
L'information sismologique en ligne : logiciels et ressources internet d'intérêt pédagogique

Cyril Langlois

Abstract

Cet article décrit et commente l'utilisation de plusieurs ressources informatiques permettant d'aborder la sismicité mondiale et la sismologie et utilisables par les enseignants. Ces ressources consistent soit en sites internet proposant des outils de recherche et de traitement des données sismiques à distance via un navigateur internet, soit en interfaces logicielles (multi-plateformes et gratuites) permettant d'interroger à distance les catalogues de sismicité et les réseaux sismiques mondiaux puis de traiter localement ou à distance les sismogrammes choisis.

Introduction

Même si le principe de base du sismographe reste celui du ressort pesant représenté dans tous les ouvrages d'enseignement et de vulgarisation, les stations de mesures sismiques (ou « stations sismologiques ») actuelles n'ont plus grand-chose de commun avec ces instruments anciens. Elles enregistrent désormais la sismicité sous forme numérique, transmettent leurs données via le réseau internet et sont entretenues à distance de la même façon. Chaque station sismique est aussi, désormais, un élément d'un vaste réseau et les données sismiques sont rassemblées, traitées et redistribuées à la communauté des sismologues par des consortiums et des organismes nationaux et internationaux.

Les sismologues récupèrent donc aujourd'hui leurs données par des requêtes envoyées à ces bases de données par le réseau internet. Mais ces sites de ressources sismologiques sont également accessibles à tout un chacun et plusieurs d'entre eux fournissent également des informations scientifiques vulgarisées ou des outils pédagogiques à destination des élèves et des enseignants. Certains intervenants de la communauté sismologique (chercheurs, universitaires et enseignants) ont aussi développé et mis à la disposition du public des interfaces logicielles qui permettent, sans aucune connaissance en informatique ou en programmation, de consulter facilement les catalogues de sismicité disponibles sur les serveurs des différents réseaux sismologiques, de visualiser les sismogrammes enregistrés par les stations et de les exploiter soi-même.

Cet article se propose de présenter quelques-uns de ces outils scientifiques d'utilité pédagogique, sans viser à l'exhaustivité. Si beaucoup de ces ressources nécessitent quelques rudiments d'anglo-saxon, certaines ont l'avantage d'être disponibles en français. Tous, par contre, imposent de disposer d'une connexion à l'internet au débit suffisamment élevé pour assurer un fonctionnement et une utilisation agréables. Enfin, en ce qui concerne les logiciels, ne sont présentés que des applications gratuites et utilisables sur différents systèmes d'exploitation.

Les sites de suivi de la sismicité régionale et mondiale

La majorité des sites internet consacré à l'information sismologique affichent une carte dynamique sur laquelle sont reportés les événements sismiques récents. Placer sa souris ou cliquer sur les symboles cartographiés permet d'accéder aux informations relatives à chaque séisme. Dans une certaine mesure, ces sites sont donc « redondants » (et souvent reliés les uns aux autres), mais se distinguent dans les détails de leur contenu ou dans leurs objectifs.

Généralement, ces sites ne proposent à l'échelle mondiale que les séismes de magnitude supérieure ou égale à 4 (sismicité légère), mais fournissent une couverture plus complète de la région à laquelle ils sont plus particulièrement consacrés.

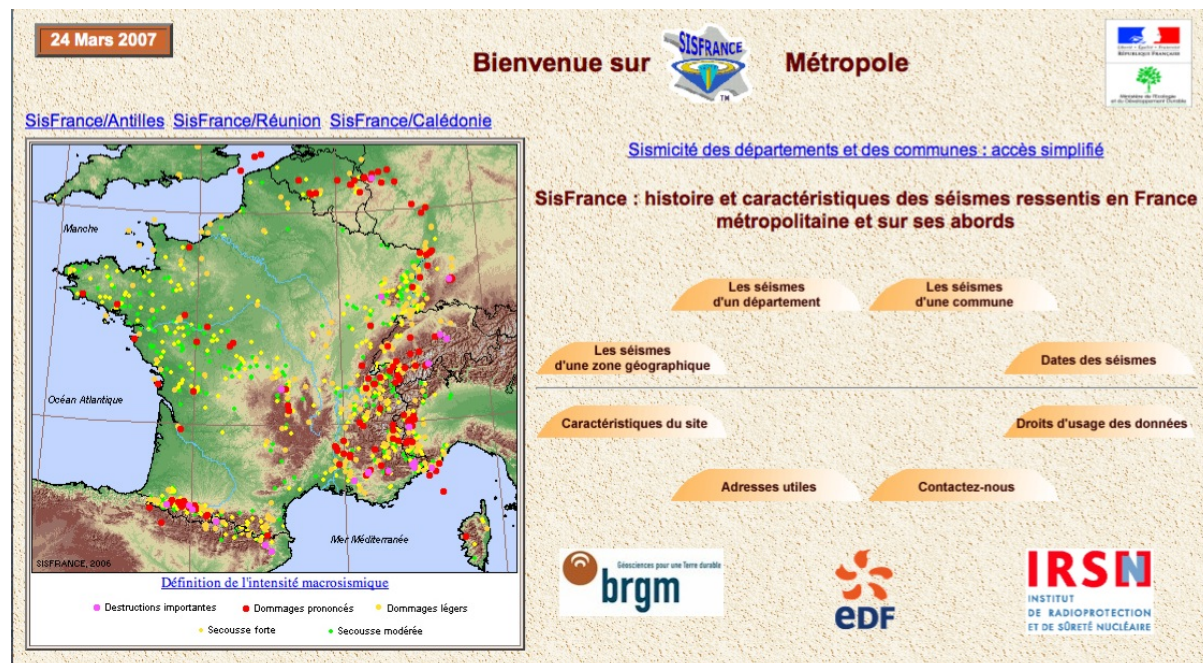
Sites français

SisFrance (BRGM), la sismicité de France métropolitaine et d'outre-mer

<http://www.sisfrance.net/sommaire.asp?ACCUEIL=0>

Le site *SisFrance* fournit un accès via une carte cliquable et un moteur de recherche aux séismes survenus en France métropolitaine et en outre-mer. L'objectif principal du site semble donc d'abord de fournir une base de données *historique*. Cela explique aussi que la légende de la carte privilégie l'échelle d'*intensité* à celle de *magnitude*.

Figure 1. Page d'accueil du site SisFrance



La page d'accueil du site permet de rechercher la sismicité enregistrée :

- au niveau d'une région, en fournissant au formulaire d'interrogation de la base de données les coordonnées géographiques de la zone souhaitée ;
- dans un département,
- dans une commune, en donnant son nom dans le formulaire et en cliquant sur « rechercher ». Une fois la commune trouvée, les séismes peuvent être cartographiés.

La carte qui s'affiche alors montre la localisation des séismes avec un code de couleur et de taille des symboles correspondant à l'intensité sismique de l'événement (ci-dessous, un exemple de recherche au niveau d'une commune, avec la ville de Grenoble). Les boutons au dessus de la carte permettent, en les sélectionnant puis en cliquant sur la carte, de revenir à la carte régionale des séismes, de zoomer, dézoomer sur le point choisi, et d'afficher les informations relative au tremblement de terre sélectionné.

Figure 2. Recherche de sismicité sur une commune : Grenoble




Le site du Bureau Central Sismologique Français

<http://www.franceseisme.fr/>

Le site du *BCSF* a pour vocation de « coordonner, diffuser, archiver les observations sismologiques », d'abord à l'échelle de la France. Il fournit donc sur sa page d'accueil :


- les cartes de sismicité de France mais aussi d'Europe (par partage des données de l'EMSC, voir section suivante) ;
- les dernières alertes sismiques enregistrées en France (métropolitaine et d'outre-mer) ;
- des informations relatives aux enquêtes réalisées autour d'événements sismiques français : il donne ainsi accès aux formulaires par lesquels les personnes présentes sur les lieux du séisme peuvent enregistrer leur témoignage, utilisé ensuite pour établir les cartes d'intensité sismique.

Figure 3. Page d'accueil du site internet du BCSF (à la date du 26 mars 2007)

 **Le Bureau Central Sismologique Français**
www.franceseisme.fr

Lexique | EOST | Autres sites | English

LE BCSF COORDONNE, DIFFUSE, ARCHIVE LES OBSERVATIONS SISMOLOGIQUES

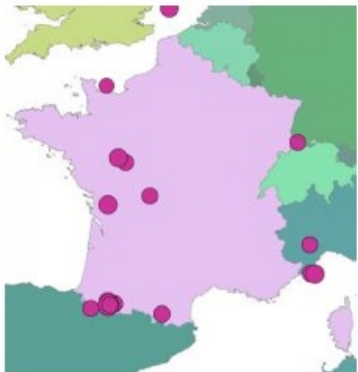
Rechercher sur le site du BCSF :


Accueil
Dernières alertes

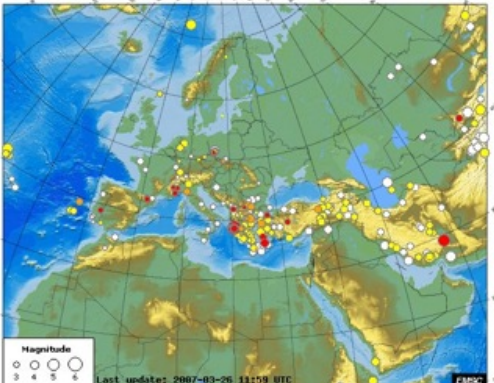
Sismicité de la France
Données
Documentations

Découvrir le BCSF
Espace news
Partenaires

Mes questions ...
Bureau Central Sismologique Français Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre 5, rue René Descartes - 67084 Strasbourg Cedex
Tél : 03 90 24 00 85
Fax : 03 90 24 01 25
Mail : bcsf@eost.u-strasbg.fr



Alertes sismiques de ces 12 derniers mois.
▶ Carte des DOM-TOM




Séismes récents dans la région Euro-Méditerranéenne (durant les 2 dernières semaines).
Source : EMSC

Enquête(s) en cours :

- Le 27/02/2007 à 09h42, Séisme au NNE Anse-Bertrand (magn. 5.0 - 5h42 heure locale) selon OVSG
▶ Témoigner sur ce séisme
- Le 16/02/2007 à 22h56, Séisme SE de Bagnères-de-Bigorre (3,7ML - 23h56 h. locale) selon Réness
▶ Témoigner sur ce séisme

Dernière alerte sismique en France :

 Séisme au NNE Anse-Bertrand (magn. 5.0 - 5h42 heure locale) selon OVSG, le 27/02/2007

- ▶ Témoigner sur ce séisme
- ▶ Témoigner sur un autre séisme
- Carte de localisation
- Carte macrosismique (Indisponible)

Le site du BCSF permet encore d'accéder aux bases de données des observatoires et des réseaux sismologiques de France (IPGP, BRGM), dont celles de SisFrance présentée plus haut. En accord avec son objectif affiché de « coordonner » et de « diffuser » l'information sismologique, ce site est donc un portail qui peut servir de point d'accès à d'autres sites présentés ici, mais aussi à d'autres ressources.

On y trouve par exemple (dans le menu de gauche « documents ») un lien vers les *documents pédagogiques* relatifs à la sismicité mis à disposition par l'Ecole et l'Observatoire des Sciences de la Terre de Strasbourg (EOST), ainsi que vers une collection de petites vidéos (« documents > vidéos pédagogiques ») dans lesquelles des sismologues professionnels expliquent brièvement divers sujets relatifs à la sismicité et à la prévention des risques (sismicité française, effet de site, etc.).

Le BCSF a encore comme particularité d'accorder une large place à son rôle d'enquêteur et de cartographe de l'intensité sismique. Une page du site explicite ainsi les objectifs de ces enquêtes de sismicité tandis qu'une autre explicite, illustrations à l'appui, les différents niveaux d'intensité sismiques définis sur l'échelle standard européenne EMS98. Cette source d'information est donc particulièrement utile pour faire comprendre la *distinction entre magnitude et intensité sismique* et bien montrer que ces deux paramètres se distinguent non seulement par leur définition et l'information qu'ils contiennent mais également par la façon dont ils sont obtenus (mesures instrumentales d'un côté, enquêtes et recueil de témoignages de l'autre).

Le site de L'EMSC, la sismicité euro-méditerranéenne

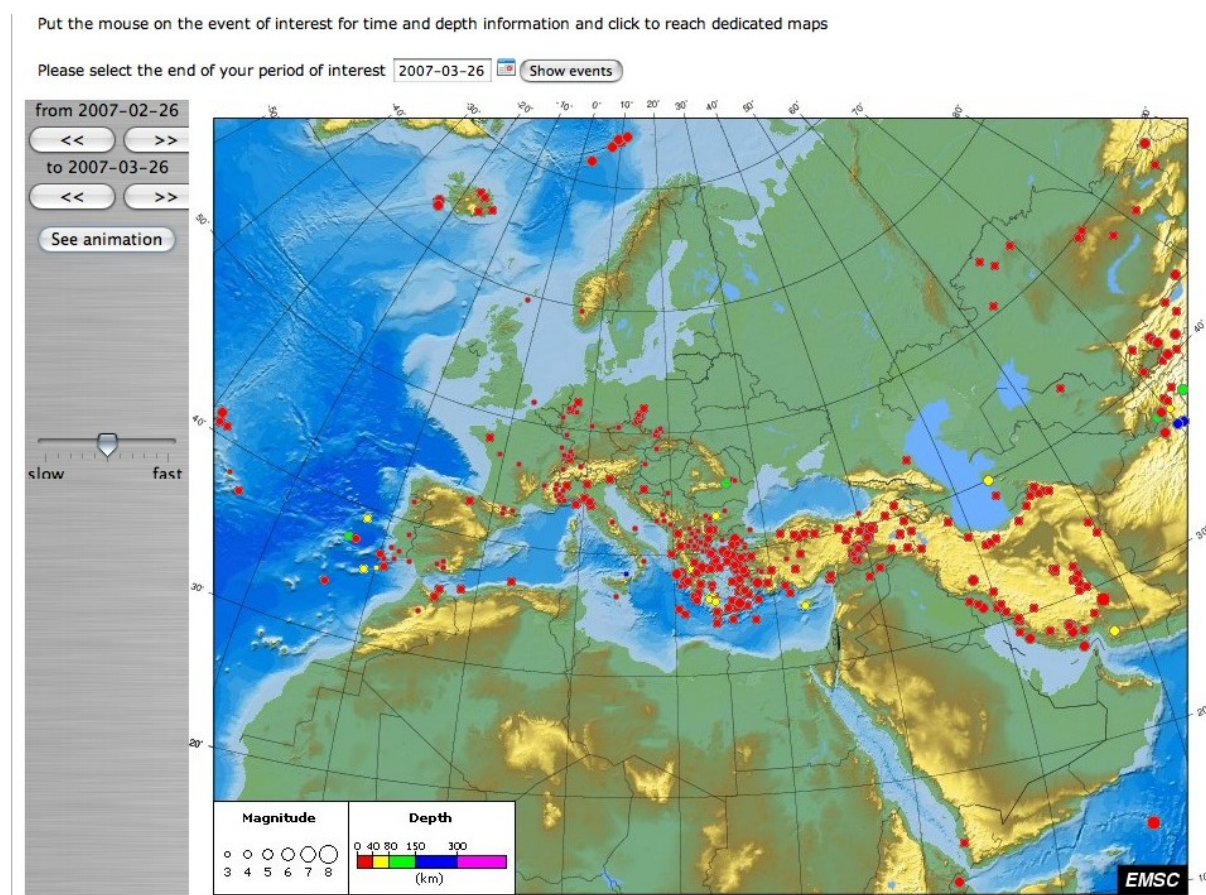
<http://www.emsc-csem.org/index.php?page=home>

Le Centre Sismologique Euro-Méditerranéen propose sur son site internet un ensemble d'informations sismologiques essentiellement concentré sur la région méditerranéenne. La page d'accueil présente ainsi une carte de la sismicité (M # 3) récemment enregistrée autour de la Méditerranée où les séismes sont reportés avec un code de couleur fonction de la date de l'évènement. Là aussi, il est possible de basculer sur une carte de la sismicité mondiale (M # 4).

Ce site fournit également (dans le menu déroulant de gauche), par une application Java, la possibilité d'afficher sélectivement les séismes *d'une période de temps choisie* (à l'aide des boutons de gauche) pour une région particulière (monde entier, Méditerranée, Amérique du Nord ou du Sud, Afrique et Océan Indien, Asie). *Les séismes sont cette fois colorés selon la profondeur de l'épicentre.*

Le bouton « *see animation* », à gauche, permet d'afficher séquentiellement les séismes survenus pour la période de temps choisie, une fonction qui permet de s'interroger sur les possibles relations entre séismes d'une zone géographique relativement restreinte (modifications de l'état de contrainte tectonique sur une faille ou sur une région sismique à la suite d'un séisme, répliques et séismes « précurseurs »).

Figure 4. Exemple d'utilisation de la carte interactive de sismicité de l'EMSC. On a sélectionné ici la carte de la région euro-méditerranéenne et choisit d'afficher la sismicité enregistrée entre le 26 février et le 26 mars 2007 à l'aide des boutons du menu de gauche. Le bouton "see animation" permet de faire défiler les cartes de sismicité journalières sur cet intervalle de temps.



Cliquer sur l'un des séismes permet d'accéder à une nouvelle page d'informations, comportant plusieurs onglets :

- le premier (« Summary ») propose les informations de base relative à la secousse sismique sélectionnée

(localisation, magnitude) ;

- le suivant (« Maps ») propose différentes vues cartographiques de l'épicentre (vue globale, régionale, locale ou sur une carte Google Map) ;
- alors que le troisième (« Regional seismicity ») fournit une carte de la sismicité historique de la région et la liste des principaux grands séismes survenus dans la zone depuis 1500.

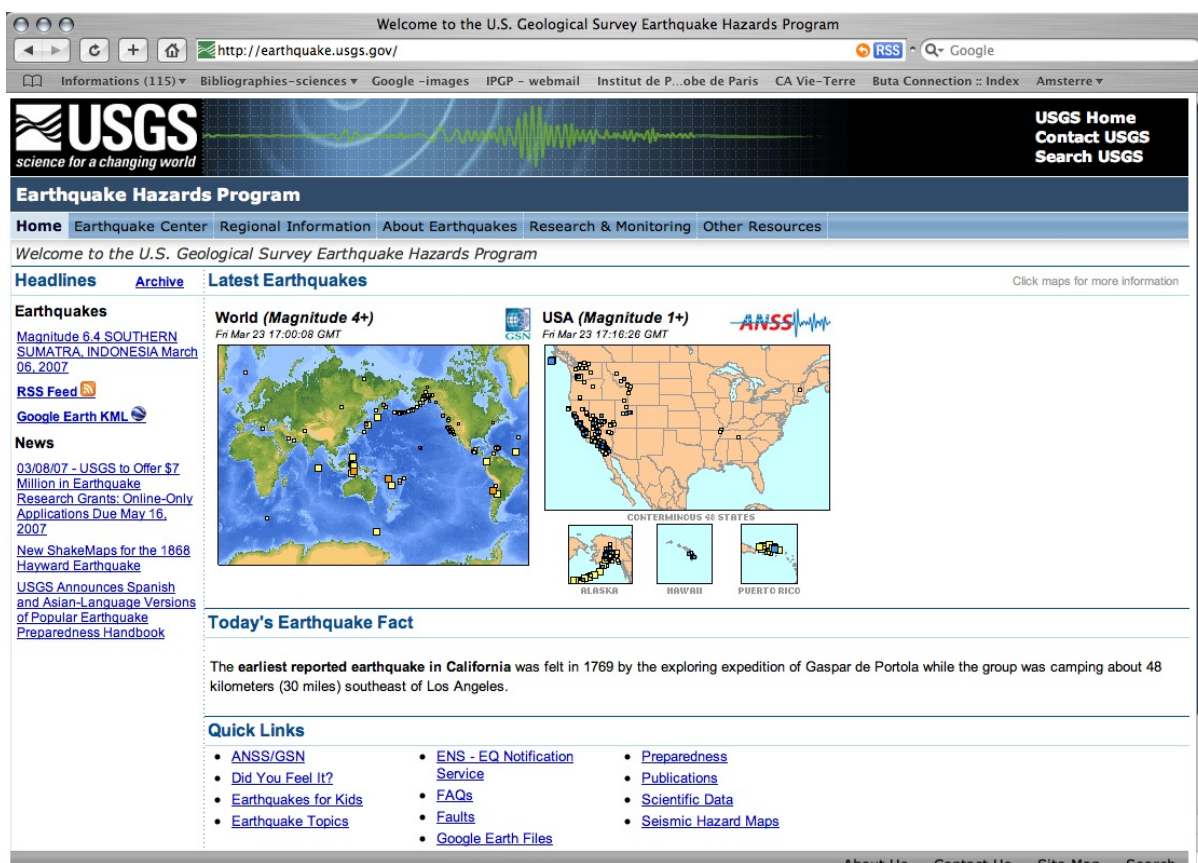
Ce site, d'abord destiné aux sismologues professionnels, fournit encore la liste et les caractéristiques des principaux séismes méditerranéens récents, leur analyse (tenseur des moments, etc.), un bulletin d'information sismologique trimestriel et d'autres informations relatives à l'EMSC.

Le site de l'USGS Earthquake Hazard Program

<http://earthquake.usgs.gov/>

Equivalent pour les Etats-Unis du BCSF ou de l'EMSC, ce portail d'information affiche lui aussi sur sa page d'accueil des cartes de sismicité, mondiale (M # 4) et centrée sur les Etats-Unis (M # 1).

Figure 5. Page d'accueil de la section du site de l'U. S. Geological Survey dédié à la surveillance sismique.



Une fois encore, une pression de la souris sur une région permet de zoomer en affichant des cartes d'échelle croissante. Les séismes y sont cette fois représentés avec un code de couleur fonction de leur *ancienneté* (une heure plus tôt, un jour plus tôt, la semaine passée). La sélection d'un événement sismique permet d'obtenir une page d'informations sur ce tremblement de terre. Cette page s'organise de manière très similaire à celle de l'EMSC, avec plusieurs onglets :

- « Détails » : les paramètres géographiques de l'événement, sa magnitude, sa profondeur#
- « Summary » : des liens vers une collection d'informations sur la sismicité de la région et du pays concerné
- « Maps » : plusieurs représentations cartographiques de l'épicentre (vue globale, régionale, etc.)
- l'onglet « Scientific & Technical » donne accès au tenseur des moments sismique (autrement dit le mécanisme au foyer, représenté par la sphère focale) du séisme, établi par l'USGS, mais aussi à une carte des temps d'arrivée *théoriques* des ondes sismiques P (calculés à partir du modèle de Terre IASP91, analogue plus récent du modèle PREM).

De la même manière que sur le site de l'EMSC, là aussi, il est possible de visualiser sur une carte la séquence des séismes enregistrés sur les derniers jours : une fois sélectionnée, sur la page d'accueil, la carte de sismicité voulue (sismicité globale ou sismicité des seuls Etats-Unis), la nouvelle page obtenue (Latest Earthquakes) propose dans son menu de gauche une case « Animations ».

Le même menu conduit également à d'autres pages rassemblant les séismes historiques, ou donnant accès à un moteur de recherche de sismicité ou encore à des logiciels plutôt destinés aux sismologues professionnels ou aux étudiants et enseignants d'université.

Comme la plupart des sites des grandes agences américaines (NOAA, USGS, NASA), ce portail rassemble une quantité de pages et d'informations impressionnantes, s'adressant à des publics variés allant du spécialiste à l'élève de collège, qu'il est impossible de décrire ici.

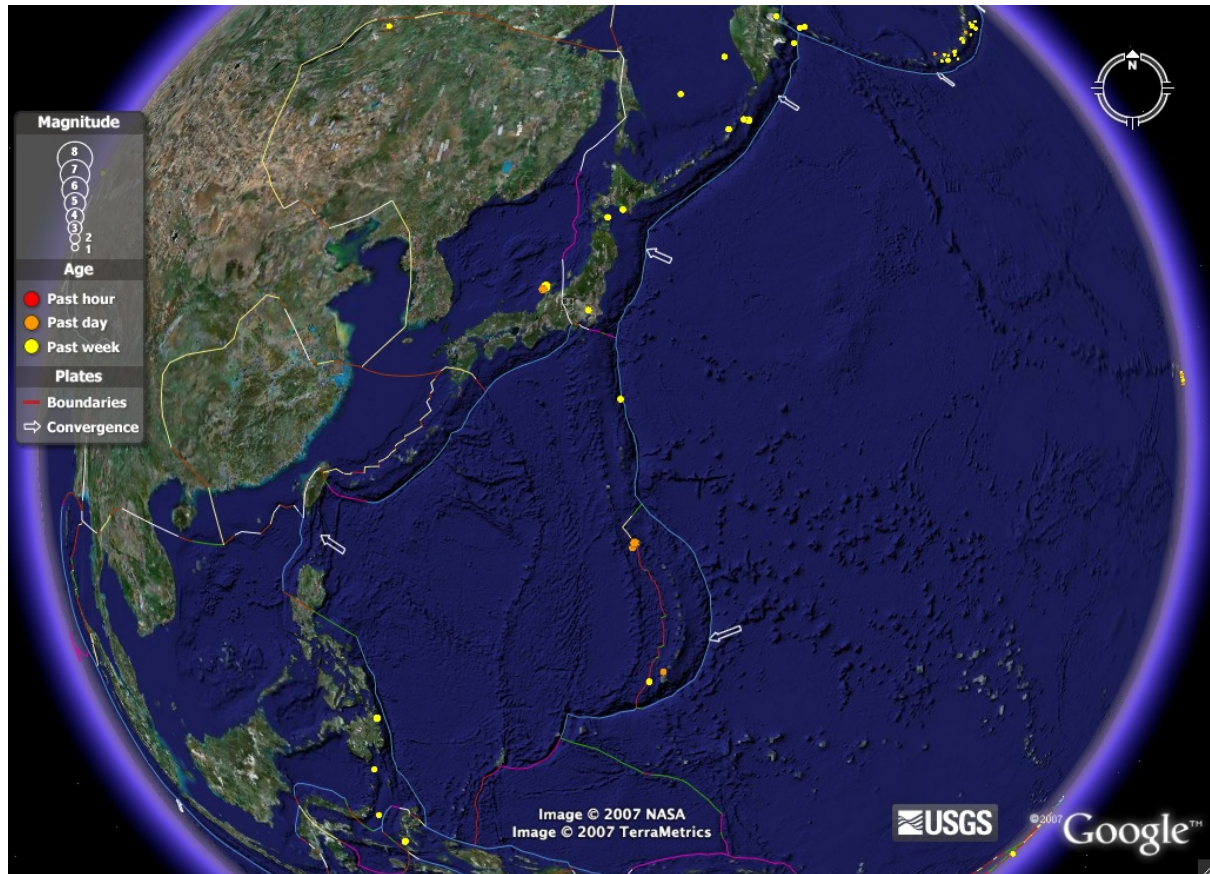
À côté et en complément de ces ressources qui ne demandent de disposer que d'un navigateur internet récent et munis des extensions (« plug-in ») adéquates (technologie Java, lecteur de vidéo, etc...), on peut trouver d'autres outils passant cette fois par des interfaces logicielles spécifiques et qui, pour certaines, permettent d'aller beaucoup plus loin que la simple visualisation de la sismicité.

Les interface logicielles dédiées

La solution « intermédiaire » Google Earth

Le succès du logiciel Google Earth est mis à profit par le programme de surveillance sismique de l'USGS qui propose le téléchargement d'un fichier spécifique (.kmz) permettant d'afficher directement dans Google Earth la sismicité mondiale des *sept derniers jours*. Les séismes sont représentés par des symboles de taille proportionnelle à la magnitude et de couleur fonction de la date du séisme (dernière heure, dernier jour, semaine passée), exactement comme sur le site de l'USGS. Le fichier fournit également au passage l'affichage des limites des plaques tectoniques et des failles transformantes (chaque affichage pouvant être coché ou décoché dans le menu de gauche du logiciel).

Figure 6. Sismicité des derniers jours et limites de plaques affichés dans Google Earth : exemple du 26 mars 2007. Les séismes survenus le 25 et 26 mars à l'Ouest du Japon, par exemple, sont affichés en orange et jaune.

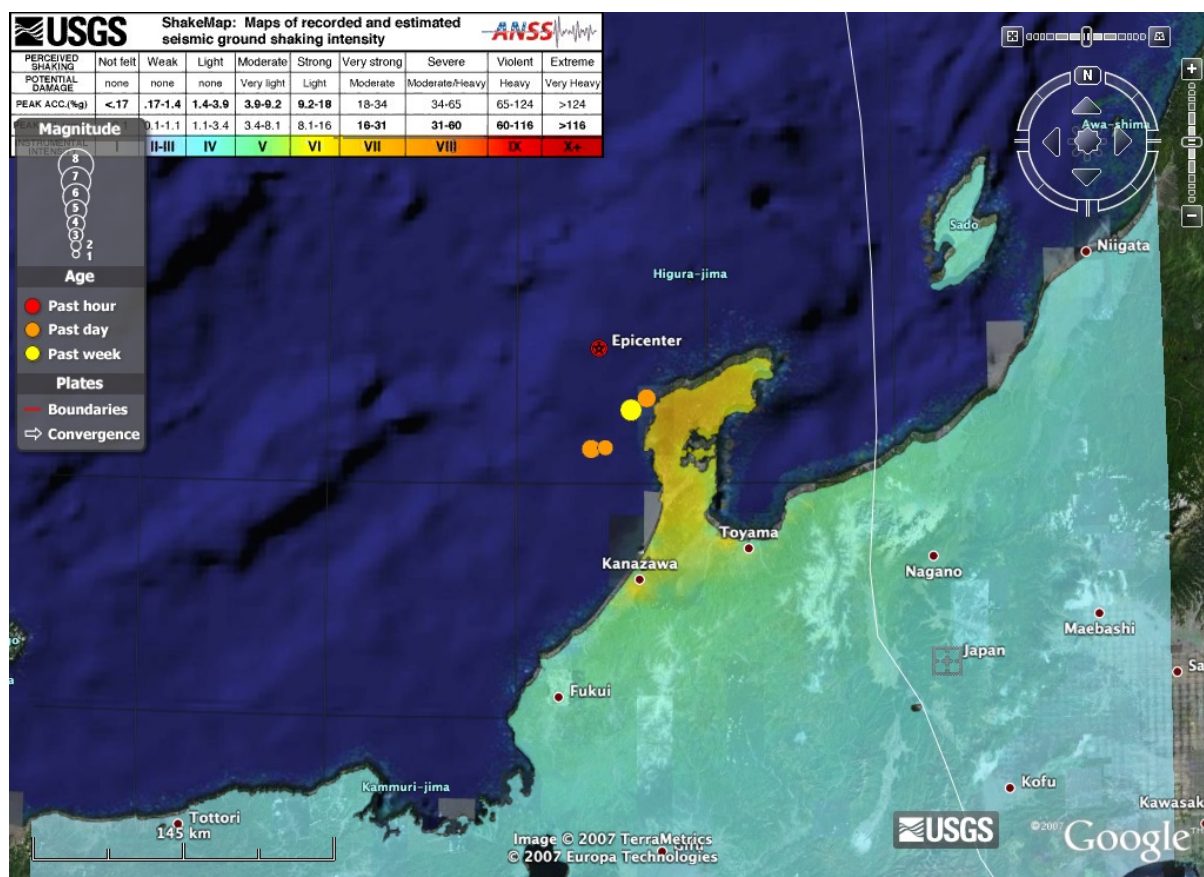


Note

Google Earth propose également, d'origine, une localisation « basique » des séismes (parmi les « caractéristiques géographiques » disponibles dans les « infos pratiques »), obtenu par consultation des catalogues de sismicité du NEIC (National Earthquake Information Center, Etats-Unis).

Cette solution a donc pour principal l'intérêt l'affichage cartographique sur un globe plutôt que sur une projection cartographique 2D et la facilité de déplacement d'un point à l'autre. Cliquer sur le symbole d'un séisme permet d'ouvrir une fenêtre dans laquelle s'affiche les coordonnées géographiques du séisme et les liens vers d'autres informations proposées par l'USGS. Il est ainsi possible d'importer directement dans Google Earth la carte d'intensité (ShakeMap) établie par l'USGS. Cependant, un examen plus approfondi des caractéristiques d'un séisme impliquent de revenir à la consultation du site de l'USGS par un navigateur internet, à l'aide des liens proposés.

Figure 7. Importation directe dans Google Earth de la carte des intensités (ShakeMap) proposée par l'USGS. Exemple du séisme du 25 mars 2007, à l'ouest du Japon (M 6,7).

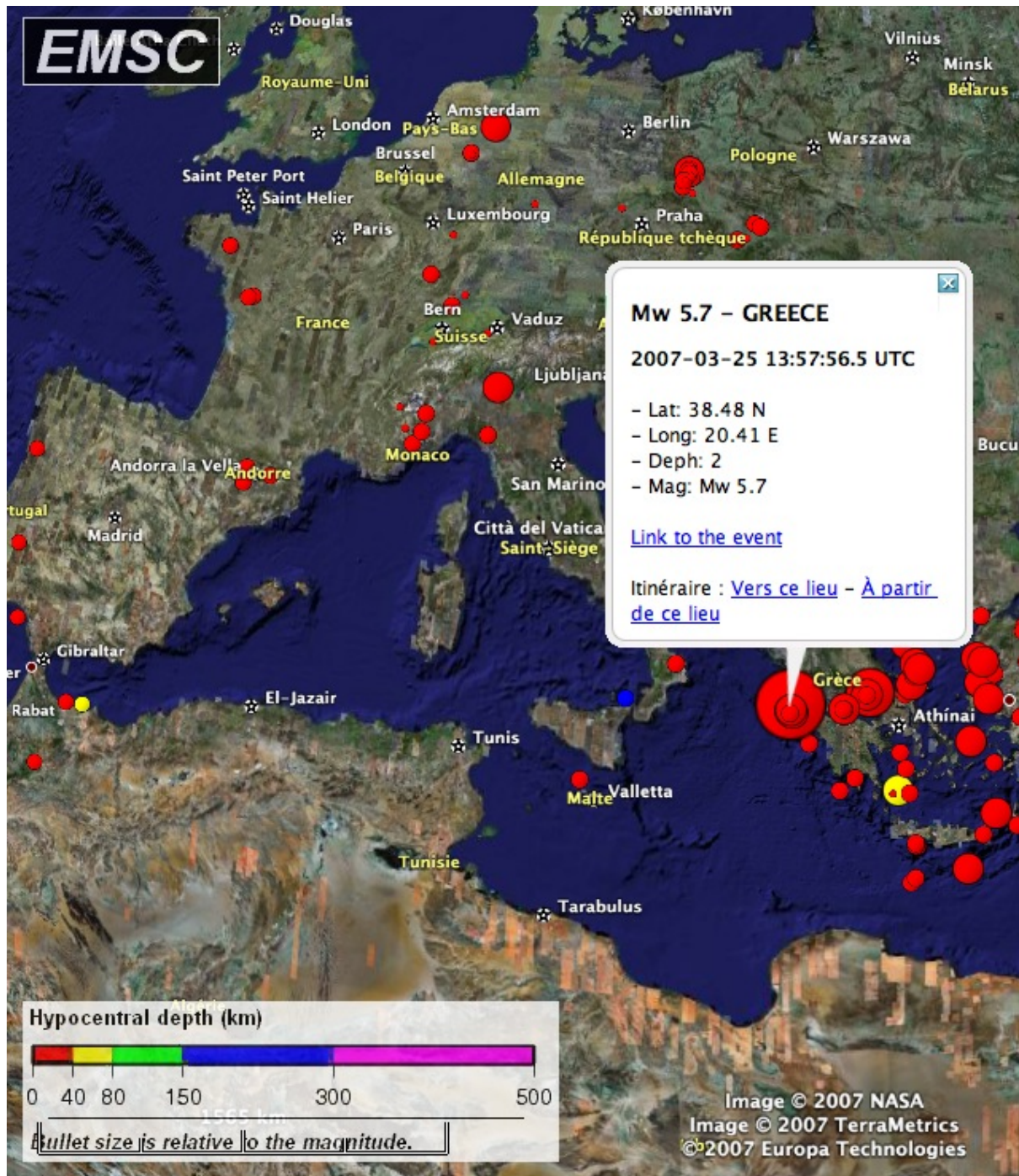


Le site de l'EMSC propose quant à lui sur sa page d'accueil les fichiers .kmz permettant l'affichage dans Google Earth de la sismicité mondiale :

- des deux dernières semaines ;
- ou de l'année écoulée.

Par ailleurs et, à nouveau, comme sur la carte interactive du site internet de l'EMSC, la couleur des symboles localisant les séismes est liée cette fois à la *profondeur* de l'hypocentre (une information qui n'est fournie par l'USGS qu'après sélection d'un séisme individuel et non pas cartographiquement). Comme dans le cas précédent, la sélection d'un séisme permet d'afficher ses principales caractéristiques géographiques.

Figure 8. Affichage dans Google Earth de la sismicité enregistrée par l'EMSC. Les données relatives à un séisme survenu le 25 mars 2007 sont affichées.



Cette fonctionnalité dans Google Earth se limite donc aux informations cartographiques et ne donne pas accès directement à l'étude des sismogrammes des tremblements de terre. D'autres logiciels vont beaucoup plus loin, en fournissant une interface de cartographie et d'analyse poussée des séismes et de leurs enregistrements.

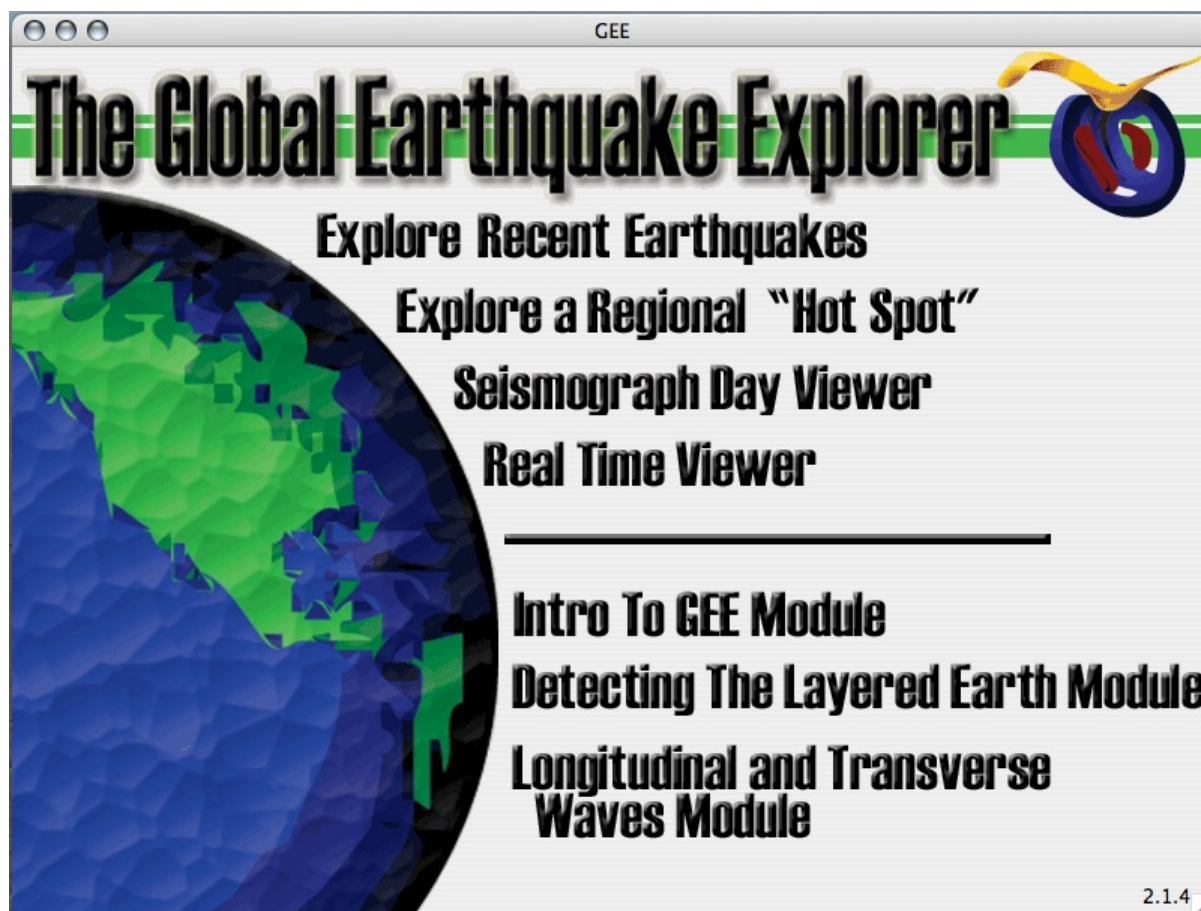
The Global Earthquake Explorer (GEE)

<http://www.seis.sc.edu/gee/>

GEE est un logiciel d'analyse sismologique spécifiquement conçu pour les enseignants et leurs élèves par le Département de Sciences Géologiques de l'université de Caroline du Sud et le consortium sismologique IRIS. Dans sa version actuelle (2.1.4), il fonctionne sur les trois principales plate-formes informatiques grand public.

Une fois installé sur l'ordinateur, ce programme propose au lancement un menu donnant accès à plusieurs moyen d'exploration et d'analyse de la sismicité.

Figure 9. Menu d'ouverture du logiciel GEE

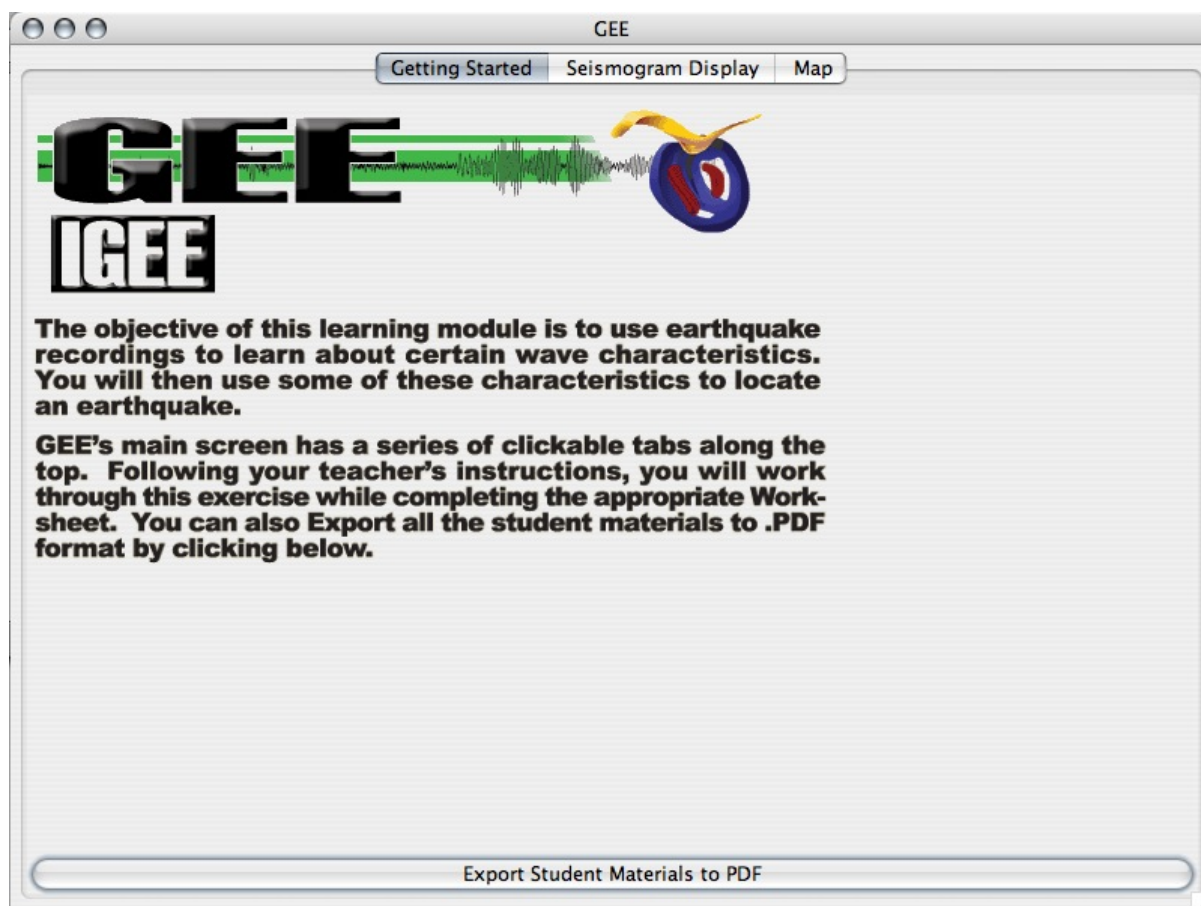


Les quatre premières propositions permettent une exploration « libre » de la sismicité mondiale. Les trois suivantes sont des *modules d'enseignement préétablis* à partir de sismogrammes et d'informations sélectionnés. Même si ces séquences sont évidemment élaborées en fonction des programmes et des méthodes pédagogiques américains, elle sont facilement transposables et réutilisables dans le cadre des enseignements français. Seule la première d'entre elle, qui permettra aussi de décrire le mode d'utilisation du logiciel, sera décrite ici.

Les modules d'enseignement

La sélection de la ligne « Intro to GEE Module » est une bonne porte d'entrée pour découvrir l'utilisation de ce logiciel avec une classe (niveau 3e). L'objectif de ce module est d'introduire les notions générale d'onde et de train d'ondes sismiques, puis d'expliquer le principe de la localisation des séismes à l'aide de la différence de temps d'arrivée des ondes P et S. Le lien de la page de démarrage conduit à une nouvelle fenêtre, reproduite ci-dessous.

Figure 10. Page de démarrage du module "Introduction to GEE Module"



À partir de cette fenêtre, le bouton inférieur (« export Student Materials# ») permet de sauvegarder localement sur son disque dur un dossier contenant plusieurs fichiers PDF destinés aux élèves. Ils ne sont disponibles qu'en anglais, mais leur contenu fournit à l'enseignant une base pour créer ses propres supports de travail pour sa classe. Il s'agit dans ce cas précis :

- d'un fichier de cours (IGEE-Background-v3.pdf), où sont expliqués les notions générales d'onde, de longueur d'onde, de périodicité spatiale et temporelle d'une onde, etc.
- d'un fichier d'explication sur l'utilisation du logiciel GEE (IGEE-Instructions.pdf) ;
- d'un tableau dans lequel l'élève reporte les temps d'arrivée des ondes P et des ondes S repérées sur les sismogrammes fournis et les différences de temps d'arrivée (IGEE-DataTable.pdf) ;
- d'une carte topographique simple représentant la région sismique étudiée dans le module (le rift africain dans la région des grands lacs) ;
- d'une carte muette de la même région portant la localisation des stations sismiques utilisées ;
- d'une série d'instruction et de questions auxquelles l'élève pourra répondre lors de cette séquence pédagogique.

L'enseignant, quant à lui, dispose d'une autre collection de fichiers PDF, téléchargeable à partir de la barre de menu principale du logiciel, en sélectionnant dans le menu déroulant « Help » la ligne « Save Teacher Materials ». L'un de ces fichiers (GEE-TeachersGuide.pdf) décrit la séquence pédagogique que peut suivre l'enseignant (les questions à aborder, les réponses attendues, les connaissances à apporter, etc.), un autre rappelle brièvement le principe de la localisation d'un tremblement de terre à partir des temps d'arrivée des ondes mesurés sur les sismogrammes.

Les deux autres onglets en haut de la fenêtre principale, « Seismogram display » et « Map », permettent d'afficher respectivement les sismogrammes enregistrés par les stations sismiques et la carte topographique de localisation.

L'affichage des sismogrammes permet de voir les enregistrements de six stations sismologiques. Pour cet exercice, les sismogrammes présentés sont des sismogrammes « bruts », tels qu'enregistrés numériquement par les stations, et par conséquent gradués verticalement en « counts » et non en unités internationales. On remarquera tout de suite que l'amplitude des signaux obtenus diffère d'une station à l'autre. On n'utilise ici que les composantes verticales de l'enregistrement sismique, enregistrées par pas de temps de 0,1 s (composante BHZ des sismogrammes).

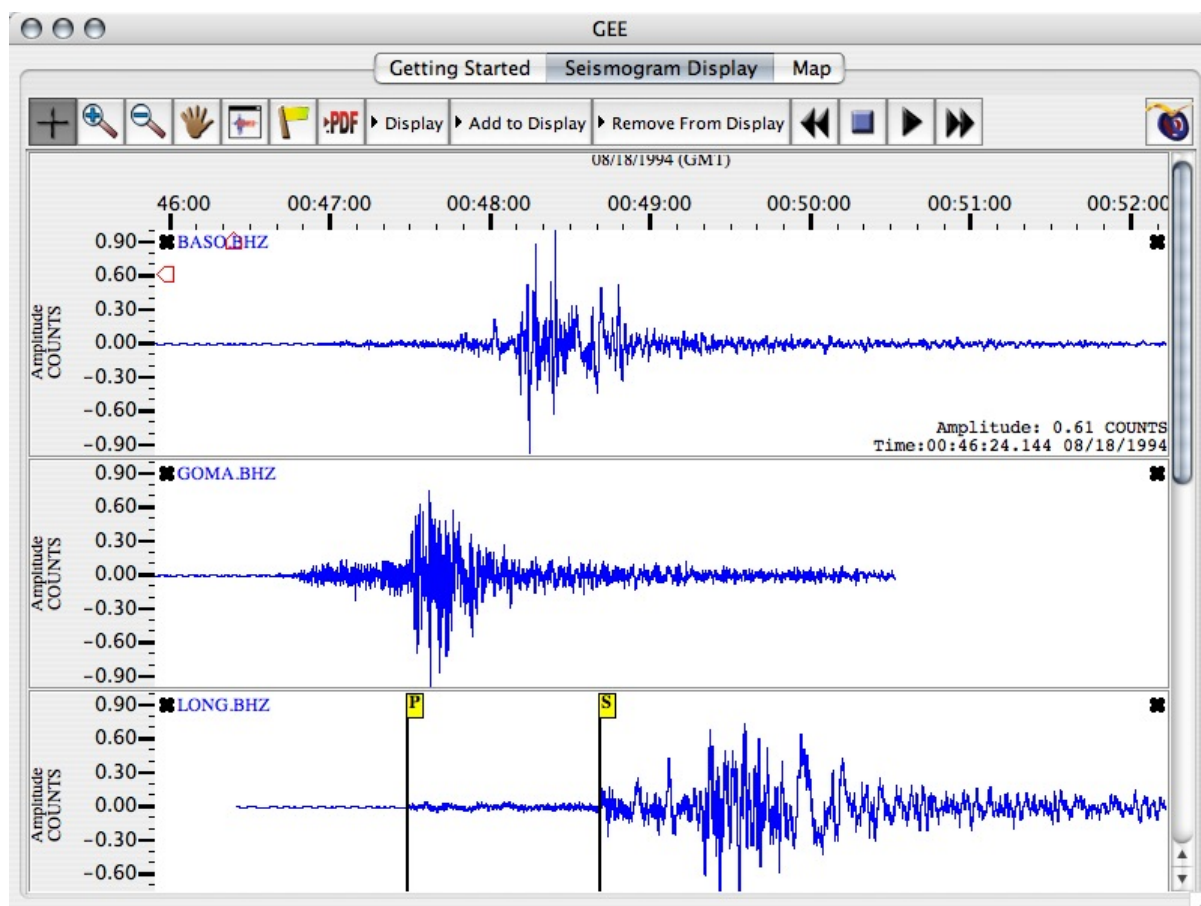
Note

Ces sismogrammes sont des enregistrements de la *vitesse* du sol (les sismomètres actuels sont en général des vélocimètres), non du mouvement du sol.

Le temps d'origine du séisme étant à priori inconnu, les sismogrammes ne sont pas alignés, mais commencent au temps d'obtention des données pour chaque station. Plusieurs outils sont alignés au dessus des sismogrammes. Ils permettent :

- de déplacer le pointeur sur un tracé : les coordonnées du pointeur sont simultanément repérés sur les axes du sismogramme par des curseurs à contour rouge, tandis que les valeurs des coordonnées (temps et amplitude du signal sismique) en ce point s'affichent en bas à droite du tracé ;
- de zoomer, dézoomer et déplacer manuellement les tracés (les flèches et le carré proposés à droite de la barre d'outils permettent de faire défiler les enregistrements) ;
- de sélectionner et d'afficher dans une nouvelle fenêtre une portion d'un tracé ;
- d'ajouter des « drapeaux » localisant les arrivées des différentes ondes ;
- d'exporter les tracés dans un fichier PDF ;
- de modifier l'affichage des tracés avec les menus « display », « add to display » et « remove to display ». Le menu « display », par exemple, permet de superposer les tracés, de les afficher par ordre alphabétique ou en fonction de leur distance à la source, ou encore d'y superposer des « filtres » représentant des sismogrammes synthétiques de séismes locaux, régionaux ou lointains.

Figure 11. Fenêtre de visualisation des sismogrammes. Les temps d'arrivée des ondes P et S ont été pointés manuellement sur l'un des enregistrements à l'aide du bouton représentant un drapeau.



Les élèves peuvent donc pointer sur ces sismogrammes, à l'aide de drapeaux, les temps d'arrivée des ondes P et S puis, à l'aide des différences de temps, d'un compas et de la carte imprimable, de localiser la zone épiscopentrale du séisme.

L'exploration sismique « manuelle »

Les autres options affichés sur la page de démarrage de l'application permettent une utilisation plus personnelle du logiciel et de ses nombreuses possibilités. Pour revenir à cette page, il suffit de sélectionner dans la barre de menu « File > Reset Global Earth Explorer ».

- La ligne « Explore a Regional Hot Spot » propose une exploration de la sismicité de plusieurs régions prédéfinies, à la fois particulièrement actives et bénéficiant d'une bonne couverture de stations sismologiques. Il s'agit du Mont Saint-Helens (sismicité lié à l'activité volcanique), de la Californie (avec évidemment l'activité de la faille de San Andreas et des failles associées, surveillé par le réseau sismique le plus dense du monde), de l'ensemble des USA ou, enfin, du Sud-Est asiatique.
- Le choix « Sismograph Day Viewer » fournit la carte de l'activité sismique du jour et des stations sismologiques en état de fonctionnement. Sélectionner une ou plusieurs stations permet d'en afficher ensuite l'enregistrement (cf. plus loin).
- D'une façon similaire, le choix « Real Time Viewer » permet d'afficher l'enregistrement en temps réel d'une station sismique choisie par l'utilisateur à partir d'une carte.

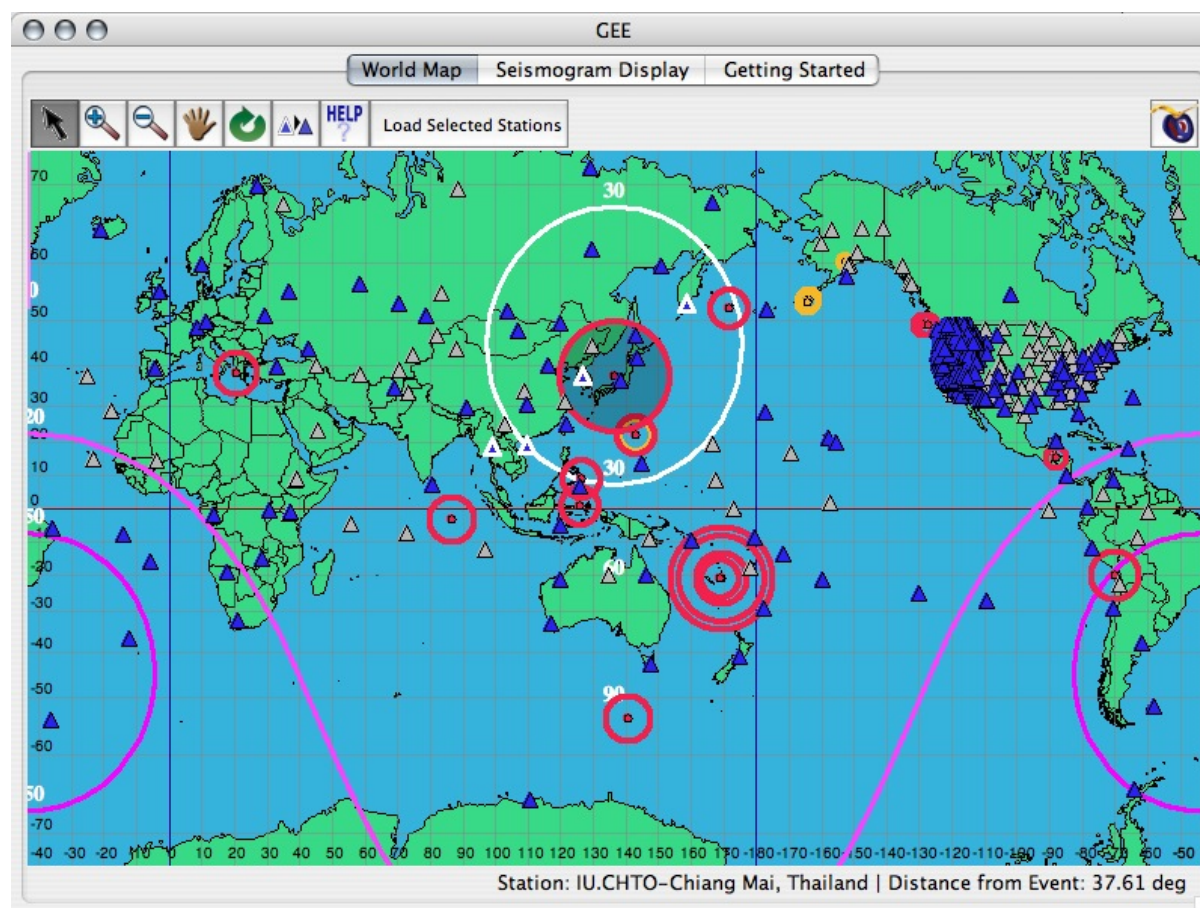
Toutes ces « portes d'entrée » du logiciel fonctionnant de façon très similaire, on ne décrira ici que le cas de la consultation des séismes récents (ligne « Explore Recent Earthquakes »). Ce choix conduit lui aussi à l'affichage d'une carte, sur laquelle sont placées :

- les stations en état de fonctionnement, représentées par des *triangles bleus* (les triangles gris indiquent les stations qui ne répondent pas) ;
- les séismes récents, localisés par des *cercles* dont la taille et la couleur correspondent respectivement à la magnitude et à la profondeur du séisme (superficiel, moyen, profond) ;
- les lignes d'égal temps d'arrivée des ondes P par rapport à un séisme particulier.

Cliquer sur l'un des cercles permet de sélectionner le séisme correspondant (dont la date, les coordonnées géographiques, la profondeur et la magnitude s'affichent au bas de la carte). Les lignes des temps d'arrivée sont aussitôt réorganisées autour de cet événement.

De la même façon, l'utilisateur peut sélectionner à la souris une ou plusieurs stations (dont le contour devient alors blanc ; un bouton de la barre d'outil permet de les « désélectionner » toutes). La distance épacentrale des stations par rapport à l'événement considéré vient s'afficher en bas à droite de la carte (en degrés).

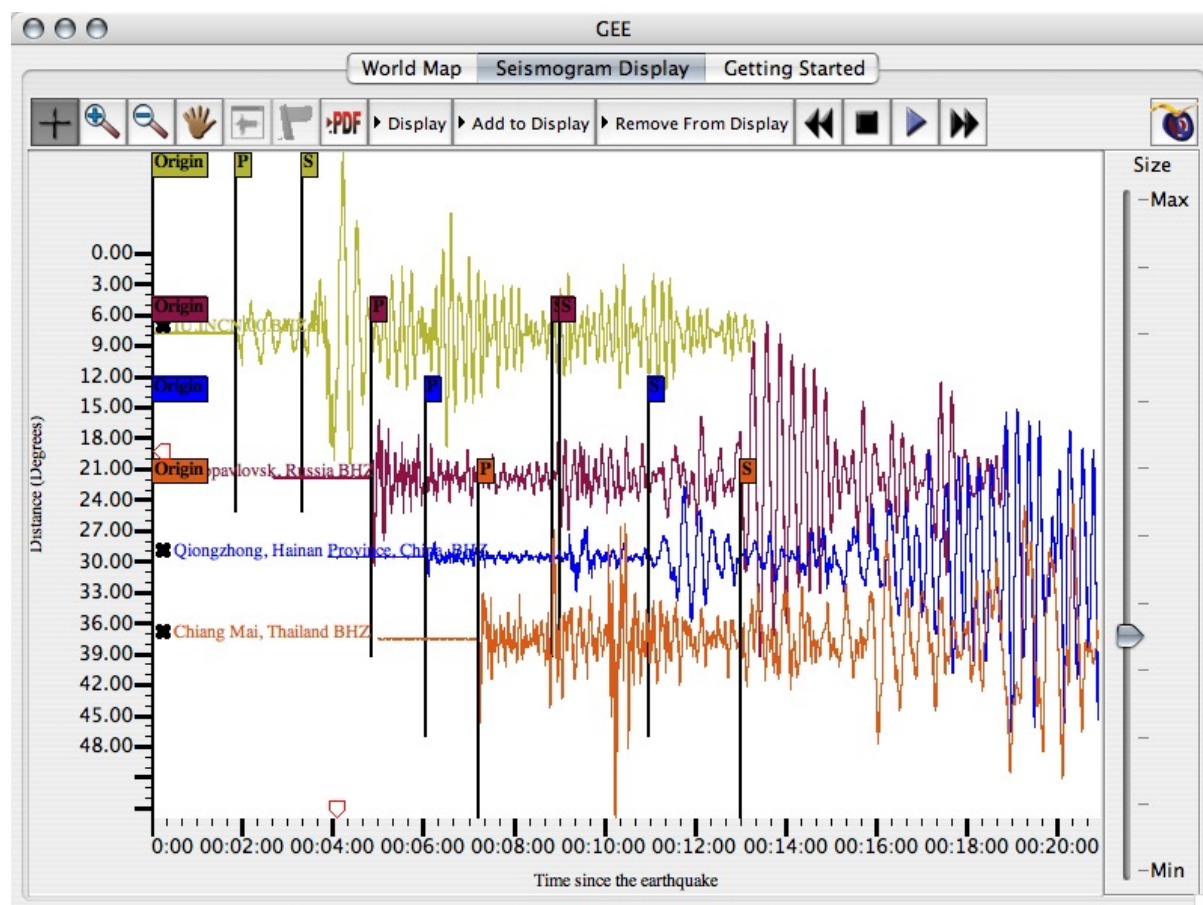
Figure 12. Carte de localisation des séismes récents. Le séisme considéré (côte ouest du Japon, 25 mars 2007, 00h42 GMT, magnitude 7,3) est indiqué par un disque à fond grisé. Plusieurs stations (triangles à contour blanc) sont sélectionnées. Les caractéristiques de la dernière station choisie apparaissent en bas à droite de la fenêtre.



Un nouveau clic sur le bouton « Load Selected Stations » permet d'importer dans la fenêtre suivante « Seismogram Display » la période d'acquisition des stations pendant laquelle le séisme choisi a pu être enregistré. Par défaut, ces enregistrements sont d'abord affichés sur un même graphique temps-distance épacentrale, avec une couleur différente pour chaque station. Encore une fois, seule les *composantes verticales* des sismogrammes sont proposées (figure ci-après).

L'utilisateur peut ensuite, s'il le souhaite, afficher séparément chaque tracé en les alignant verticalement par ordre alphabétique ou par distance épacentrale, par exemple, à l'aide du menu « Display ». Ce même menu « Display » permet aussi, cette fois-ci, d'importer et d'afficher automatiquement les pointés des temps d'arrivées des ondes sismiques (voir la figure).

Figure 13. Graphique temps - distance épacentrale des enregistrements des quatre stations sélectionnées pour le séisme de l'Ouest du Japon du 25 mars 2007. Sur cette image, les temps d'arrivées des ondes sismiques ont été automatiquement calculées et ajoutées et les tracés ont été alignés sur le temps origine du séisme.



Lorsque les tracés sont affichés séparément (par la commande « Display > Show Individual Traces »), et si les informations sur les caractéristiques des stations sont disponibles dans les données téléchargées par le logiciel, les sismogrammes peuvent s'afficher en unités réelles (millimètre.s⁻¹ ou micromètre.s⁻¹) : il est alors possible de discuter, par exemple, de l'atténuation beaucoup plus rapide des ondes de volume que des ondes de surface avec la distance épacentrale.

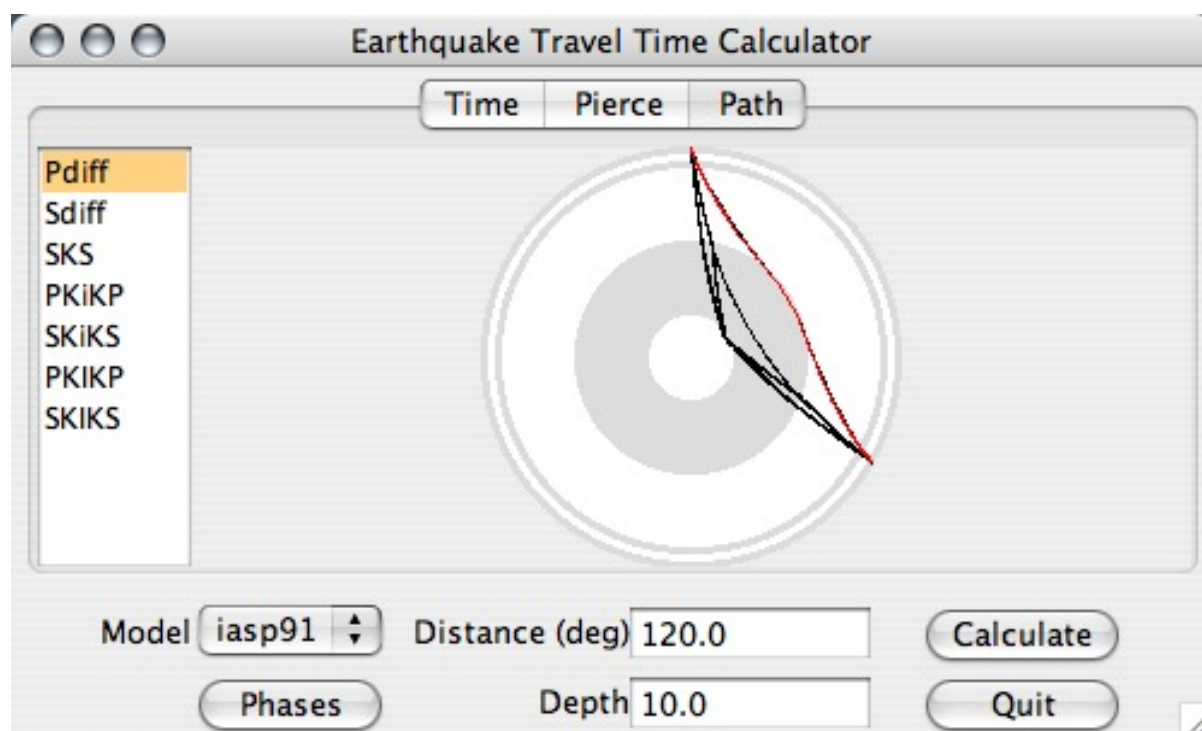
Le pointé des temps d'arrivée des ondes, s'il est fait automatiquement (à l'aide du menu « Display > Overlay Travel Time ») comme présenté ci-dessus, est obtenu par le programme via un calcul des temps d'arrivée des ondes à partir d'un modèle de terre sismologique. Par défaut, il s'agit du modèle IASP91. Un module de calcul des temps de trajet, disponible dans le menu Outils (« Tools »), permet de choisir le modèle utilisé et même de visualiser le trajet de ces ondes : il ouvre une nouvelle fenêtre dans lequel l'utilisateur peut spécifier manuellement :

- la distance épacentrale qu'il souhaite (en degrés)
- la profondeur du séisme (en km), s'il la connaît

- le modèle de Terre à utiliser, parmi trois possibilités : IASP91, PREM et QDT

Le module détermine alors les trains d'onde de volume susceptibles d'apparaître sur les sismogrammes pour ces paramètres et leur temps d'arrivée. Un onglet, en haut de la fenêtre, permet ensuite d'afficher les trajets de ces ondes de volume (figure ci-après).

Figure 14. Le module de calcul des temps de trajet des ondes de GEE : un exemple pour une distance épacentrale de 120°, un hypocentre à 10 km de profondeur et le choix du modèle IASP91. Le trajet en rouge correspond à l'onde sélectionnée à gauche (onde Pdiff diffusée à la limite noyau-manteau).



Signalons encore que les sismogrammes analysés peuvent être sauvegardés localement sur l'ordinateur (dans le format de données SAC) et réutilisés ensuite. De la même façon, il est possible de rechercher manuellement les enregistrements d'un séisme précis, par exemple d'un séisme majeur récent, à l'aide de la commande « Edit > Earthquakes > Noteworthy Earthquakes » disponible dans le menu « Edit », ou en allant consulter les banques de données sismiques du consortium IRIS (« Edit > Earthquakes > All Earthquakes »). Dans le même menu, la commande « Edit > Station Chooser » permet également de sélectionner une ou plusieurs stations et le type d'enregistrement souhaité (uniquement les grandes ou les courtes longueurs d'onde, la composante verticale seule ou les trois composantes (verticale, N-S et E-O), etc.).

Le logiciel GEE offre donc une large gamme d'outils d'analyse de la sismicité et des enregistrements sismologiques. La possibilité de l'utiliser en suivant des modules d'enseignement prédéfinis ou pour des recherches ciblées et personnalisées en fait un outil utilisables à divers niveaux, du collège à l'université. On ne peut lui reprocher que de n'être pas disponible en français.

Cependant, un dernier logiciel, d'avantage destiné aux sismologues professionnels mais disponible, lui, en français, permet d'effectuer des travaux similaires à GEE.

Quake Explorer et SeisGram2K

<http://alomax.free.fr/QuakeExplorer/beta/>

<http://alomax.free.fr/seisgram/SeisGram2K.html>

SeisGram2K est un logiciel d'analyse d'enregistrement sismique disponible en français, anglais ou italien, écrit en langage Java. Son concepteur en propose deux versions, dont l'une (SeisGram2K52_ECOLE) est spécifiquement destinée à une utilisation par des enseignants et des élèves, dans le cadre des programmes « Sismo des écoles » développé par Géosciences Azur et l'Académie de Nice et du programme national « SISMOS à l'Ecole » en cours de réalisation.

Comme GEE, SeisGram2K permet de visualiser des données sismiques téléchargés dans les bases de données professionnelles ou parmi les sismogrammes enregistrées par les stations installées dans les établissements scolaire des réseaux pédagogiques et mis à disposition sur les sites internet de ces programmes.

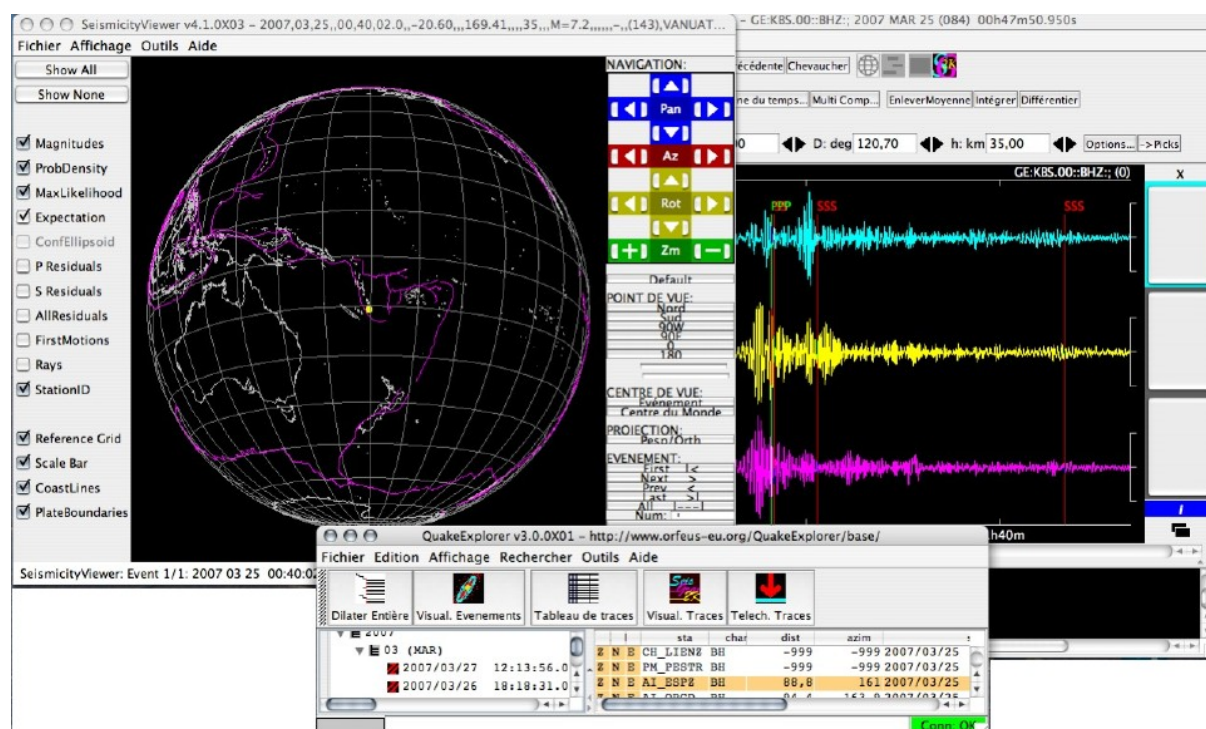
Note

Dans ce dernier cas, les enregistrements peuvent aussi être directement visualisés en ligne sur internet, l'application SeisGram fonctionnant alors à distance comme une « applet » Java.

Contrairement à GEE, donc, SeisGram2K ne fournit pas, en tant que logiciel individuel, d'outil intégré de recherche de séismes et d'importation de données. Cependant, un autre logiciel du même auteur, *Quake Explorer*, fournit ces fonctionnalités en combinant en une seule application plusieurs logiciels Java, dont SeisGram2K (en version professionnelle seulement). Quake Explorer permet de consulter les bases de données sismiques du réseau sismique européen ORFEUS (Observatories and Research Facilities for European Seismology), de sélectionner un séisme et une ou plusieurs stations des réseaux sismiques accessibles, puis :

- d'afficher une localisation de l'événement sismique souhaité sur un globe terrestre interactif (via un sous-programme Seismicity Viewer) ;
- de visualiser et d'analyser les tracés (via SeisGram2K), soit en ligne, soit après téléchargement des données sur le disque dur.

Figure 15. Utilisation du logiciel Quake Explorer : la fenêtre en bas de l'image est l'interface de recherche et de sélection des séismes et des stations sismique. Les enregistrements sélectionnés s'affichent dans le sous-programme SeisGram2K (fenêtre de droite) tandis que les séismes choisis peuvent être visualisés sur une mappemonde à l'aide d'un autre sous-programme, SeisViewer (à gauche).

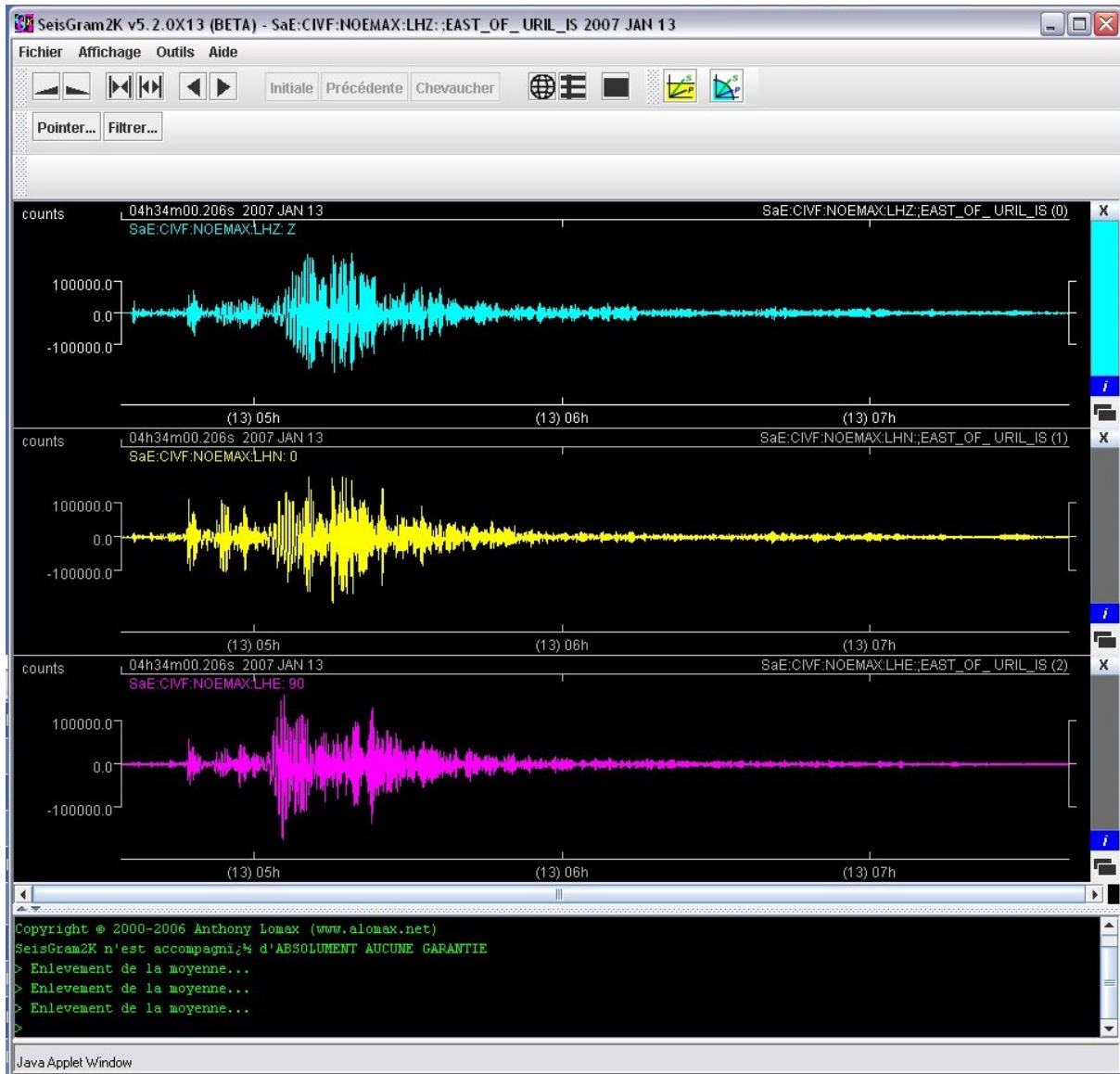


Dans ce qui suit, seule l'application SeisGram2K, utilisée indépendamment de Quake Explorer, sera présentée en détail, pour souligner ses particularités par rapport aux autres solutions décrites ci-dessus.

SeisGram2K, version "Ecole"

Une fois les données sismiques récupérées (au format SAC, par exemple), le programme les présente dans sa fenêtre principale en différenciant les composantes par leur couleur (magenta : composante E-O ; jaune : N-S ; cyan : verticale).

Figure 16. Visualisation dans SeisGram2K (version Ecole) des trois composantes (verticale, N-S et E-O) du sismogramme d'un télé-séisme (îles Kouriles, 13 janvier 2007) enregistrée par la station du collège international de Valbonne du réseau « Sismo des écoles ». Noter que les échelles verticales sont graduées en "counts".



SeisGram2K permet, par les boutons situés dans la barre d'outil supérieure (de gauche à droite, cf; figure ci-dessus) :

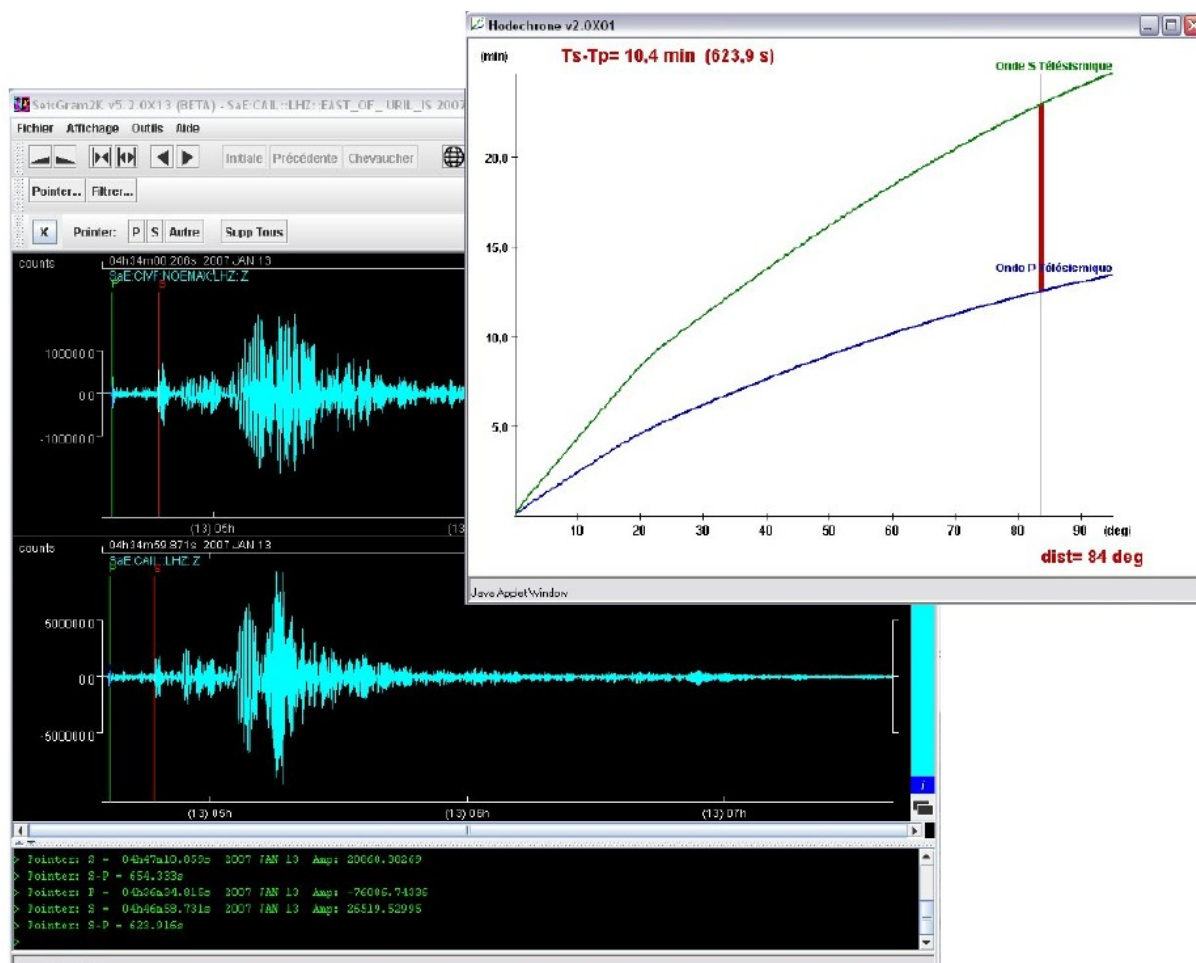
- d'augmenter ou de diminuer les échelles verticale et horizontale des enregistrements ;
- d'en sélectionner une portion ;
- de les faire défiler ;
- de revenir à l'affichage initial ou précédent ;
- de superposer les tracés
- de les synchroniser

Le bouton « Filtrer » permet d'appliquer un filtre au signal dans une gamme de fréquences choisie, tandis que le bouton « Pointer » permet, comme dans GEE, d'ajouter *manuellement* aux tracés des repères indiquant les temps d'arrivées des ondes (avec trois possibilités dans cette version Ecole : P, S et « Autres », c'est-à-dire les ondes de surface). Le logiciel calcule automatiquement les différences de temps d'arrivée entre les ondes ainsi repérées,

qui s'affichent dans la fenêtre inférieure.

Les deux derniers boutons de la barre d'outils supérieure, en haut à droite, permettent alors d'ouvrir un tracé simplifié des hodochrones des ondes P et S, soit pour le cas d'un séisme proche, soit pour un télé-séisme, et d'y retrouver graphiquement la distance séparant la station du séisme (figure ci-après).

Figure 17. Exemple de pointé des ondes P (trait vert) et S (trait rouge) dans SeisGram2K (Ecole) pour un séisme lointain enregistré par une station du réseau « Sismo des écoles » et détermination graphique de la distance épacentrale (84 degrés) à l'aide de la différence de temps d'arrivée P-S calculée par le logiciel et du module intégré Hodochrone.



SeisGram2K, version professionnelle

Dans sa version professionnelle, le logiciel ne comprend pas les modules « Hodochrones » de détermination graphique des distances épacentrales à partir des différences de temps d'arrivée des ondes P et S. En contrepartie, il fournit plusieurs autres fonctionnalités d'analyse, entre autres : On peut aussi, avec cette version,

- la possibilité de pointer tous les types d'onde ou, d'afficher, comme dans GEE, les temps d'arrivée des ondes calculées à partir d'un modèle ;
- la possibilité d'intégrer et de dériver les signaux sismiques par rapport au temps (ce qui permet, par exemple, de revenir au mouvement du sol à partir du sismogramme initial représentant la vitesse du sol) ;
- divers filtrages des signaux.

- l'association en 3D de l'enregistrement des trois composantes d'un sismogramme sous la forme du mouvement d'une particule (une option disponible également dans GEE).

Cette version du logiciel, beaucoup plus puissante, devient par conséquent aussi plus difficile d'accès pour les utilisateurs occasionnels peu familiers de l'analyse des signaux.

Quake Explorer et SeisGram2K permettent donc d'effectuer le même genre d'analyse que le logiciel GEE. Quake Explorer et GEE sont presque équivalents, mais GEE est plus simple d'utilisation et d'avantage orienté vers l'enseignement. Quake Explorer reste avant tout un outil de travail professionnel pour sismologues, tout comme la version complète, professionnelle, de SeisGram2K.

Utilisée seule, SeisGram2K représente plus un complément qu'un équivalent à GEE, ce dernier offrant à la fois plus de possibilités que la version Ecole de SeisGram2K, et moins que la version professionnelle.

Conclusion

Les sites et les logiciels d'étude et d'analyse de la sismicité sont donc aujourd'hui nombreux. Leurs utilisations sont variées, depuis la simple illustration (répartition des séismes, aspect d'un sismogramme, etc.) jusqu'à l'analyse poussée des signaux sismiques. Cet article n'en a décrit que quelques-uns, parmi les plus complets et les plus faciles d'emploi pour les enseignants et leurs élèves mais aussi pour les étudiants de premier et second cycle universitaire. Toutes leurs possibilités n'ont évidemment pas été décrites ici et si beaucoup proposent les mêmes fonctions fondamentales, leurs fonctionnalités s'avèrent, dans le détail, souvent complémentaires.

Ces outils sont d'autant plus intéressants que plusieurs d'entre eux sont clairement développés dans cette optique d'utilisation pédagogique en classe. Mais au delà de cet usage en milieu scolaire, ces instruments ont aussi pour objectif la prévention du risque sismique et la diffusion dans le grand public des connaissances scientifiques relatives à la sismicité.