

EPOS

L'infrastructure de recherche paneuropéenne pour les sciences de la Terre

Dominique Jacques, Carine Bruyninx, Koen Van Noten, Martin Zeckra, Fikri Bamahry, Andras Fabian, Juliette Legrand, Anna Miglio, Eric Pottiaux, Dominique Mesmaker, Ann Moyaert, Giovanni Rapagnani, Thomas Lecocq et Bert Frederick.

Plusieurs instituts de recherche belges contribuent à EPOS (European Plate Observing System) : une infrastructure de recherche multidisciplinaire paneuropéenne intégrant des données, des services et des installations de recherche pour les sciences de la Terre.

Qu'est-ce qu'EPOS ?

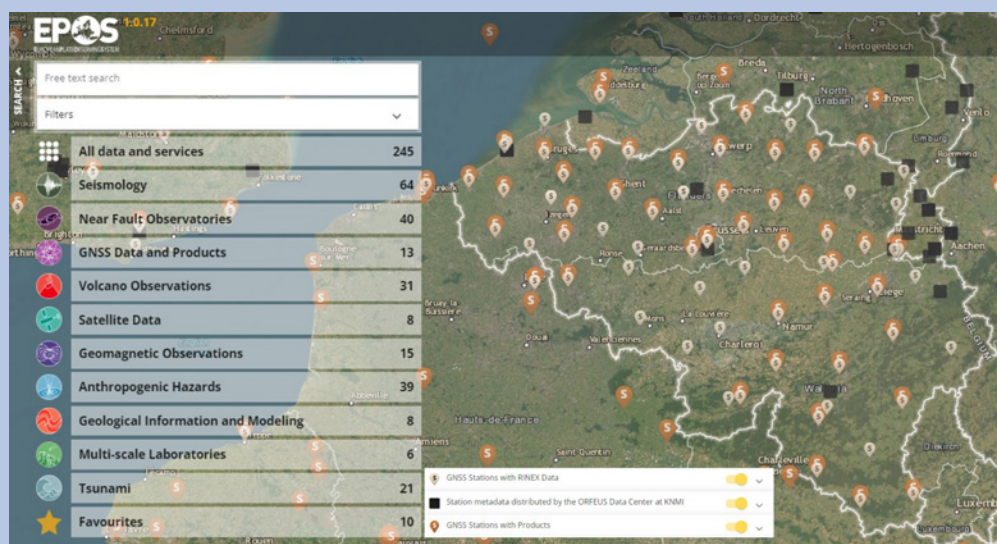
EPOS¹ est la première et unique infrastructure de recherche paneuropéenne pour les sciences de la Terre, intégrant des données, des services et des installations de recherche de différentes disciplines scientifiques. Son portail central de données² permet d'accéder à des données et des produits scientifiques multidisciplinaires librement accessibles, harmonisés et soumis à un contrôle de qualité.

L'accès libre aux données et produits scientifiques multidisciplinaires favorise l'avancement de la recherche scientifique ouverte afin de mieux comprendre les processus dynamiques du Système Terrestre (par exemple, les processus actifs dans les tremblements de terre et les éruptions volcaniques). Le portail de données

d'EPOS permet de visualiser, d'analyser et de modéliser ces données afin de détecter de nouveaux signaux dans des ensembles de données complexes provenant de différentes disciplines scientifiques. EPOS stimule la recherche et l'innovation pour aider les gouvernements nationaux à lutter contre les catastrophes naturelles, à gérer durablement les ressources géologiques (matières premières, eau et énergie), etc.

Le cycle de vie d'EPOS a commencé il y a plus de vingt ans et est passé par différentes étapes de conception, de préparation et de mise en œuvre. Depuis 2008, EPOS fait partie de la feuille de route ESFRI³ (European Strategy Forum on Research Infrastructures), qui donne la priorité aux infrastructures de recherche revêtant une importance stratégique particulière pour l'Union européenne. En 2018, EPOS a reçu le statut juridique d'ERIC (European Research Infrastructure Consortium), dont la Belgique est l'un des membres fondateurs. Le portail de données d'EPOS a été officiellement lancé lors de la réunion EGU 2023 (General Assembly of the European Geosciences Union, avril 2023).

Actuellement, les données d'environ 150 instituts de recherche nationaux de 25 pays européens sont disponibles via le portail

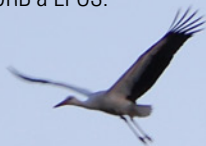


L'interface graphique du portail des données d'EPOS.

de données d'EPOS. Ces données sont collectées et normalisées dans 10 disciplines thématiques (TCS - Thematic Core Services): 'Seismology', 'Near-Fault Observatories', 'GNSS Data & Products', 'Volcano Observations', 'Satellite Data', 'Geomagnetic Observations', 'Anthropogenic Hazards', 'Geological Information & Modeling', 'Multi-scale Laboratories' et 'Tsunami' (candidat TCS). Les services et les données sont ensuite intégrés à partir de ces TCS dans le portail de données d'EPOS (qui fait partie des Integrated Core Services - ICS) accessible à tous les utilisateur-ric-e-s.

De nos jours, les services et données belges fournis à EPOS (désormais répertoriés sous le nom EPOS-BE⁴) se composent des contributions de trois instituts de recherche et de deux gouvernements régionaux dans cinq disciplines thématiques différentes. L'Observatoire royal de Belgique (ORB) fournit à la fois des données à la discipline thématique 'Seismology' et des services de base et des données, y compris celles des gouvernements flamand et wallon, à la discipline thématique 'GNSS Data & Products'. En outre, l'Institut royal météorologique (IRM) est actif dans les disciplines thématiques 'Geomagnetic Observations' et 'Multi-scale Laboratories'. Plus précisément, l'IRM fournit à EPOS les données géomagnétiques de ses deux stations belges de Dourbes et Manhay, et donne accès aux installations expérimentales du Centre de Physique du Globe de Dourbes. Enfin, le Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ) est responsable de la gestion du Global IOC Sealevel Station Monitoring Facility comme service de base pour le (candidat) TCS 'Tsunami'.

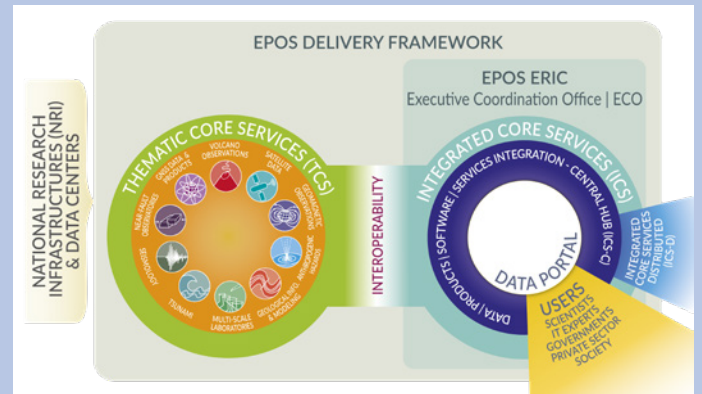
Dans cette publication, nous expliquons plus en détails les contributions de l'ORB à EPOS.



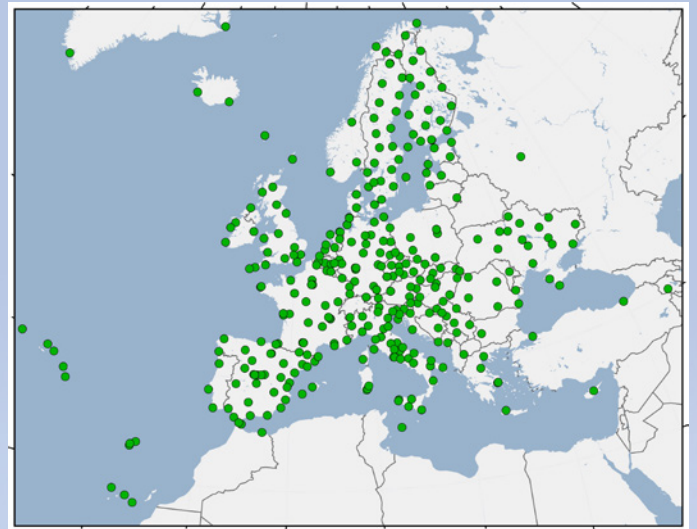
EPOS-BE : l'influence historique de l'ORB

Le projet de construction d'une infrastructure paneuropéenne pour le partage des données et des produits des sciences de la Terre remonte à plus de vingt ans. Initialement, la Belgique a été impliquée dans EPOS grâce à l'expertise scientifique de l'ORB. Lors de la phase préparatoire d'EPOS (Preparatory Phase; 2010-2014), l'ORB a été actif dans les groupes de travail axés sur la sismologie et les données GNSS (Global Navigation Satellite Systems).

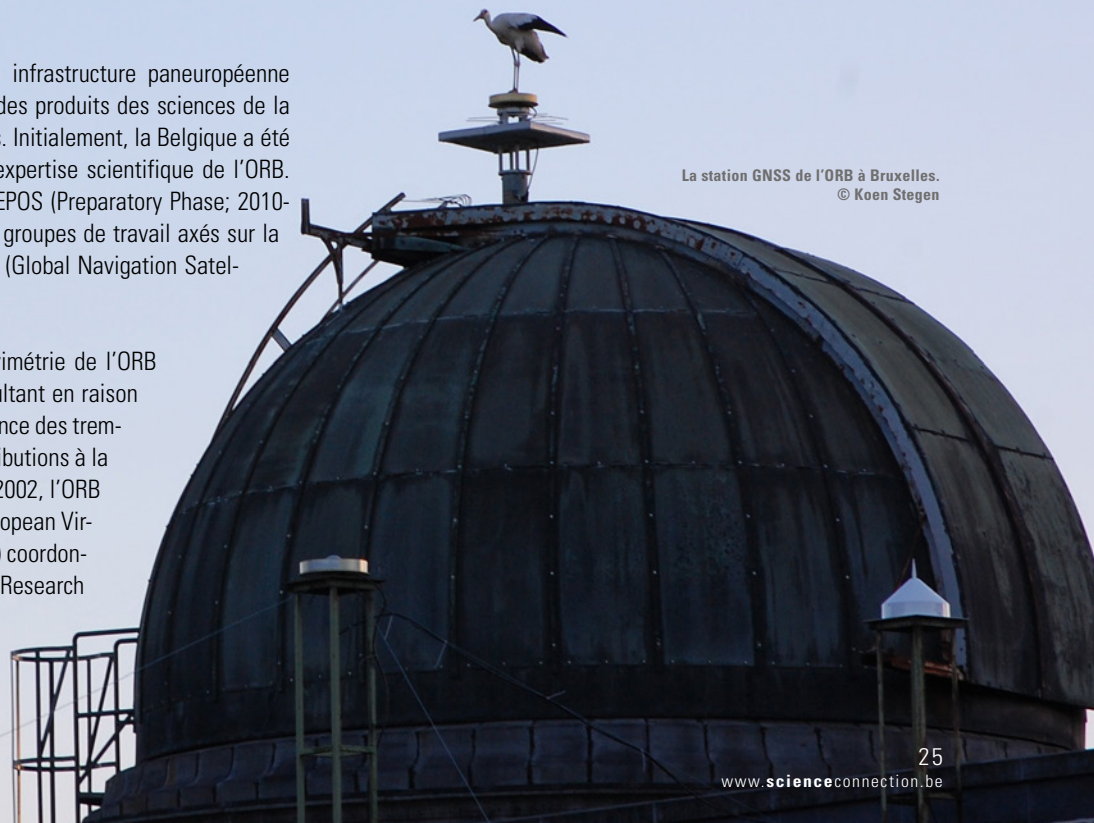
Le département Sismologie-Gravimétrie de l'ORB a été impliqué en tant que consultant en raison de son expertise dans la surveillance des tremblements de terre et de ses contributions à la recherche sismologique. Depuis 2002, l'ORB est membre du projet VEBSN (European Virtual Broadband Seismic Network) coordonné par ORFEUS (Observatories & Research Facilities for European Seismology). Le projet VEBSN est le fer



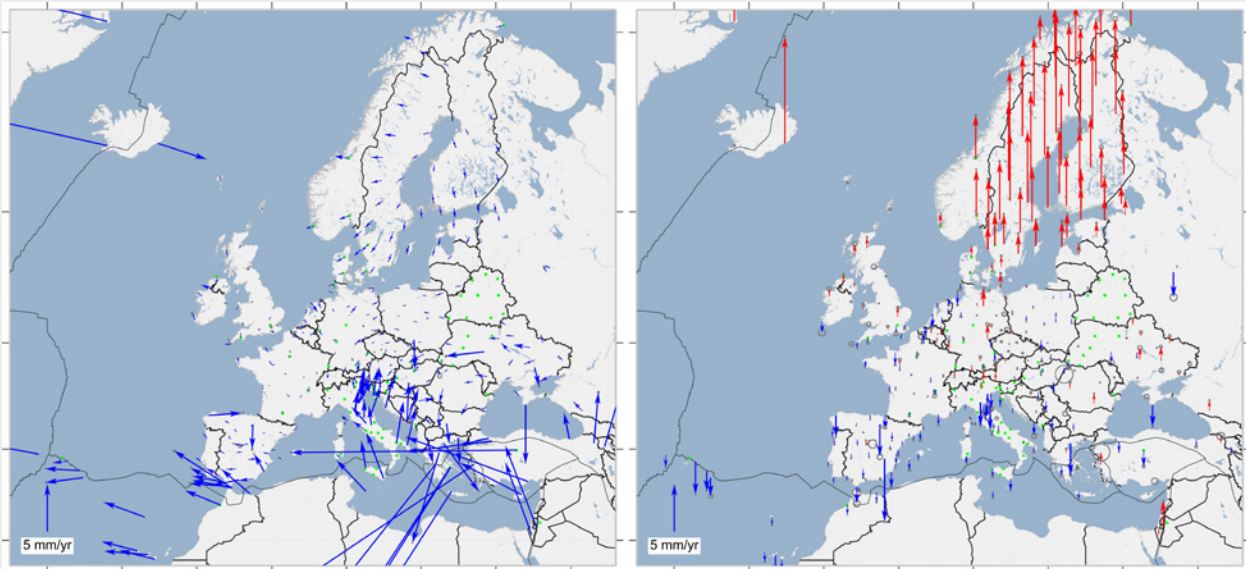
Les principaux éléments de l'architecture EPOS sont les institutions nationales de recherche (NRI), les disciplines thématiques (TCS) et le portail central de données (ICS). L'intégration des données et des services de base est supervisée par l'ERIC EPOS.



Les stations GNSS du réseau permanent d'EUREF (EPN) qui fournissent des données à EPOS.



La station GNSS de l'ORB à Bruxelles.
© Koen Stegen



Vitesses horizontales (à gauche) et verticales (à droite) des stations de l'EPN exprimées dans le système de référence ETRS89.

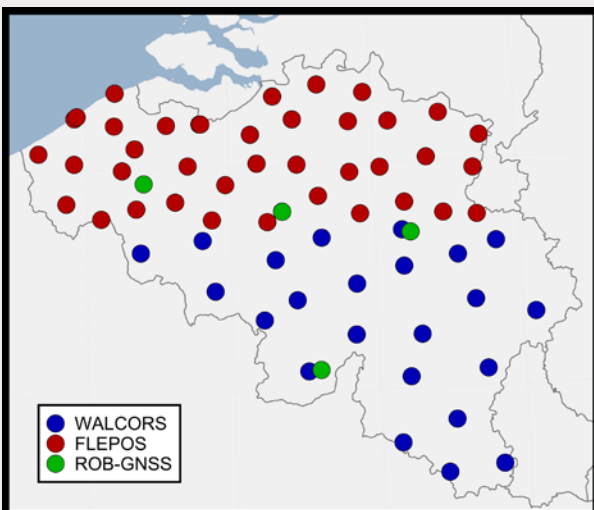
de lance de l'échange paneuropéen de données sismologiques à large bande de haute qualité entre les instituts de recherche nationaux et ORFEUS. ORFEUS, dont l'ORB est membre fondateur et fournisseur de données, est à son tour à l'origine d'EPOS, en collaboration avec l'EMSC (European-Mediterranean Seismological Centre) et l'EFEHR (European Facilities for Earthquake Hazard and Risk).

La discipline thématique 'GNSS Data & Products' d'EPOS repose sur le réseau permanent GNSS EUREF (EPN pour EUREF Permanent Network)⁵, qui comprend plus de 400 stations GNSS qui maintiennent le système de référence européen ETRS89 à la base du positionnement précis. Étant donné que l'ORB gère le Bureau

Central de l'EPN, et ce depuis la création de l'EPN en 1996, il a joué un rôle important en tant que coprésident du groupe de travail GNSS. Cette contribution a conduit à la participation de l'équipe ORB-GNSS aux projets européens EPOS-IP (Implementation Phase) et EPOS-SP (Sustainability Phase) qui ont respectivement mis en œuvre et ancré les premiers services EPOS. L'équipe ORB-GNSS a également été chargée de mettre en place le cadre juridique, administratif et financier du TCS 'GNSS Data & Products'.

La Politique scientifique fédérale belge (Belspo pour Belgian Science Policy Office) encourage la contribution des institutions scientifiques fédérales aux infrastructures de recherche paneuropéennes d'ESFRI telles que d'EPOS. Grâce aux projets EPOS-BE (2018-2023) et SERVE ESFRI-FED (2021-2024), l'ORB peut, entre autres, optimiser ses services internationaux en fonction des besoins d'EPOS, développer de nouvelles tâches principales au sein d'EPOS, mettre à niveau les stations GNSS et sismométriques pour les rendre conformes aux normes modernes, etc. Grâce à l'impulsion donnée par ces projets Belspo, l'ORB a pu progresser en tant que fournisseur de services EPOS de base et occuper une position clé au sein d'EPOS.

Nœud GNSS belge fournissant des données à EPOS. Ce nœud comprend les stations GNSS d'ORB-ROB, de Digitaal Vlaanderen (FLEPOS) et du Service public de Wallonie (WALCORS).



GNSS

Le TCS 'GNSS Data & Products' vise à fournir un accès aux données, métadonnées et produits GNSS dérivés de plus de 3000 (actuellement 1700) stations GNSS, permettant ainsi des mesures précises des déformations à la surface de la Terre (par exemple, suite à des éruptions volcaniques et des tremblements de terre). La contribution de l'ORB à EPOS-GNSS est triple : il est impliqué dans (1) la gouvernance et la coordination de l'EPOS ERIC et du Consortium GNSS, (2) la fourniture de divers services GNSS paneuropéens et (3) l'approvisionnement en données des stations GNSS belges.

Les services paneuropéens fournis par l'ORB à EPOS-GNSS sont basés sur des services similaires à EUREF. Ces services ont été améliorés ces dernières années, avec le soutien de Belspo, pour se conformer aux flux opérationnels d'EPOS et qui consistent en :

- A. Un centre de données paneuropéen rendant accessible à EPOS la collection de données de l'EPN (plus de 2 millions de fichiers de données), fournie par une centaine d'agences européennes.
- B. Un centre d'analyse qui calcule l'évolution temporelle des coordonnées des stations GNSS de l'EPN. Ces informations permettent de mesurer la déformation de la croûte terrestre, tant à l'échelle régionale qu'à l'échelle locale.
- C. Un système qui gère les métadonnées des stations GNSS intégrées dans EPOS (Metadata Management and Distribution System for Multiple GNSS Networks - M³G)⁶. Ce système recueille et valide, pour toutes les stations GNSS, la description détaillée du matériel et de l'installation physique des stations, ainsi que des informations sur la propriété des données et les conditions d'accès aux données.
- D. Un système qui contrôle la qualité et la disponibilité des données quotidiennes des stations EPOS-GNSS (Data Quality Monitoring Service - DQMS)⁷. Le contrôle de la qualité des observations recueillies par les stations GNSS-EPOS est essentiel pour l'interprétation géophysique des positions calculées des stations et de leur évolution dans le temps.

Outre les services susmentionnés, l'ORB fournit également des données GNSS belges à EPOS. La Belgique possède l'un des réseaux GNSS les plus denses au monde, ce qui offre un énorme potentiel pour la recherche scientifique. Avec le soutien de Belspo, l'ORB a établi un nouveau nœud national qui permet à EPOS d'accéder aux données de 73 stations GNSS belges qui

reçoivent les observations des satellites GPS, GLONASS et Galileo, entre autres. D'une part, le nœud comprend les stations GNSS gérées par l'ORB lui-même, qui ont été modernisées en 2021 avec l'aide du projet EPOS-BE. D'autre part, il rassemble également les données des stations GNSS appartenant à Digitaal Vlaanderen (FLEPOS) et au Service Public de Wallonie (WALCORS).

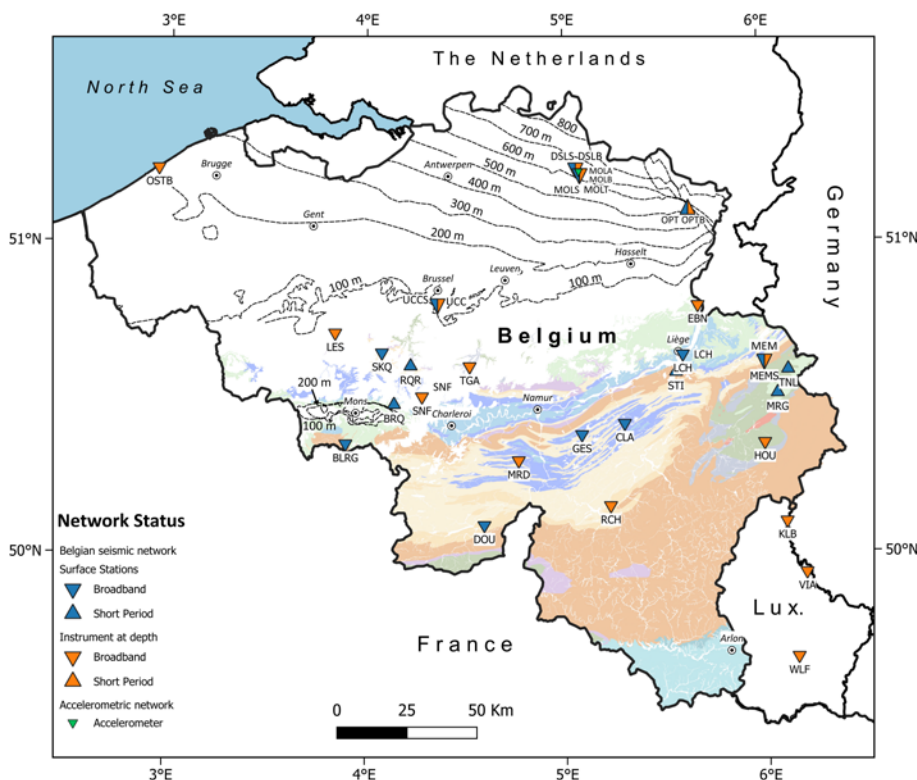
Sismologie

Le TCS 'Seismology' permet d'accéder à diverses informations sismologiques et relatives aux tremblements de terre (par exemple, des données sur les ondes sismiques, des banques de données contenant les tremblements de terres, leurs paramètres ou caractéristiques ainsi que des données sur le risque sismique et les mouvements du sol associés). Cette offre de données est basée sur le service fourni par trois institutions européennes indépendantes qui coordonnent et exploitent des services de données sismologiques : ORFEUS, EMSC et EFEHR.

Le département de Sismologie-Gravimétrie de l'ORB⁸ fournit plusieurs types de données à EPOS par l'intermédiaire des institutions européennes susmentionnées :

- A. Les données sur les ondes sismiques du réseau sismique belge sont partagées avec le Centre de données d'ORFEUS (ODC pour ORFEUS Data Center)⁹ qui fait partie de l'EIDA (European Integrated Data Archive). Actuellement, le réseau sismique en Belgique se compose de deux éléments : le réseau de sismomètres et le réseau d'accéléromètres. Les sismomètres enregistrent en continu les vibrations du sol avec une sensibilité réglée pour détecter les vibrations les plus légères, à peine supérieures au niveau de bruit. Ils enregistrent ainsi les ondes sismiques des

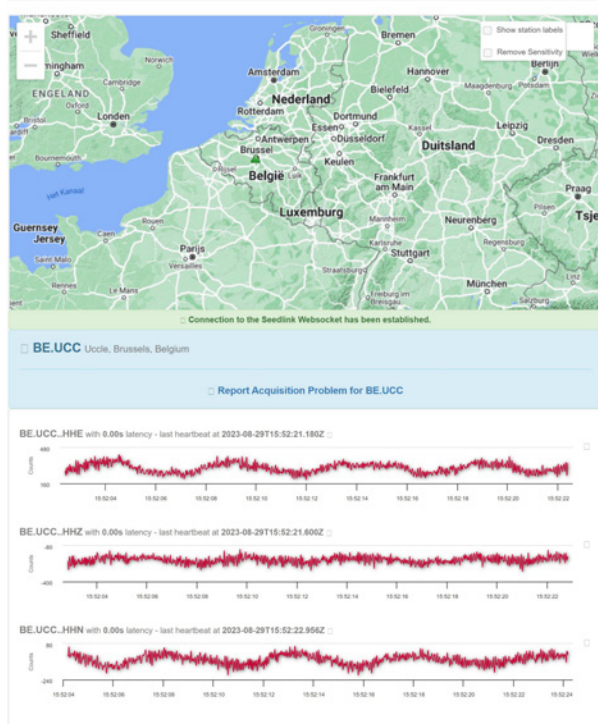
>>



Vue d'ensemble du réseau sismique et accélérométrique belge actuel après la mise à jour de certaines stations sismiques clés dans EPOS-BE. L'arrière-plan montre la géologie locale (Wallonie) et la profondeur du socle rocheux (Flandre).

Live Waveform Seedlink Websocket

This map shows stations archived by the ORFEUS Data Center and realtime data from Seedlink that is being archived. Select a station to subscribe to and receive data for its highest available sampling rate. It may take some moments for the first record to arrive. Stale connections are timed out after 60 seconds.



Exemple du portail Orfeus pour visualiser les données sismiques en temps réel (avec l'exemple du sismomètre d'Uccle).

tremblements de terre locaux et globaux. Les accéléromètres sont destinés à mesurer les forts mouvements du sol près des épicentres. Seules les données sur les ondes sismiques provenant des sismomètres permanents équipés de capteurs à large bande sont actuellement fournies à EPOS via ORFEUS, mais à partir de fin 2023, les données de l'ensemble du réseau sismique belge seront disponibles!

- B. Compilation d'informations macrosismiques sur les tremblements de terre historiques (pré-instrumentaux) détectés sur le territoire belge et européen. Ces données sont fournies à la base de données AHEAD (European Archive of Historical Earthquake Data)¹⁰ qui inventorie et diffuse des données historiques (1000-1899) sur l'histoire des tremblements de terre en Europe. Ces données sont nécessaires pour estimer l'impact des tremblements de terre.
- C. Les connaissances géologiques et paléosismologiques sur les principales failles sismiques en Belgique sont compilées dans la base de données EDSF (European Database of Seismogenic Faults)¹¹ gérée par l'EFEHR. L'EDSF recueille des informations publiées sur les failles sismiques actives en Europe, qui servent à l'analyse des risques sismiques, et les transmet à EPOS.

Tout au long du projet EPOS-BE, des mises à jour essentielles ont été apportées aux stations du réseau sismique belge afin de fournir des données de qualité modernes et de haute résolution. Dans un premier temps, les sismomètres conforme de six stations



Études sismologiques sur le terrain à proximité des stations sismiques permanentes à l'aide de *minions* (capteurs sismiques mobiles).

permanentes ont été remplacés par des capteurs à large bande pour mesurer les basses fréquences et étudier les données de base. Le réseau accélérométrique a également été renouvelé, de sorte qu'une surveillance continue est désormais possible. Ensuite, les principales stations sismiques ont fait l'objet d'une analyse géophysique de la subsurface grâce à des mesures en réseau effectuées à l'aide de 21 nouveaux sismomètres mobiles (capteurs sismiques Smartsolo à 3 composantes, également appelés *minions*). Les modèles de vitesse des ondes sismiques qui en résultent permettent de comprendre la structure du sous-sol et son influence sur la propagation des ondes, en amplifiant en amplifiant ou en affaiblissant l'impact à la surface.

Le futur

Le succès de l'infrastructure de recherche EPOS dépend largement de la quantité de données mises à disposition. Plus les données sont partagées, plus EPOS devient intéressant pour les scientifiques et les autres parties prenantes. L'un des objectifs du projet SERVE ESFRI-FED (Belspo) est de mieux faire connaître EPOS au niveau belge. D'autres institutions de recherche belges désireuses de mettre leurs services et/ou leurs données scientifiques à la disposition d'EPOS sont recherchées. Par ailleurs, une communication et une diffusion active permettront de faire comprendre l'importance de l'EPOS aux utilisateurs potentiels.

Notes

- (1) www.epos-eu.org
- (2) www.ics-c.epos-eu.org
- (3) www.esfri.eu
- (4) www.epos-be.eu
- (5) epncb.oma.be
- (6) gnss-metadata.eu
- (7) gnssquality-epos.oma.be
- (8) www.seismologie.be/fr
- (9) www.orfeus-eu.org
- (10) www.emidius.eu/AHEAD
- (11) www.seismofaults.eu