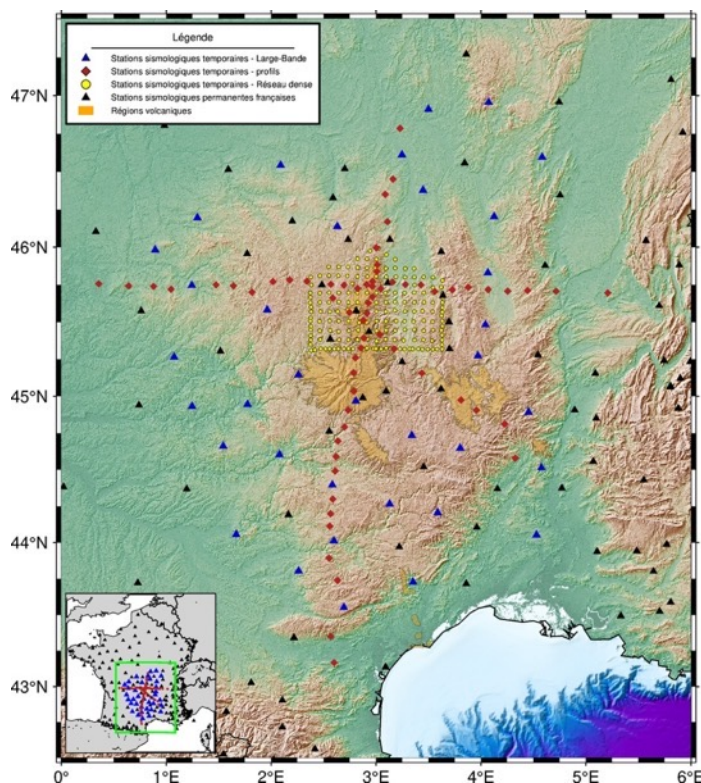


Lettre d'information n° 1

Août 2025



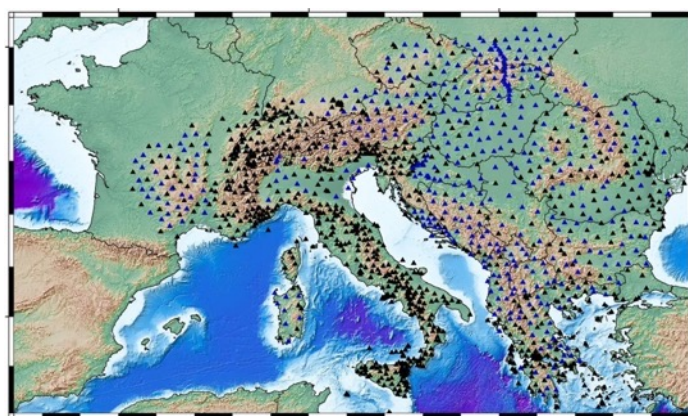
Carte des stations sismologiques permanentes et temporaires installées dans le Massif Central depuis février 2023

Editorial

Nombreux sont les communes et les particuliers qui ont accepté de s'impliquer dans notre projet **MACIV** en hébergeant nos stations sismologiques temporaires dans des bâtiments communaux, caves, ou jardins. Nous leur adressons nos plus sincères remerciements : leur contribution a été essentielle à la mise en œuvre de ce projet. Nous espérons que cette lettre d'information retiendra votre attention et vous permettra de suivre les avancées de nos travaux avec intérêt.

Le projet MACIV (Imagerie sismique multi-échelle du Massif Central)

Certains volcans du Massif Central sont considérés comme potentiellement actifs puisque les dernières éruptions datent de moins de 10000 ans (-6700 ans, Lac Pavin). Pourtant, les connaissances géophysiques sur les origines du volcanisme dans cette région se limitent au modèle de la dernière expérience d'imagerie sismique, réalisée il y a plus de 30 ans.



Carte des stations permanentes et temporaires installées dans le cadre du projet européen AdriaArray

MACIV est un projet de recherche fondamentale associant les laboratoires de sciences de la Terre de Grenoble (ISTerre), de Clermont-Ferrand (LMV) et de Toulouse (IRAP & GET). Le projet a été financé pour 5 ans (2023-2028) par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Son objectif principal est de mieux comprendre les sources du volcanisme intra-plaque en profondeur en mettant en œuvre les méthodes de tomographie sismique les plus innovantes. Pour réaliser cette étude, des réseaux sismologiques multi-échelles ont été déployés en 2023 et 2024 sur l'ensemble du Massif Central. Un réseau dense de 625 stations sismologiques de type « nodes » viendra compléter ces installations à l'automne 2025.

Les données acquises avec ces instruments serviront à calculer des images de la structure géologique du sous-sol jusqu'à environ 400 km de profondeur. Ces techniques d'imagerie permettent de scruter l'intérieur de la Terre, tout comme l'échographie médicale permet de scruter l'intérieur du corps humain.

L'ossature du projet est formée par les réseaux sismologiques permanents français (triangles noirs dans les cartes ci-dessus), complétés par 35 stations temporaires (triangles bleus) déployées entre le 28 février 2023 et le 24 janvier 2024. Ce réseau dit « large-bande » couvre l'ensemble du Massif Central. Il constitue aussi la contribution française au grand projet Européen AdriaArray, dans lequel 1515 stations sismologiques ont été installées du Massif Central aux Carpates (Bulgarie, Roumanie).

En 2024, ce réseau grande échelle a été complété par l'installation de 65 stations sismologiques temporaires le long de 3 profils traversant les principales provinces volcaniques, chaîne des Puys, Monts Dore, Sancy, Cantal et Cézallier (losanges rouges sur la carte de gauche).

Enfin, en octobre 2025, un réseau dense de 625 sismomètres miniatures et autonomes, dits « nodes », sera déployé pendant un mois sur la Chaîne des Puys et les Monts Dore (cercles jaunes sur la carte de gauche, montrant le réseau dense de grande ouverture constitué de 167 nodes).

Si le code de la station que vous hébergez commence par « FR » (ex.: FR21A), elle fait partie du réseau large-bande grande échelle du projet MACIV.

Si ce code débute par « MN » (ex. MN04A), la station fait partie du profil nord-sud. S'il débute par « ME » (ex. ME25A), la station fait partie du profil est-ouest et s'il débute par « MD » (ex. MD04A), elle fait partie du profil diagonal nord-ouest – sud-est.

Qu'est-ce qu'une station sismologique?

Une station sismologique est composée:

- d'un capteur, ou sismomètre, sensible aux vibrations du sol dans les 3 directions (verticale haut-bas, horizontale nord-sud, et horizontale est-ouest);
- d'un numériseur qui permet de numériser le signal analogique issu du capteur et de l'enregistrer sur une carte-mémoire; il inclut un récepteur GPS pour la datation des signaux à la milliseconde près;
- d'une source d'alimentation (batterie reliée à des panneaux solaires ou au 220V);
- d'un modem pour transmettre les données directement vers le laboratoire ISTerre.



*Sismomètre Trillium-120QA
utilisé à certaines stations du
réseau large-bande MACIV*



Numériseur Centaur - 3C



*Sismomètre TC20-PH utilisé à
toutes les stations des profils
MACIV*



*Modem routeur 3G/4G
(technologie mobile)*

Nodes : stations sismologiques autonomes

Ces capteurs, qui seront installés à l'automne 2025 pour un mois, comptent parmi les appareils les plus compacts du marché. Ils contiennent les éléments essentiels à une acquisition sismologique: un numériseur (boîtier beige sur la photo ci-contre), un capteur (boîtier bleu), un GPS intégré et une batterie miniaturisée (dans le boîtier beige).



Sélection des sites

Pour garantir la qualité de nos enregistrements, nous devons sélectionner des sites aussi éloignés que possible de toute source de bruit, notamment d'origine anthropique. La sécurité du matériel est aussi un critère important. Nous recherchons donc le meilleur compromis entre sécurité et qualité du site.

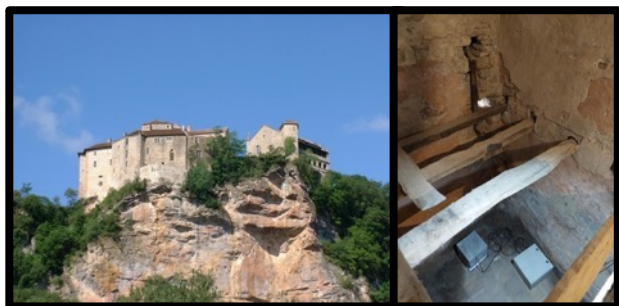
Les variations de température induisent des mouvements de convection de l'air autour du capteur qui sont une source importante de bruit. Pour les capteurs les plus sensibles (réseau large-bande), nous isolons le capteur des variations de température (voir photo ci-contre).



Station sismologique FR07A installée dans la cave d'un bâtiment communal de St-Sornin-Leulac (87).

Le capteur est placé sur une dalle en béton sous une capuche isolante. Le numériseur et la batterie sont dans la caisse en aluminium à l'arrière. L'antenne GPS est placée à l'extérieur du bâtiment.

Quelques stations du réseau sismologique MACIV



Station du Château de Bruniquel (82)
XP.FR30A



Station de l'observatoire de Frons – Thérondels (12)
XF.MN19A



Station de Valvignères (07)
XP.FR26A



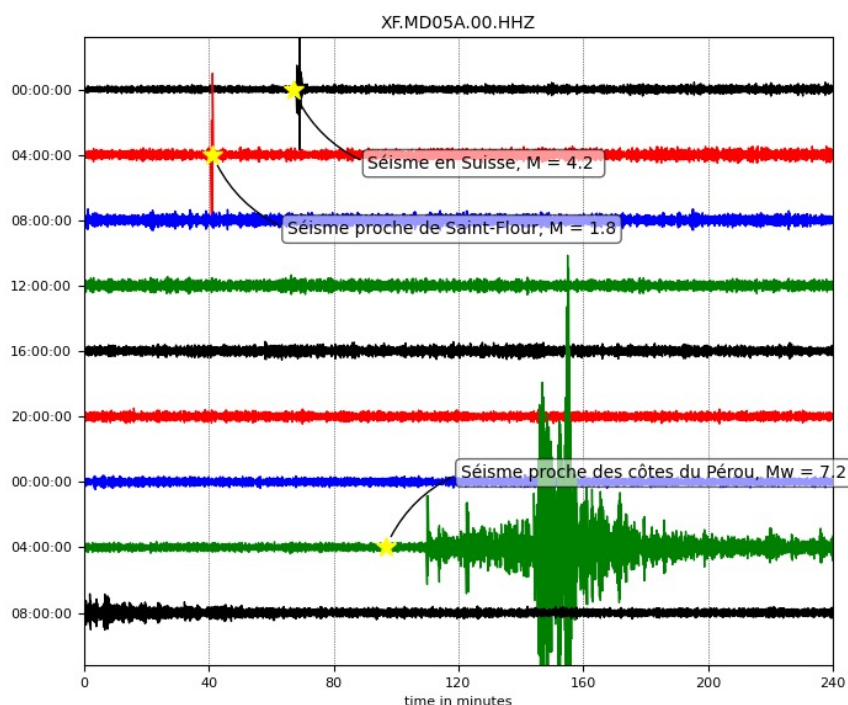
Station du Buron de la combe de la Saure, Brezons (15)
XF.MN18A

Qu'enregistrons-nous?

Un sismomètre est extrêmement sensible puisqu'il est capable de détecter les vibrations du sol déclenchées par le passage des ondes sismiques émises par un séisme de magnitude 5,5 à plusieurs milliers de kilomètres.

Il détecte également les vibrations du sol générées continuellement par l'interaction des vagues avec les côtes océaniques, les tempêtes de l'Atlantique nord en hiver et celles de l'océan Indien ou Pacifique sud en été, y-compris dans une région aussi continentale que le Massif Central. Ce signal continu est appelé bruit microsismique.

Enfin, le sismomètre détecte tous les événements capables de produire des vibrations du sol dans son voisinage, comme une avalanche de neige, un éboulement, le vent dans les arbres, le passage d'une voiture, d'un animal ou d'une personne, les sonneries d'une cloche, etc... (voir figure ci-dessous).



Enregistrement de la station sismologique de Chilhac (XF.MD05A, 43)

Cet enregistrement couvre 36 heures d'observation du 27 juin 2024, 0h (TU) au 28 juin, 12h (TU), pour la composante verticale des vibrations du sol. Chaque ligne représente un intervalle de 4 heures de mesure, dont l'heure de démarrage est indiquée à gauche (en temps universel, TU); les couleurs alternent (noir, rouge, bleu, vert) pour faciliter la lecture.

Durant ces deux jours de mesures, trois séismes ont été enregistrés par la station à des distances épicentrales (séisme-station) très différentes; les étoiles jaunes montrent l'heure-origine du séisme:

- Un séisme modéré (magnitude $M=4.2$) localisé près de Bâle (Suisse), le 27 juin à 1h06 (TU).
- Un petit séisme ($M=1.8$), localisé près de Saint-Flour (15), le 27 juin à 4h41 (TU, 6h41 locale).
- Un puissant séisme au large du Sud-Pérou ($M_w=7.2$), enregistré le 28 juin à partir de 5h49 (TU).

Ce graphique illustre la sensibilité de la station, capable de détecter un séisme local de faible magnitude (Saint-Flour) comme les ondes émises par un grand séisme à l'autre bout du monde (Sud-Pérou).

On peut ainsi observer que les ondes les plus rapides générées par le séisme du Pérou ont mis environ 13 minutes à parcourir les 10 300 km qui les séparaient de la station. Leur passage laisse une trace bien visible sur l'enregistrement, étalée dans le temps sur près de 3 heures en raison de la complexité de la propagation des ondes à travers toute la Terre.

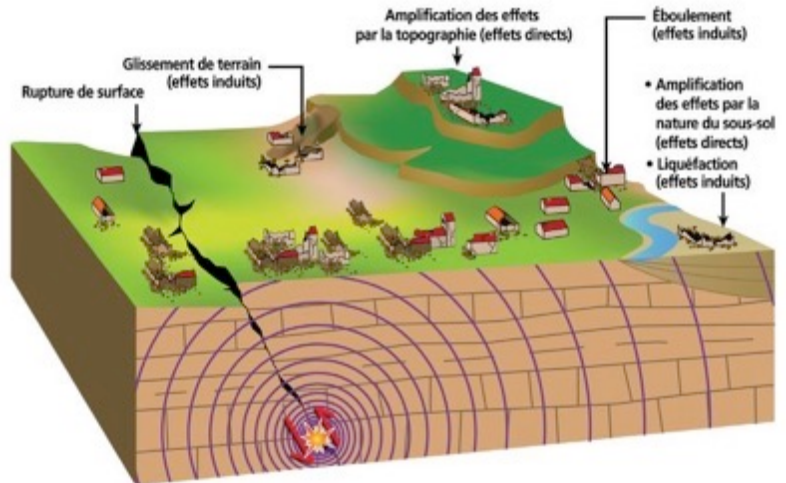
Quelques éléments de sismologie

La sismologie est une discipline scientifique qui s'intéresse aux séismes et à la propagation des ondes sismiques à la surface et à l'intérieur de notre planète.

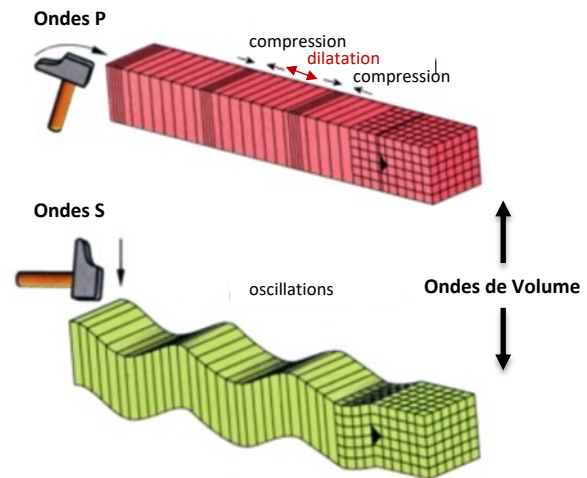
Un séisme, ou tremblement de Terre, est provoqué par la fracture brutale de roches du sous-sol, le long d'une faille. Cette rupture génère des ondes sismiques qui se propagent dans la Terre et la font trembler en atteignant sa surface (voir figure ci-contre).

La magnitude du séisme est une mesure de l'énergie relâchée lors de la rupture.

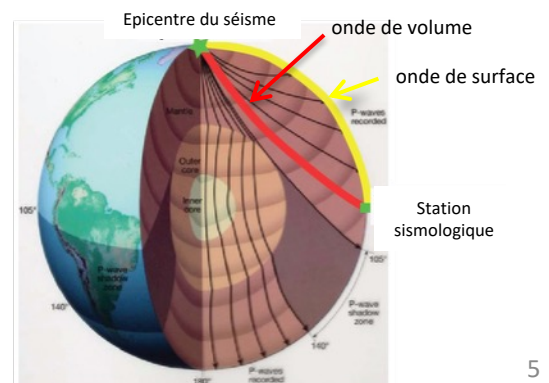
L'intensité est une mesure des dommages produits en surface par les vibrations du sol dues au passage des ondes sismiques.



Un séisme émet plusieurs types d'ondes élastiques qui se propagent dans toute la Terre. Celles qui se propagent le plus rapidement sont les ondes de volume. Elles sont de deux types: les ondes de compression, dites P car elles arrivent en premier aux stations, et les ondes de cisaillement, dites S car elles arrivent en second. Leur passage produit des vibrations du sol dans des directions différentes (voir figure ci-contre).



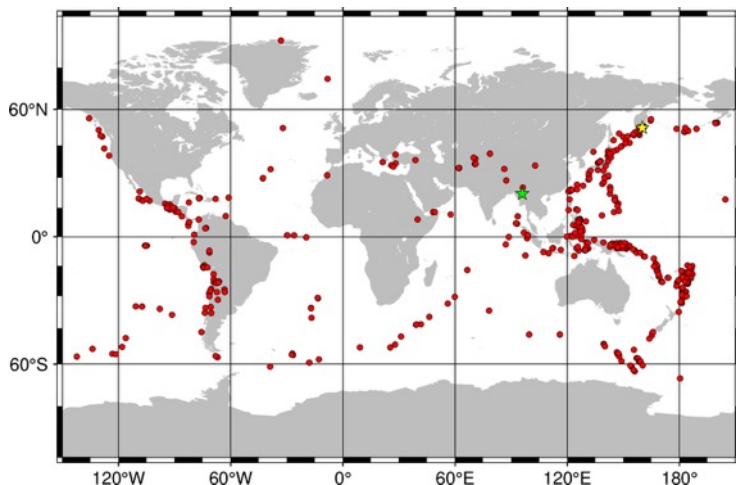
Sur le schéma ci-contre, sont représentés les trajets suivis par les ondes sismiques émises par un séisme (étoile verte) et qui se propagent à l'intérieur et à la surface de la Terre. Une station située à 90° de distance épicentrale (environ 10 000 km) enregistre des ondes de volume, P et S, qui ont traversé le manteau (trajet rouge). Elle enregistre également des ondes de surface, qui, comme leur nom l'indique se propagent à la surface de la Terre, dans la croûte et le manteau supérieur (trajet jaune).



Séismes lointains (ou télé-séismes)

Pendant les 29 premiers mois de l'expérience (du 01/03/2023 au 31/07/2025), nous avons enregistré 504 séismes de magnitude supérieure à 5,8, répartis à la surface du Globe. Leurs épicentres sont représentés sur la carte ci-contre.

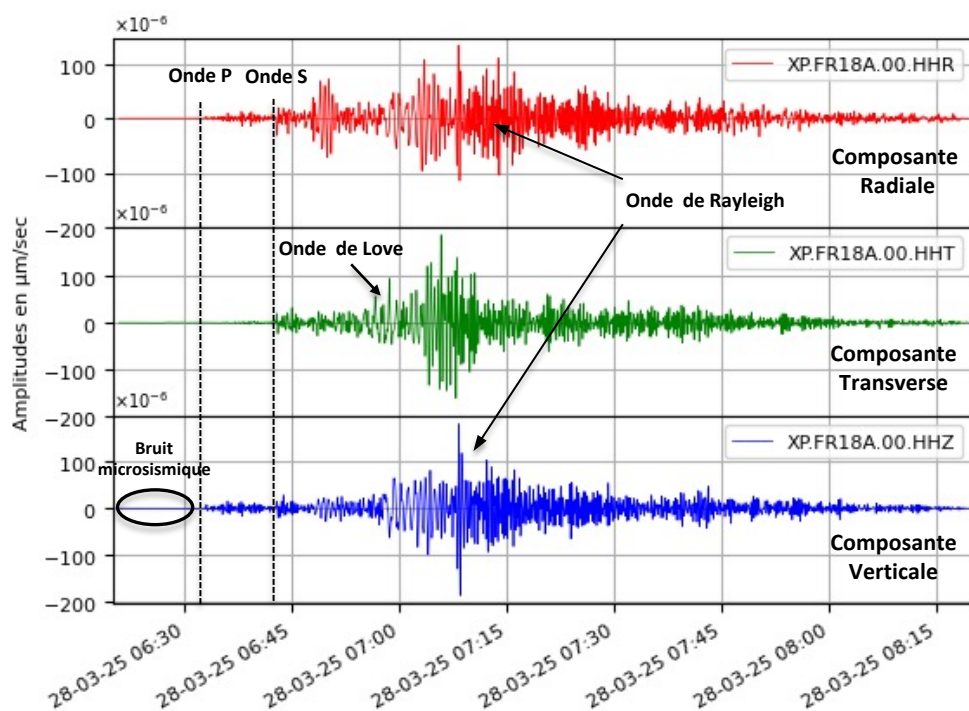
On peut noter que la majorité sont localisés aux frontières des plaques tectoniques, notamment sur les zones dites de subduction autour de l'océan Pacifique (côte ouest des Amériques, Japon, Papouasie-Nouvelle Guinée, etc.).



Carte des épicentres des télé-séismes de magnitude supérieure à 5,8 enregistrés du 01/03/2023 au 31/07/2025. L'étoile verte montre l'épicentre du séisme du Myanmar du 28/03/2025 (M 7,7). L'étoile jaune montre l'épicentre du séisme du Kamchatka (M 8,8) du 29/07/2025.

Télé-séisme du 28/03/2025, localisé à Mandalay (Myanmar), de magnitude 7.7

La figure ci-dessous présente l'enregistrement du séisme du 28 mars 2025, survenu près de Mandalay (Myanmar, magnitude 7.7), tel qu'il a été enregistré par la station XP.FR18A du réseau sismologique large-bande implantée dans la commune de Brezons (Cantal). La distance épicentrale entre l'événement et la station est de 8550 km. Les enregistrements montrent les mouvements du sol dans les trois directions : horizontale radiale (en rouge, orientée vers l'épicentre), horizontale transverse (en vert, perpendiculaire à la direction de l'épicentre), et verticale (en bleu).



On distingue les ondes de volume, **P** puis **S**, sur les trois composantes.

L'onde **P** arrive **11mn 51s** (711s) après l'heure-origine du séisme et l'onde **S** **21mn 38s** (1298s) après l'heure-origine.

Viennent ensuite les ondes de surface: **onde de Love** sur la composante transverse, puis **onde de Rayleigh** sur les composantes verticale et radiale.

Noter que les vibrations du sol induites par le passage des ondes émises par le séisme durent plus de 2 heures.

Au large de la péninsule du Kamchatka en Russie, séisme de magnitude Mw 8.8, le 29 juillet 2024 à 23:24:52 TU

Il s'agit du séisme de plus forte magnitude depuis celui de Tohoku, au large du Japon, survenu le 11 Mars 2011 (Mw=9.1), et du 8^{ème} plus fort séisme enregistré par les réseaux sismologiques mondiaux (voir table ci-contre, séismes de magnitude supérieure à 8,8 de 1900 à 2025).

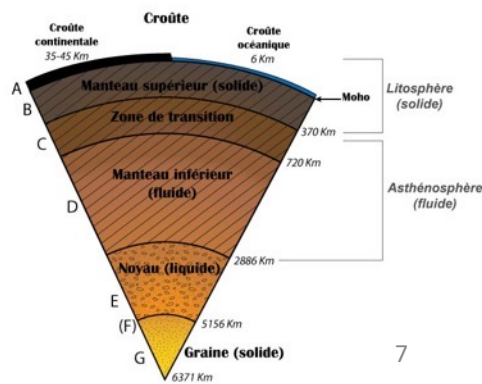
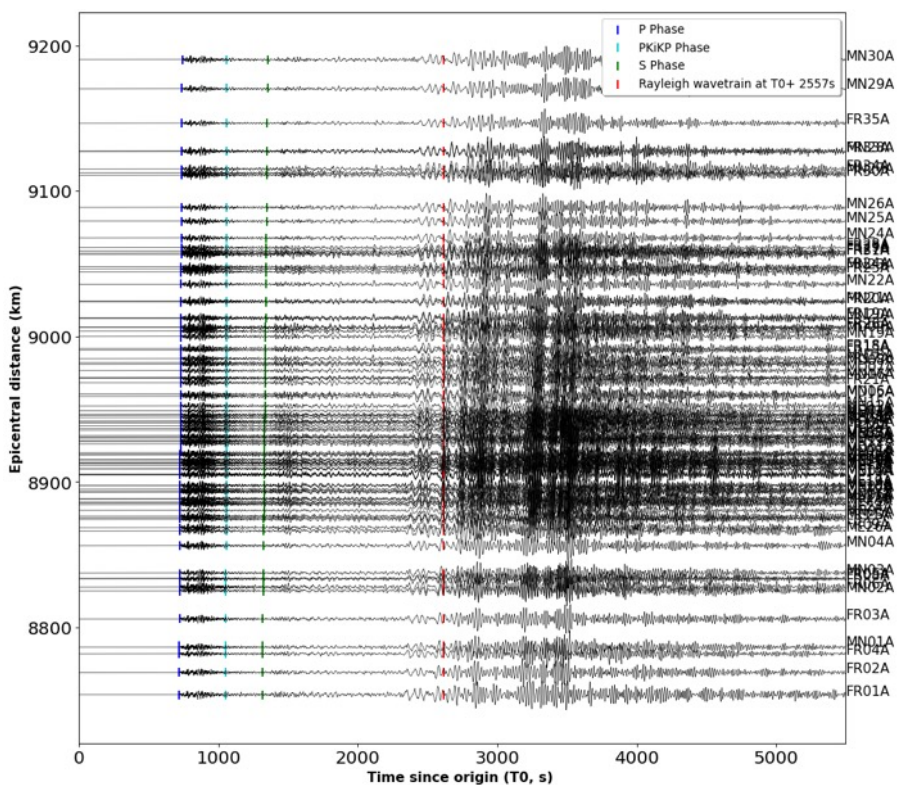
La figure ci-dessous montre les enregistrements des mouvements verticaux du sol (sismogrammes) provoqués par le séisme du 29/07/2025 aux stations sismologiques du projet MACIV. Le temps 0 est l'heure-origine du séisme (déclenchement de la rupture sur la faille source). Les sismogrammes sont rangés par distance épacentrale croissante, de la station la plus proche, FR01A (Saint-Prix-en-Morvan, 71) à la plus lointaine, MN30A (Comigne, 81).

La carte montre la localisation de l'épicentre du séisme (étoile jaune), du réseau MACIV (point bleu) et du trajet des ondes sismiques entre source et stations (courbe rouge). Les ondes sismiques, qui suivent le trajet le plus court entre le Kamchatka et le Massif Central arrivent sur le réseau par le nord-est.

Notez que les distances épacentrales sont mesurées en km. L'échelle des temps est en secondes, de 0, heure-origine du séisme, à 5500s soit 1h 31mn 40s. Nos capteurs ont donc enregistré les vibrations du sol liées au passage des ondes sismiques générées par le séisme à près de 9000 km de distance et pendant plus d'une heure et demie après le séisme.

Date & Heure (TU)	Latitude	Longitude	Profondeur (km)	Magnitude (Mw)	Lieu
2025-07-29T23:24:52	52.51	160.32	35	8.8	Kamchatka Peninsula, Russia
2011-03-11T05:46:24	38.30	142.37	29	9.1	Tohoku, Japan
2010-02-27T06:34:11	-36.12	-72.90	22.9	8.8	Maule, Chile
2004-12-26T00:58:53	3.30	95.98	30	9.1	Sumatra, Andaman Islands
1964-03-28T03:36:16	60.91	-147.34	25	9.2	Prince William Sound, Alaska
1960-05-22T19:11:20	-38.14	-73.41	25	9.5	Valdivia, Chile
1952-11-04T16:58:30	52.62	159.78	21.6	9	89 km ESE of Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia
1906-01-31T15:36:10	0.96	-79.37	20	8.8	Ecuador-Colombia

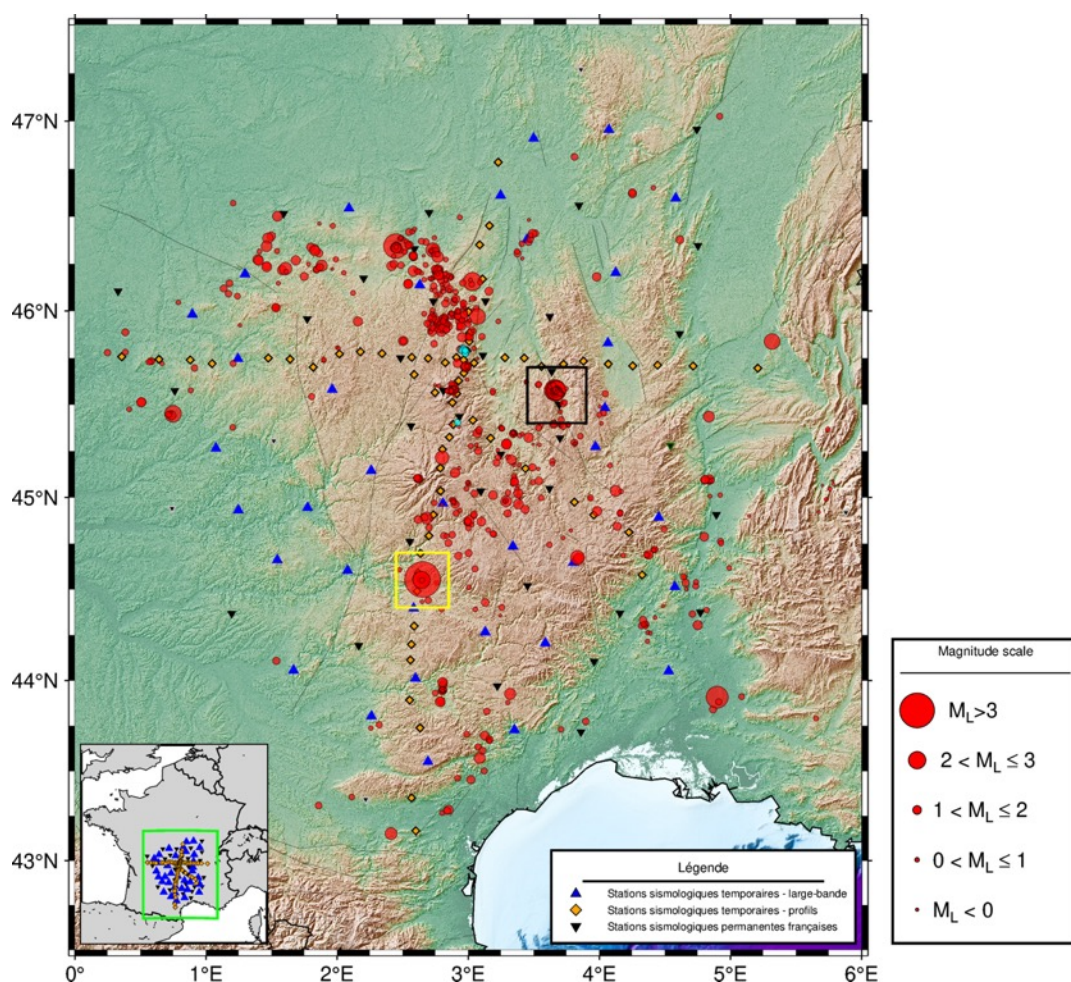
Notez les arrivées des ondes P (vers 732s), S (vers 1340s) et de surface (vers 2500s). Différentes ondes P et S qui ont suivi des trajets différents à l'intérieur de la Terre arrivent à des temps voisins. Par exemple, le paquet d'ondes P vers 1000s est formé des ondes PKiKP qui ont traversé toute l'épaisseur du manteau, puis le noyau externe, se sont réfléchies à l'interface noyau externe/noyau interne à 5100 km de profondeur et sont remontées vers la station sismologique à la surface. Au début du XX^{ème} siècle, les premiers enregistrements des ondes produites par des séismes lointains comme celui-ci ont permis de comprendre que la Terre est constituée d'un manteau solide de 2900 km d'épaisseur, d'un noyau externe de fer liquide de 2900 km à 5100 km de profondeur et d'une graine solide, ou noyau interne, entre 5100 km et le centre de la Terre, à 6372 km de la surface (voir figure en bas à droite).



Travaux en cours: suivi de la sismicité du Massif Central

Du 1^{er} juin 2023 au 1^{er} août 2025, **1146 séismes** de magnitude très faible à modérée ont été détectés et localisés dans le Massif Central par notre système de localisation automatique. Leurs épicentres sont représentés par des cercles rouges sur la carte ci-dessous. Ce travail permet d'identifier les principales zones d'activité sismique du Massif Central. La région des **Combrailles**, au nord-ouest de Clermont-Ferrand, est la plus active, à la fois par le nombre de séismes et leur magnitude. Dans les régions des **Monts-Dore** et du **graben d'Ambert**, on observe surtout des **essaims sismiques** : ce sont des séries de petits tremblements de terre rapprochés dans le temps. L'un des plus marquants pendant cette période a eu lieu du 16 au 20 mai 2024, avec **271 secousses** détectées dans la région d'Ambert (zone encadrée en noir sur la carte).

Le **séisme le plus important** enregistré durant cette période s'est produit entre Aurillac et Rodez, **près de Sébrazac dans l'Aveyron**. D'une magnitude M_L 3.7 (magnitude estimée par le BCSF-ReNaSS), il a eu lieu le 31 juillet 2025 à 02h53 TU. Il a été suivi d'une **petite dizaine de répliques**, visibles dans la zone encadrée en jaune sur la carte.



Carte de sismicité du Massif central pour la période du 1^{er} juin 2023 au 1^{er} août 2025. La taille des cercles rouges est proportionnelle à la magnitude des séismes. Les triangles et losanges correspondent aux stations temporaires du projet MACIV, tandis que les triangles inversés représentent les stations permanentes utilisées pour la surveillance sismique.

La zone encadrée en noir sur la région d'Ambert met en évidence l'essaim sismique de mai 2024. La zone encadrée en jaune montre l'épicentre du séisme de Sébrazac du 31/07/2025 à 02:53:36 TU (M_L 3.5) et de ses répliques.

Les cercles de couleur cyan montrent les épicentres des séismes dits « longue période profonds » récemment découverts (voir page suivante).

Découverte de séismes profonds sous les volcans récents du Massif Central

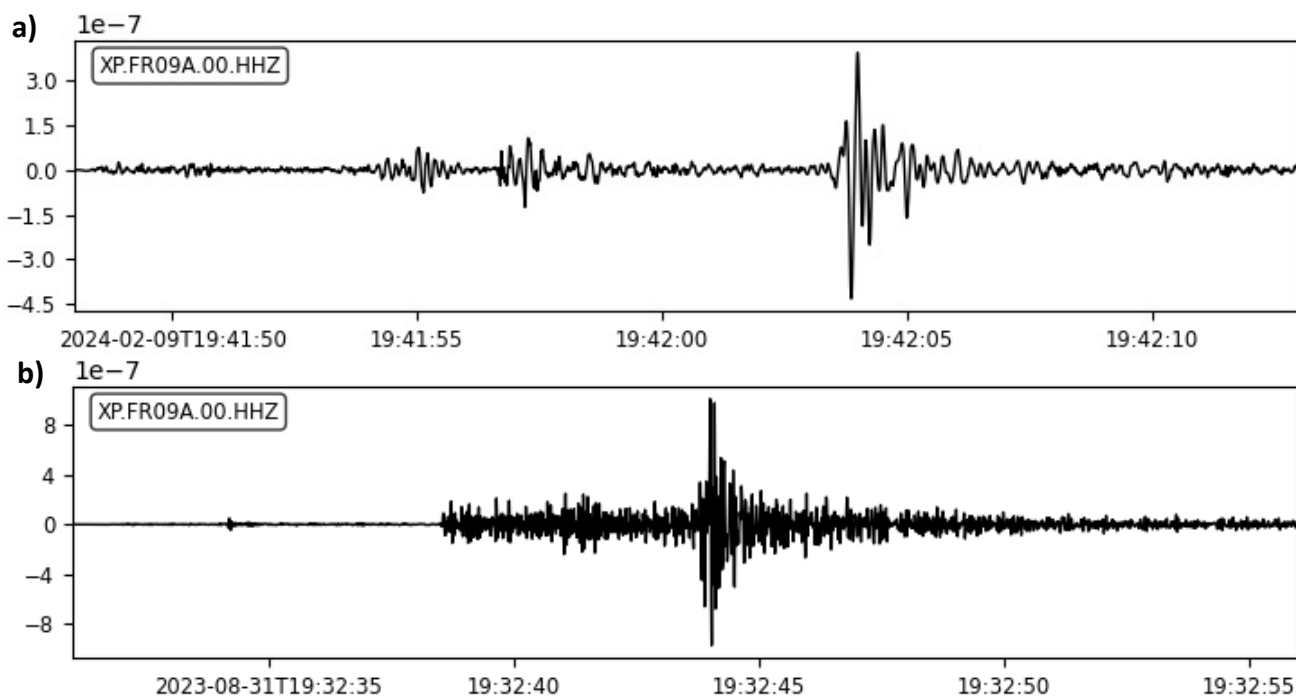
L'analyse des données sismiques a permis d'identifier quelques **séismes particuliers** dits "**longue période profonds**" (DLP en anglais), situés vers **30 km de profondeur**, près de la **limite entre la croûte et le manteau**. Ces séismes ont été localisés **sous le Puy-de-Dôme et la région du Pavin**, qui sont parmi les **volcans les plus récents du Massif central**. Leurs dernières éruptions datent d'environ 10 000 ans. Les épicentres des DLP sont indiqués en cyan sur la carte de la page précédente.

Contrairement aux séismes plus classiques (tectoniques), les signaux émis par ces DLP présentent **peu de hautes fréquences** (au-dessus de 10 Hz), ce qui est caractéristique de séismes liés à des processus magmatiques profonds (voir sismogrammes ci-dessous). Ce type de séisme, déjà observé sous d'autres volcans dans le monde, est souvent lié à la présence de **magma en profondeur**. Leur détection suggère que des **réservoirs magmatiques profonds** sont **encore actifs** sous certaines zones du Massif central.

Le contexte géologique des volcans récents du Massif Central est **comparable à celui du Massif de l'Eifel** en Allemagne, où des volcans endormis depuis des millénaires montrent des signes de reprise d'activité depuis quelques années. Jusqu'à présent, cette reprise d'activité est heureusement restée confinée à la croûte moyenne à profonde.

Un enjeu important pour la surveillance volcanique

Cette découverte apporte un nouvel éclairage sur **l'état des systèmes volcaniques** dans la région, et marque une étape importante pour mieux comprendre l'évolution du volcanisme à long terme dans le Massif central.



Enregistrements (composante verticale) de deux petits séismes à la station temporaire XP.FR09A (Saint Fargeol, 03). Les signaux sont filtrés dans une bande de fréquences allant de 2 à 30 Hz, et sont représentés sur une même durée en fonction du temps écoulé depuis l'heure-origne de l'événement.

- a) Séisme DLP enregistré le 9 février 2024 à 19:41:48 TU dans la région du Puy de Dôme, hypocentre à 33,5 km de profondeur et magnitude locale (ML) de 1,4.
- b) Séisme classique enregistré le 31 août 2023 à 19:32:31 TU à l'ouest de Volvic, hypocentre à 14,9 km de profondeur et magnitude locale (MI) de 1,4.

Notez la différence de formes d'onde, avec un signal qui semble « onduler » plus rapidement pour le séisme classique en (b) que pour le DLP en (a). Ceci traduit la différence de contenu fréquentiel.

La suite du projet : déploiement d'un réseau dense de nodes en octobre 2025

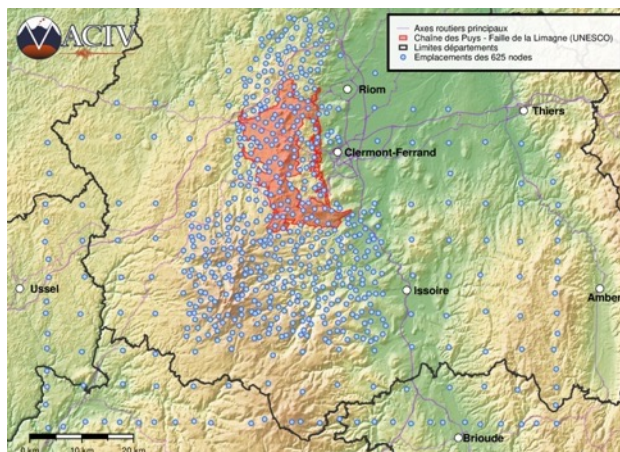
625 sismomètres seront installés pendant un mois (octobre 2025) sur la région de la Chaîne des Puys et des Monts-Dore (cercles bleu clair sur la carte ci-contre).

L'objectif de cette expérience est d'obtenir une image détaillée des systèmes volcaniques entre 0 et 10 km de profondeur.

Les sismomètres seront déployés en trois sous-réseaux:

- Un réseau peu dense couvrant toute la région d'étude (distance entre capteurs 7 km)
- Deux réseaux denses (distance entre capteurs 1.5-2 km) sur la Chaîne des Puys et les Monts-Dore

Nous déploierons des stations sismologiques autonomes dites « nodes ». La photo d'une station de ce type est montrée ci-contre; elle est composée d'un capteur enterré de quelques centimètres et d'un enregistreur posé à la surface.



Carte de l'expérience MACIV-nodes de l'automne 2025



Photo d'un node (capteur enterré)

Epilogue

L'analyse des données acquises par les réseaux sismologiques temporaires du projet MACIV et leur interprétation prendront quelques années aux sismologues, géologues et volcanologues du projet. Nous sommes actuellement encore à la recherche de financements pour le salaire de doctorants.

Deux premières publications scientifiques (en anglais) issues du projet sont toutefois déjà parues dans des revues internationales, l'une décrivant les dispositifs expérimentaux, et l'autre la découverte des séismes DLP décrits page 9.

Des travaux vont démarrer dès l'automne 2025 sur l'imagerie de la structure profonde du Massif Central dans son intégralité (croûte et manteau supérieur jusqu'à environ 400 km de profondeur), et de la croûte supérieure sous les zones volcaniques de la chaîne des Puys et de la région Cézalier-Monts-Dore grâce au réseau dense de nodes.

Les données acquises dans le cadre du projet, financé sur fonds publics, seront ouvertes en intégralité à l'ensemble de la communauté scientifique dès mi-2026. Cette ouverture garantira l'utilisation de ces précieuses données par un ensemble large de chercheurs, assurant une valorisation optimale à la mesure de l'effort expérimental.

Vous pouvez suivre l'évolution du projet sur son site web (en français): <https://maciv.osug.fr> que nous mettons régulièrement à jour. Une prochaine lettre d'information vous parviendra dans environ un an.

En espérant que la lecture de ce document vous aura intéressés, nous vous remercions une fois de plus pour l'aide que vous avez bien voulu nous apporter.

A Grenoble, le 29 août 2025,
Coralie Aubert, Guilhem Scheiblin & Anne Paul
coralie.aubert@univ-grenoble-alpes.fr
guilhem.scheiblin@univ-grenoble-alpes.fr
anne.paul@univ-grenoble-alpes.fr

Annexe: coordonnées des stations du réseau large bande (code XP)

Nom de la station	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Lieu
FR01A	46.96	4.07	457	Saint Prix - 71
FR02A	46.91	3.50	271	Thianges
FR03A	46.61	3.25	239	Montilly - 03
FR04A	46.60	4.58	300	Burzy - 71
FR05A	46.54	2.09	252	La Motte Feuilly - 36
FR06A	46.38	3.45	140	Saint Gerand De Vaux - 03
FR07A	46.20	1.30	841	Saint Sornin Leulac - 87
FR08A	46.20	4.12	410	Fleury la montagne - 71
FR09A	46.14	2.63	550	Saint Fargeol - 03
FR10A	45.98	0.90	289	Montroulet - 16
FR11A	45.83	4.06	351	Pommiers-en-Foréz-42
FR12A	45.75	1.24	289	Solignac - 87
FR13A	45.58	1.96	780	Pérols sur Vézère - 19
FR14A	45.51	4.04	740	Soleymieux - 42
FR14B	45.48	4.04	850	Marols - 42
FR15A	45.27	1.07	184	Tourtoirac – 24
FR16A	45.27	3.97	841	Saint André de Chalencon - 43
FR17A	45.15	2.26	670	Barriac les bosquets - 15
FR18A	44.97	2.81	840	Brezons - 15
FR19A	44.94	1.77	201	Bilhac – 19
FR20A	44.93	1.25	184	Proissans – 24
FR21A	44.89	4.45	750	Saint Michel d'aurence - 07
FR22A	44.65	3.80	1168	Cheyhard-l'évêque – 48
FR23A	44.73	3.34	935	Rimeize - 48
FR24A	44.66	1.54	355	Coeur-de-Causse – 46
FR25A	44.60	2.08	240	Lunan – 46
FR26A	44.51	4.57	208	Valvignères - 07
FR27A	44.40	2.58	600	Onet-le-Château - 12
FR28A	44.27	3.13	875	Massegros-Causse-Gorges – 48
FR29A	44.21	3.59	739	Rousses – 48
FR30A	44.06	1.67	240	Bruniquel -82
FR31A	44.05	4.53	259	La Capelle et Masmolène - 30
FR32A	44.01	2.60	415	Connac – 12
FR33A	43.80	2.26	340	Terre-de-Brancalié – 81
FR34A	43.73	3.35	404	Soumont – 34
FR35A	43.55	2.69	946	Le Soulié – 34

Annexe: coordonnées des stations des profils (code XF)

Nom de la station	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Lieu	Nom de la station	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Lieu
MD01A	45.66	2.59	798	Bourg-Lastic - 63	ME25A	45.71	4.72	317	Chaponost - 69
MD02A	45.56	2.75	1164	La Tour-d'Auvergne - 63	ME26A	45.69	5.21	233	Chozeau - 38
MD03A	45.42	3.03	1102	Mazoures - 63	MN01A	46.79	3.23	227	Azy-le-Vif - 58
MD04A	45.32	3.17	524	Blesle - 43	MN02A	46.45	3.16	398	Cressanges - 03
MD05A	45.16	3.44	507	Chilhac - 43	MN03A	46.35	3.09	440	Voussac - 03
MD06A	44.97	3.81	975	Saint-Christophe-sur-Dolaison - 43	MN04A	46.17	3.11	405	Naves - 03
MD07A	44.91	3.96	1051	Saint-Martin-de-Fugères - 43	MN05A	46.00	3.00	640	Charbonnières-les-Vieilles - 63
MD08A	44.81	4.22	1352	Sagnes-et-Goudoulet - 07	MN06A	45.88	3.01	725	Volvic - 63
MD09A	44.58	4.33	382	Ailhon - 07	MN07A	45.84	3.01	796	Volvic - 63
ME01A	45.76	0.36	157	Rivires - 16	MN08A	45.77	2.96	1449	Orcines - 63
ME02A	45.74	0.64	320	Sauvagnac - 16	MN08B	45.79	2.99	935	Orcines - 63
ME03A	45.74	0.88	351	Oradour-sur-Vayres - 87	MN09A	45.74	2.96	992	Saint-Genès-Champanelle - 63
ME04A	45.72	1.05	351	Flavignac - 87	MN10A	45.67	2.97	936	Aydat - 63
ME05A	45.75	1.47	392	Saint-Paul - 87	MN11A	45.63	2.93	1079	Le Vernet-Sainte-Marguerite - 63
ME06A	45.74	1.64	398	Neuvic-Entier - 87	MN12A	45.56	2.91	1085	Chambon-sur-Lac - 63
ME07A	45.70	1.82	572	Nedde - 87	MN13A	45.51	2.88	1268	Besse-et-Saint-Anastaise - 63
ME08A	45.77	2.02	806	Gentioux-Pigerolles - 23	MN14A	45.39	2.88	1077	Espinhal - 63
ME09A	45.78	2.18	768	Clairavaux - 23	MN15A	45.32	2.86	1092	Marcenat - 15
ME10A	45.77	2.34	768	Flayat - 23	MN16A	45.26	2.80	928	Saint-Saturnin - 15
ME11A	45.75	2.57	813	Herment - 63	MN17A	45.16	2.79	1073	Dienne - 15
ME12A	45.75	2.69	933	Prondines - 63	MN18A	45.03	2.79	1496	Brezons - 15
ME13A	45.72	2.82	821	Saint-Pierre-Roche - 63	MN19A	44.91	2.73	946	Thérondels - 12
ME14A	45.75	2.91	874	Ceyssat - 63	MN20A	44.79	2.70	761	Brommat - 12
ME15A	45.72	3.04	832	Saint-Genès-Champanelle - 63	MN21A	44.70	2.64	634	Saint-Amans-des-Cots - 12
ME16A	45.77	3.16	342	Clermont-Ferrand - 63	MN22A	44.59	2.62	510	Golinac - 12
ME17A	45.75	3.28	394	Chauriat - 63	MN23A	44.49	2.61	537	Rodelle - 12
ME18A	45.75	3.43	370	Neuville - 63	MN24A	44.30	2.59	660	Flavin - 12
ME19A	45.70	3.56	470	Sauviat - 63	MN25A	44.20	2.57	617	Comps-la-Grand-ville - 12
ME20A	45.72	3.73	858	Le Brugeron - 63	MN26A	44.11	2.56	645	La Selve - 12
ME21A	45.73	3.88	855	Saint-Just-en-Bas - 42	MN27A	43.89	2.55	578	Miolles - 81
ME22A	45.72	4.07	411	Montverdun - 42	MN28A	43.74	2.63	750	Viane - 81
ME23A	45.71	4.25	356	Vailleille - 42	MN29A	43.35	2.57	465	Félines-Minervois - 34
ME24A	45.71	4.44	557	Les Halles - 69	MN30A	43.17	2.60	165	Comigne - 81