





État des lieux de l'installation d'un capteur sismologique sur l'Île d'Yeu (2022)

Mickaël BONNIN, Damien FLIGIEL, Éric BEUCLER, Antoine MOCQUET et Clément PERRIN

1 Introduction

Le 22 mars 2022 une équipe de l'OSUNA (Observatoire des sciences de l'Univers Nantes Atlantique) composée de Damien FLIGIEL (assistant ingénieur, CNRS), Antoine MOCQUET (professeur des universités, Nantes Université) et d'Éric BEUCLER (professeur des universités, Nantes Université) a installé une station sismologique temporaire dans la partie ouest de l'Île d'Yeu (FIGURE 1).

La zone d'implantation choisie se trouve à peu près à mi-chemin entre le grand phare et l'aérodrome (voir la FIGURE 1). Ce choix vient de la nécessité d'installer les capteurs sismiques dans des zones assez reculées afin de limiter la réception de vibrations parasites causées par l'activité humaine (circulation automobile, industrie, agriculture...). L'accès doit cependant demeurer possible en véhicule.

L'objectif de cette instrumentation est de tester la faisabilité de l'implantation d'une station permanente (qui se fait généralement sous la forme d'un forage de 10 m de profondeur) sur l'Île d'Yeu afin de densifier le réseau sismologique permanent français dans ce secteur (voir la FIGURE 2). La Vendée et le marais breton sont des régions assez sismogènes à l'échelle du nord-ouest de la France, avec une sismicité régulièrement située près de la côte (voir la carte de la sismicité du RéNaSS). Un nombre non-négligeable d'événements se produisent également en mer, au niveau du talus continental. Afin de mieux détecter et surtout caractériser (localisation, heure du séisme et magnitude) ces événements, une station côté mer serait un avantage indéniable.

Les stations sismologiques telles que celles opérées par le réseau sismologique français permettent aussi d'enregistrer les séismes forts (magnitude supérieure à 6) se produisant n'importe où sur Terre. Les signaux enregistrés peuvent alors être utilisés pour obtenir des informations sur la structure profonde de notre planète, de la même manière que ce qui est pratiqué en imagerie médicale avec l'échographie.



FIGURE 1 – Carte de l'Île d'Yeu présentant la situation de la station sismologique YEUF (triangle inversé rouge).

2 Implantation

La FIGURE 3 montre l'implantation de la station dans le parcellaire cadastral de la section OG de l'Île d'Yeu. Il avait été convenu avec les services de la commune d'installer nos instruments sur la parcelle 714 – qui est communale. Cependant, lors de l'installation, compte tenu de la difficulté à circuler et à se répérer dans cette zone, la station a été implantée par erreur sur la parcelle 652.

La station est composée d'un capteur vélocimétrique (sismomètre) de type T120-PH connecté à un numériseur de type Centaur4-6S. Ces instruments sont alimentés en énergie par une batterie qui est chargée par l'intermédiaire de panneaux photovoltaïques (voir FIGURE 4). Une antenne GPS fixée sur le chevalet qui supporte les panneaux solaires, permet d'obtenir une datation précise des signaux enregistrés par le sismomètre.



FIGURE 2 – Cartes des stations sismologiques vélocimétriques du nord-ouest de la France métropolitaine. Les sites marqués d'un N sont opérés et sous la responsabilité de l'Observatoire des sciences de l'Univers Nantes Atlantique (OSUNA). La station installée sur l'Île d'Yeu est marquée par un Y.

3 Présentation des signaux enregistrés

3.1 Signal continu (niveau de buit sismique)

L'objectif de l'instrumentation étant l'étude de la faisabilité d'une implantation permanente, il nous faut estimer le niveau de bruit sismique (vibrations parasites) transmis par le sol au niveau du point de mesure. Le réseau sismologique français requiert en effet que les stations qui le composent présentent un niveau de bruit inférieur à un seuil défini par les standards de qualité. L'énergie sismique ne se répartissant pas de manière homogène en fonction de la fréquence (nombre de vibrations par seconde) il est d'usage de représenter l'énergie sismique enregistrée en fonction de la fréquence (ou de la période, qui est l'inverse de la fréquence), et notamment sous la forme de spectrogrammes.

La FIGURE 5 présente un spectrogramme de la composante verticale de la station YEUF entre le 22 mars (installation) et le 1^{er} septembre 2022. Le temps est indiqué en abscisse avec un tiret pour chaque jour passé. La fréquence est présentée en ordonnée entre (0,005 et 20 Hz) en logarithme décimal. L'échelle de couleur correspond à l'énergie sismique mesurée à la station à une date et une fréquence données. Les couleurs chaudes correspondent à des niveaux de bruit élevés alors que les couleurs froides correspondent à des niveaux de bruit faibles. On remarque sur cette figure que le niveau de bruit est très variable au cours de la période de mesure.

La bande de fréquences entre 0,1 et 1 Hz (centre du spectrogramme) correspond grosso



FIGURE 3 – Parcellaire cadastral de la section OG de l'Île d'Yeu. La station (cercle orange) est implantée sur la parcelle 652 (au lieu de la 714, 30 m plus au sud). Carte issue de Géoportail.

modo au bruit généré par l'océan (la houle et le déferlement des vagues sur la côte). Cette bande de fréquences est donc un bon marqueur de l'activité océanique et donc des conditions météorologiques régionales. Comme on peut s'y attendre, on remarque que l'intensité de ce signal décroît progressivement au cours de l'année (couleur plus jaunâtre et moins d'étalements en-dessous de 0,1 Hz à partir de début juillet).

L'activité océanique est globablement contrôlées par le vent, et c'est lui qui explique également les pics rouges importants dans la partie supérieure de la FIGURE 5 (bien visibles entre le 7 et le 9 avril par exemple). Le vent génère des vibrations par l'intermédiaire de la végétation et du frottement avec le sol.

C'est également entre 1 et 20 Hz que l'on s'attend à observer les vibrations d'origine humaine (véhicules, industrie...). De manière intéressante, malgré la présence de l'aérodrome à quelques dizaines de mètres, on ne décèle pas de signature anthropique claire (notamment de fortes variations jour/nuit dans la bande 1–10 Hz). *L'emplacement choisi pour l'implantation de la station temporaire semble donc prometteur en vue d'une instrumentation géophysique permanente*.

La FIGURE 6 présente le même jeu de données que celui de la FIGURE 5 mais d'une manière un peu différente. La fréquence (en fait la période) et cette fois en abscisse alors que la puissance du signal est en ordonnée. La couleur donne cette fois une estimation de la probabilité d'observer une certaine énergie à une fréquence donnée sur la durée d'enregistrement considérée.

L'avantage de cette figure est qu'elle permet de comparer la station aux meilleures stations sismologiques mondiales (courbes épaisses grises) et aux seuils d'acceptation définis par le réseau sismologique français (courbes en tiretés rouge et verte). La courbe grise la plus basse (NLNM pour *new low noise model*) correspond au niveau de bruit (théorique) le plus faible que l'on peut observer sur Terre (quelque soit l'endroit où l'on se trouve). Ainsi plus l'énergie mesurée est proche de cette courbe plus la station est de bonne qualité.



FIGURE 4 – Gauche : installation du capteur sismique dans un trou de tarière d'environ 1 m de profondeur. Le câble est également enterré (de quelques centimètres) pour ne pas être détérioré par des animaux. Droite : Vue de la station sismologique une fois installée. Le système d'acquisition se trouve sous les panneaux solaires (caisse verte) et le capteur est enterré à environ 1 m devant les panneaux.

Pour YEUF, on remarque que la partie droite de la FIGURE 6 est très proche de cette courbe théorique. C'est notamment dans cette bande de fréquences (périodes supérieures à 10 s) que l'on peut enregistrer les forts séismes lointains. Dans cette gamme de fréquence le bruit enregistré à YEUF est en dessous du seuil requis par le réseau (courbe épaisse en tiretés).

De l'autre côté du spectre, on remarque que le niveau de bruit s'éloigne sensiblement du NLNM (à cause de la proximité de l'océan) mais qu'il demeure globalement en-dessous du seuil défini pour les stations du réseau sismologiqe permanent. C'est dans la gamme de fréquence 2–10 Hz que l'on va enregistrer les petits séismes locaux à régionaux.

Le site choisi pour cette campagne temporaire répond donc parfaitement aux critères de qualité définis par le réseau sismologique français.

La variabilité du signal que l'on observe sur la partie gauche de la FIGURE 6 est due aux périodes ventées où la végétation (mais aussi l'impact des vagues sur la côte) génère beaucoup de vibrations.

3.2 Quelques enregistrements de séismes

La FIGURE 7 montre l'enregistrement à la station de l'Île d'Yeu d'un séisme ayant eu lieu le 16 mai 2022 au large de l'Île de Ré (RéNaSS). Le sismogramme comporte trois composantes, une verticale (Z) et deux horizontales (Est et Nord). On observe sur le sismogramme l'arrivée de deux paquets d'énergie marqués par les traits verticaux en tiretés. La première arrivée est celle de l'onde P, qui se déplace à près de 5 km s⁻¹ dans la croûte et la seconde celle de l'onde S, qui se déplace, elle, à près de 3 km s⁻¹. C'est l'écart de temps d'arrivée entre ces deux ondes qui permet de localiser les tremblements de terre par triangulation avec au moins trois stations. Notez que l'échelle verticale est en micromètres, c'est-à-dire en millièmes de millimètre.

La carte de la FIGURE 8 montre tous les petits événements proche de l'Île d'Yeu et qui ont été détectés par le RéNaSS pendant la période de fonctionnement de la station. Seul l'événement du 5 août 2022, près de Royan, a été ressenti par la population. Les autres



FIGURE 5 – Spectrogramme (représentation temps/fréquence) de la composante verticale de la station YEUF.

événements n'ont été perçus que par les stations sismologiques.

Hormis les séismes locaux, la station a pu enregister entre le 22 mars et le 18 août 2022 au moins 22 séismes de magnitude supérieure à 6 ayant eu lieu à divers endroits de la planète (Taiwan, Pérou, Argentine...). Ces événements apparaissent sous la forme de bandes de verticales jaunes à vertes en dessous de 0,1 Hz sur le spectrogramme de la FIGURE 5.

La FIGURE 9 présente le sismogramme d'un séisme de magnitude 7,2 s'étant produit au Pérou le 26 mai 2022, enregistré à la station YEUF. La durée du sismogramme est nettement plus conséquente (près d'une heure) et le déplacement mesuré également nettement plus fort que pour l'événement local de la FIGURE 7, et ce malgré la grande distance qui sépare la station du foyer du séisme (environ 9 600 km).

On remarque aussi sur ce sismogramme l'arrivée de différents paquets d'énergie, dont les ondes P et les ondes S. Le séisme se trouvant assez loin de l'Île d'Yeu, certains paquets d'énergie ont traversé la Terre en passant par son noyau, avant d'être enregistrés.



FIGURE 6 – Probabilité de densité spectrale de puissance (PPSD) de la composante verticale de la station YEUF. Les courbes grises représentent le *New High Noise Model* (NHNM, courbe supérieure) et le *New Low Noise Model* (NLNM, courbe inférieure). Le NLNM correspond au niveau de bruit le plus faible qu'il est possible d'observer sur Terre.

4 Conclusion

La campagne de mesure effectuée depuis le 22 mars 2022 est très encourageante quant à l'intérêt d'une instrumentation sismologique permanente sur l'Île d'Yeu. La qualité du signal est suffisamment bonne (compte tenu de la distance à l'océan) pour que ce site soit intégré au réseau sismologique permanent à l'échelle nationale et qu'il contribue à la détection et à la caractérisation des événements sismiques dans la région.

L'ajout d'une station sismologique offrirait également la possibilité d'installer une station de positionnement par satellite (GNSS) permanente du réseau national GNSS.



FIGURE 7 – Sismogramme (déplacement du sol) du tremblement de terre du 16 mai 2022. Le séisme a eu lieu à 23:33:22 (heure locale) au large de l'Île de Ré (latitude : $46,289^{\circ}$ N, longitude : $-1,847^{\circ}$ E, profondeur : 2 km). La magnitude (énergie libérée par le séisme) estimée est de 1,9. Source : RéNaSS (lien vers la page de l'événement).



FIGURE 8 – Carte des petits événements détectés par le RéNaSS à moins de $120 \,\mathrm{km}$ de la station YEUF. Les cercles représentent les séismes détectés (leur rayon et leur couleur dépendent de la magnitude). Les triangles inversés montrent les stations sismologiques permanentes installées dans la zone.



FIGURE 9 – Sismogramme (déplacement du sol) du séisme du 26 mai 2022 au Pérou. Source : USGS (lien vers la page de l'événement).