ouest du lac de Réghaia, ou nous avons réalisé, sur l'escarpement un profil d'enregistrement de bruit de fond.

- Un tri en fonction de la typologie des courbes H/V a été effectué. Ce tri nous a permis d'avoir trois familles de courbes (Fig. 15), la première est caractérisée par un pic de fréquence peu clair sur un intervalle compris entre 1 et 2 Hz. Cette famille de courbes est située entre les points G1 et G4 sur une formation sableuse.

- La deuxième famille de courbes localisée entre G8 et G11 montre des courbes de fortes amplitudes avec des fréquences variant entre 0.8 et 2 Hz, coïncide avec la formation marneuse formant le compartiment nord de la faille.

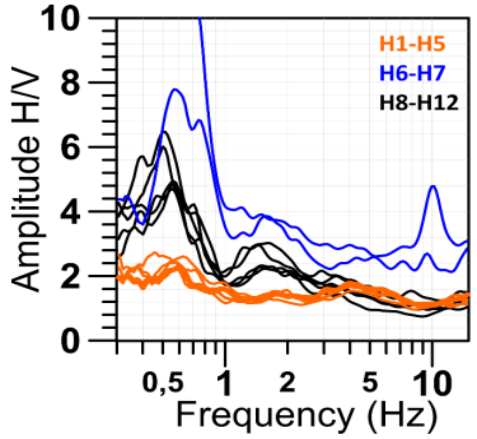
- La dernière famille de courbes située entre G5 et G7, marquée par le même intervalle de fréquence que la première famille sauf que l'allure et l'amplitude des courbes diffèrent. Elle représente le passage et la transition entre les deux classes précédentes, donc les deux compartiments de la faille

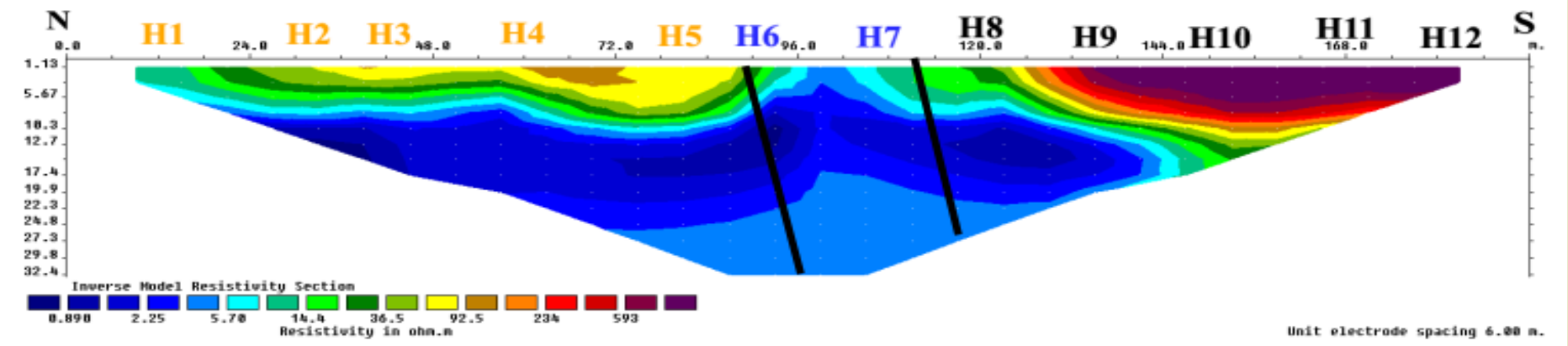


Les Tests d'application

- **Faille de Thenia**

  La première classe du point H1 au H5 est caractérisée par un pic de faible amplitude à environ 0.4-0.5 Hz, et un deuxième pic à 4 Hz.
- La 2ème classe ne contient que deux courbes (H6, H7) qui ne sont pas simples à interpréter vu la présence de plusieurs pics avec des amplitudes qui atteignent 8, cette classe est considérée comme une zone de perturbation du sol et un début de transition. La dernière classe (H8-H12) est caractérisée par deux fréquences, la première à 0.5 Hz et la deuxième entre 1 et 2 Hz, avec une amplitude plus importante pour la première fréquence.
- Afin d'apporter une interprétation plus claire à ces résultats, un profil de tomographie électrique a été réalisé, il couvre le profil H/V du point H1 à H12, le résultat obtenu montre un contraste de résistivité très clair confirmant les affleurements géologiques et la stratigraphie de la région.
- La superposition des résultats H/V avec le profil de tomographie montre une bonne concordance entre ces derniers, sur la partie sud où des bancs de grès affleurent, le profil de tomographie montre des résistivités élevées et confirme les résultats des courbes H/V de la première classe qui sont plus ou moins plates avec des pics de faible amplitude qui peuvent correspondre à des contrastes géologiques assez profonds. Sur la partie centrale, la zone de transition est bien claire, du sud vers le nord, la résistivité passe d'une valeur supérieure à 590 Ωm à une valeur inférieure à 10 Ωm sur une distance de 30 mètres seulement. Les courbes H/V sur cette partie sont totalement perturbées et bruitées avec des amplitudes très élevées. La 3ème partie du profil est marqué par de faibles résistivités traduisant un sol meuble, et confirme les données géologiques où des limons sableux affleurent et occupent les dix premiers mètres de cette partie. En termes de H/V, les courbes montrent deux gammes de fréquence, une basse fréquence à 0.5 Hz qui correspond à un contraste très profond (sédiments – socle métamorphique), et une haute fréquence à 4 Hz qui pourrait être liée au passage (limons sableux – Marne).





Les Tests d'application

- **Glissements de terrain à Constantine**

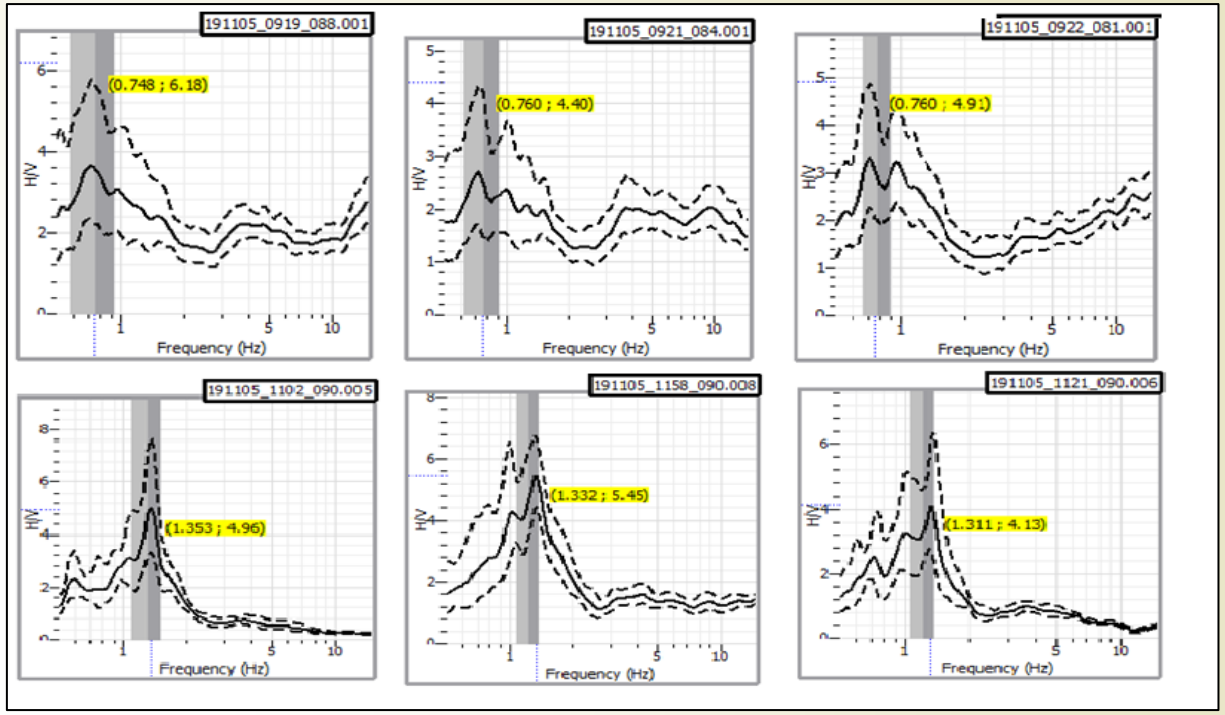
  Dans la région de Constantine, acquisitions des données du bruit vibratoire ambiant, quatre-vingt-quinze (95) enregistrements ont été faits sur un glissement de terrain dans deux endroits différents qui ont montré différents résultats.

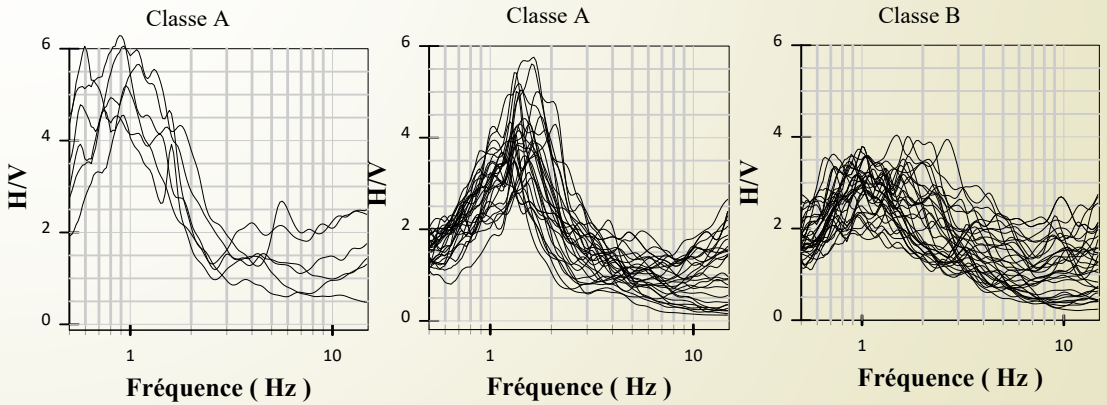
- Après le traitement des données d'acquisitions, des courbes H/V obtenues, présentent des pics importants qui indiquent la présence d'effet de site, représentés selon plusieurs classes de courbes .

- Deux classes des courbes en termes d'amplification (A ; B) sont clairement identifiées :

- La première classe (A) montre un maximum des amplitudes qui atteint 6, avec des fréquences variant entre 0.5 Hz et 1.8 Hz.

- La deuxième classe (B) présente une partie relativement plate (que nous pensons être la zone stable), avec des amplitudes qui varient entre 1 et 2.5 Hz, et une autre partie avec un maximum des amplitudes qui attient 4 avec des fréquences compris entre 0.8 Hz et 2 Hz.





CONCLUSION

- Les zones ruptures peuvent être d'origine tectonique ou gravitaire, engendrent des zones de déformation ou de remaniement de matériau. L'une des conséquences directes de ces ruptures sur les formations géologiques est la perte de leurs caractéristiques physiques (Densité, Teneur en eau, Degré de saturation, Perméabilité) et mécaniques (Vitesses de propagation des ondes, Cohésion, Compacité). Ces zones de déformations évoluent avec le temps, à travers parfois la compaction et le tassement des matériaux remaniés (pour les cas de glissement de terrain) et le colmatage et la cimentation des fractures par les recristallisations causées par la circulation des fluides au niveau des zones fracturées.
- Les profils H/V bruit de fond réalisés sur les grandes failles actives de l'Algérois, ont donné des résultats satisfaisants. Grâce à la technique géophysique du bruit de fond H/V, nous espérons avoir franchi un premier pas dans la prospection des failles tectoniques. Nous nous sommes aperçus de l'intérêt qu'il faut porter à l'étude de l'évolution des fréquences de résonance du sol, et aussi qu'il faut essayer de comparer les différentes fréquences obtenues dans la zone de faille et en dehors de cette dernière.
- Pouvoir localiser et suivre le tracé d'une faille à l'aide de la méthode H/V a été clairement mis en exergue, ceci a été confirmé par la prospection d'imagerie électrique qui reste une technique qui a déjà montré ses preuves par ailleurs. L'approche combinée nous a permis de bien cerner le contact anormal séparant les deux compartiments, chevauché et chevauchant, ainsi de repérer les zones chamboulées, même quand parfois rien n'est visible en surface en termes d'affleurement de faille. Tout ceci a été rendu possible en se basant sur la typologie des courbes H/V qui traduisent la réponse du sol, celle-ci diffère d'un compartiment à un autre, et est souvent perturbée au niveau de la zone de chamboulement/déformation.
- Les courbes HVSR changent souvent d'allure en passant de l'escarpement à la plaine, l'amplitude de ces dernières augmente au niveau de la plaine qui est connue par sa nature amplifiante. On remarque l'apparition ou la disparition de certains pics de fréquence en allant d'un compartiment à un autre et on obtient par la suite deux classes de courbes, chacune est associée au compartiment correspondant. Dans d'autres cas, la zone de transition apparait sous forme d'une troisième classe avec une réponse totalement différente des deux autres.

CONCLUSION

- Ce travail sur les failles mérite encore d'être approfondi et affiné à travers l'estimation de la largeur des zones de transition qui peuvent correspondre à des zones de déformations dont l'intensité de la déformation reste moindre, néanmoins, assujetties à des futures ruptures de failles en surface en cas de séisme.
- Les ruptures par glissement de terrain ont pu être mises en évidence par l'outil géophysique (à travers les méthodes de Bruit vibratoire ambiant et l'imagerie électrique). Cependant, la réponse sismique dépend fortement de l'ampleur et l'intensité du glissement de terrain ainsi que de sa fraicheur. En effet, un glissement ancien et plus ou moins stabilisé, par cause de la compaction du matériau a tendance à rapprocher les vitesses des ondes de cisaillement, et du coup, éliminer le contraste d'impudence entre les deux couches, d'où la réponse pas très évidente des courbes H/V. L'autre problème qui peut surgir et la ressemblance parfois entre la réponse des surfaces de rupture et la réponse des interfaces lithologiques. Les résultats obtenus sur la région de Meftah ont montré qu'il est possible de mettre en évidence la zone des glissements de terrain par la méthode H/V bruit de fond, vu que les formations sujettes au glissement sont homogènes et donc les réponses dans ces formations argileuses ne peuvent correspondre qu'aux interfaces causées par les surfaces de rupture. Cependant, pour Constantine, les résultats sont moins évidents, vu que nous disposons par d'affleurement sur toute la zone affectée par le glissement par suite d'une urbanisation intense.
- Le présent projet de recherche s'achève et au final il n'a fait que nous ouvrir l'appétit en termes de la poursuite des recherches dans cet axe en prospectant d'autres sites encore plus favorables en termes de réponse sismique, et surtout en terme de l'estimation correcte des largeur des zones déformées et en trouvant par exemple une argumentation scientifique quant au choix des 50 ou 100 mètres d'évitement des zones de faille que stipule le RPA.