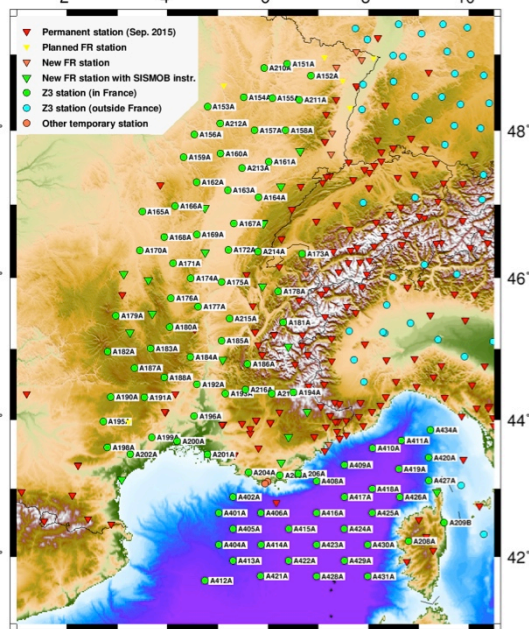


Carte du réseau AlpArray



Carte du réseau AlpArray-FR

Editorial (par Coralie Aubert et Anne Paul)

Nombreux sont les communes et les particuliers qui ont accepté de s'impliquer dans notre projet AlpArray-FR, en nous aidant à trouver des sites pour installer nos stations sismologiques (bâtiments communaux, caves, jardins...). Ce projet leur doit beaucoup. Qu'ils en soient chaleureusement remerciés.

Le projet AlpArray

AlpArray est un projet européen de recherche fondamentale dont l'objectif est de mieux comprendre le fonctionnement de la chaîne des Alpes en précisant la structure de son sous-sol, entre 10 et 600 km de profondeur (croûte et manteau supérieur). Le projet AlpArray s'appuie sur le déploiement d'un réseau sismologique terre-mer dense et homogène (maille ~50 km), qui couvre les Alpes et leurs avant-pays (voir carte ci-dessus). L'ossature de ce réseau est formée par les réseaux sismologiques permanents qui sont complétés par des stations temporaires déployées à partir de 2015 dans chacun des pays impliqués (France, Allemagne, Suisse, Italie, Autriche, République Tchèque, Hongrie, Slovaquie, Slovénie, Pologne, Croatie).

Nous espérons ainsi mieux comprendre comment s'est formée la chaîne alpine, ou pourquoi elle continue de se soulever.

En France: AlpArray-FR

AlpArray-FR est la composante française du projet européen AlpArray associant les laboratoires de Sciences de la Terre de Grenoble (ISTerre), Strasbourg (IPGS), Nice (Geoazur), Lyon (LGL-TPE), Besançon, Paris (IPGP & ISTEP) et Orléans (ISTO). Le projet est financé pour 5 ans (2015-2020) par l'Agence Nationale de la Recherche. Trois équipes de l'ISTerre, l'IPGS et Geoazur ont installé 80 stations sismologiques de l'Alsace à la Corse et 9 sismomètres fond de mer en Méditerranée, faisant du partenaire français un leader du projet européen.

Les équipes françaises travailleront sur la structure profonde de tout l'arc alpin, avec un intérêt particulier pour les Alpes occidentales et leur transition avec les Apennins.

Bien que la convergence entre les plaques Europe et Adria soit aujourd'hui nulle dans les Alpes occidentales, l'aléa sismique reste significatif. Le réseau AlpArray abaissera le seuil de détection des séismes et contribuera à une meilleure évaluation de l'aléa sismique. Pour obtenir des images haute-résolution de la très complexe et tridimensionnelle extrémité occidentale des Alpes, nous développerons et mettrons en œuvre les méthodes d'imagerie sismique les plus performantes.

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.



Sismomètre Trillium-120
utilisé à certaines stations de
AlpArray-FR



Numériseur Taurus
utilisé sur AlpArray-FR

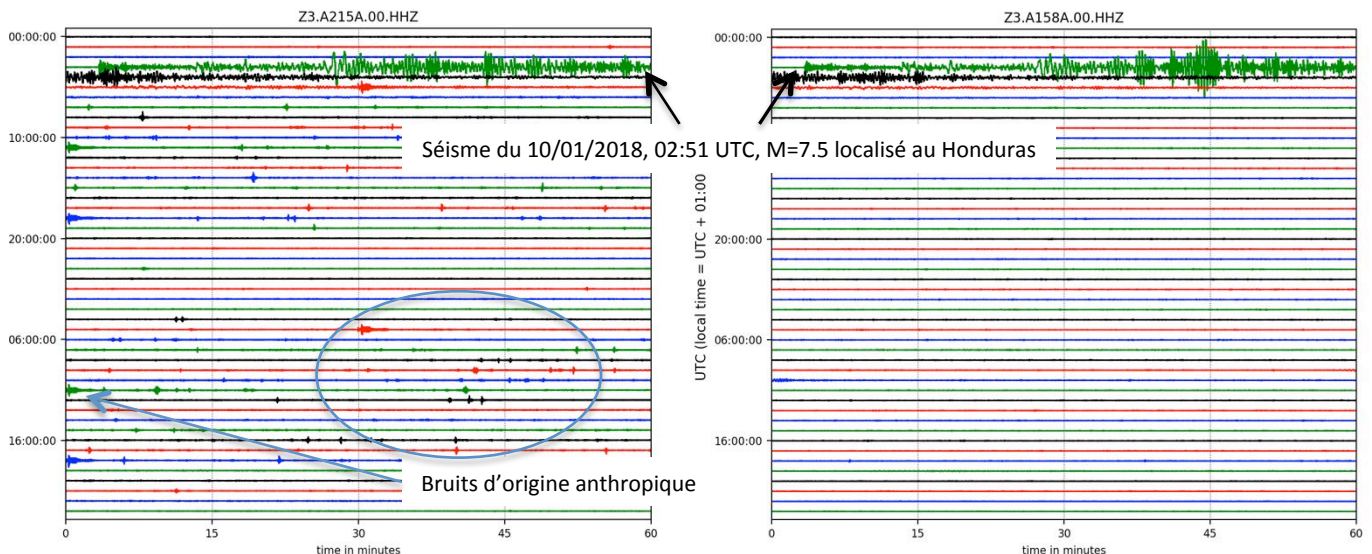


Modem routeur 3G
(technologie mobile)

Qu'enregistrons-nous?

Un sismomètre est extrêmement sensible puisqu'il est capable de détecter les vibrations du sol produites par le passage des ondes sismiques émises par un séisme de magnitude 5 à plusieurs milliers de kilomètres, ou un séisme de magnitude 6 localisé aux antipodes.

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 en été, y-compris dans une région aussi continentale que les Alpes. Nous appelons ce signal continu le 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).



Deux jours d'enregistrement des vibrations du sol (direction verticale), les 10 et 11/01/2018, aux stations A215A (Commelle, 38) et A158A (La Chapelle-aux-Bois, 88). Les signaux de fortes amplitudes sont les vibrations produites par un séisme de magnitude 7.5 au Honduras le 10/01/18. On remarque qu'en dehors du séisme, les signaux enregistrés à A215A sont beaucoup plus bruités qu'à A158A du fait de l'activité humaine. On observe notamment à A215A des signaux d'amplitudes assez fortes débutant exactement à 11:00 et 18:00 TU (12:00 et 19:00 locale). Ils sont générés par le fonctionnement quotidien d'une exploitation agricole à proximité de la station.

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 également une source de bruit. Nous isolons donc le capteur des variations de température (voir photo ci-contre).



Station sismologique A170A installée à St Gérard de Vaux (03). Le capteur est placé sur une dalle en béton sous une capuche isolante. Le numériseur et la batterie sont dans la caisse en plastique noir. L'antenne GPS est à l'extérieur du bâtiment.

Quelques stations du réseau sismologique AlpArray-FR



Priuré de Montverdun (42), A176A



Station de Lathuille (74), A178A



Station de Fraïsse sur Agout (34), A198A



Station de Saint Izaire (12), A195A



Station de Besse et St Anastaise (63), A179A



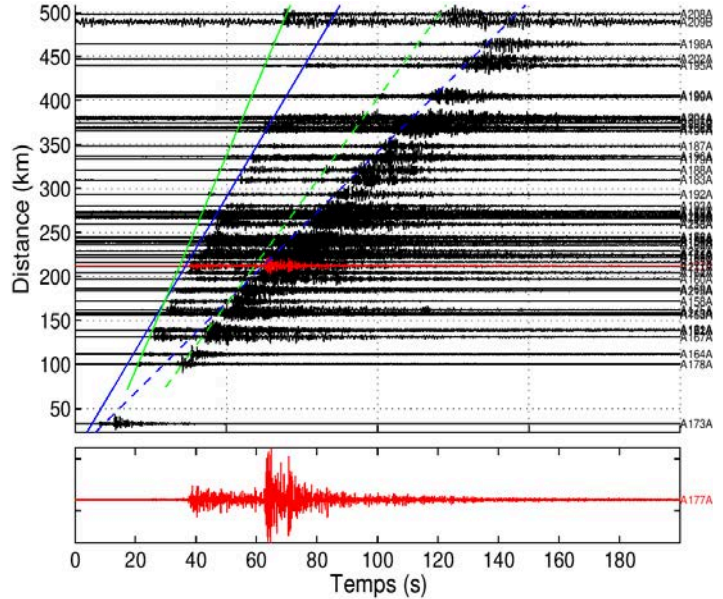
Station de Vacheresse (74), A173A

Séisme du 1^{er} juillet 2017 à Château-d'Oex (Suisse)

M4.3 2017/07/01 - 08:10:34 UTC Lat 46.47 Lon 7.10 Depth 5.0 km
59 km SW of Bern, Switzerland (pop: 122,000 local time: 10:10 2017/07/01)
33 km NW of Sion, Switzerland (pop: 28,100 local time: 10:10 2017/07/01)
2 km W of Château-d'Oex, Switzerland (pop: 3,100 local time: 10:10 2017/07/01)



Étoile rouge: localisation de l'épicentre du séisme de Château-d'Oex (canton de Vaud, CH), de magnitude 4.3 (source: <https://www.emsc-csem.org>)

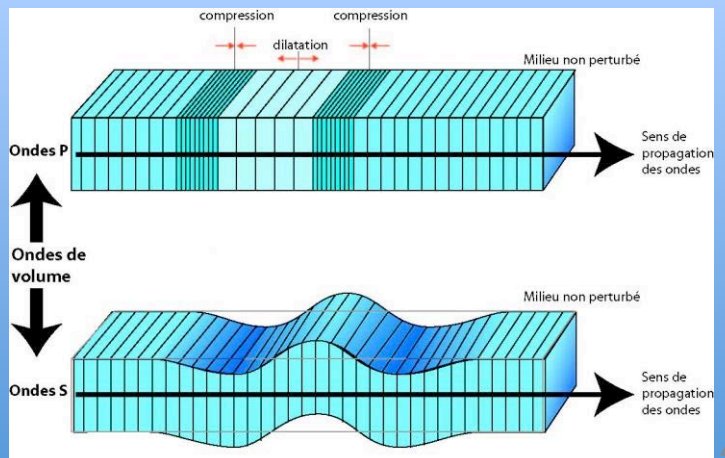


Enregistrements du séisme de Château-d'Oex aux stations AlpArray-FR (composante verticale)

La figure ci-dessus à droite montre les enregistrements des ondes émises par le séisme du 01/07/2017 aux stations AlpArray-FR. Les sismogrammes sont représentés selon la distance à l'épicentre (en kilomètres). Le temps 0 est l'heure-origine du séisme. L'enregistrement de la station A177A est représenté en rouge et agrandi en bas de la figure. On voit que plus la station est éloignée de l'épicentre, plus les ondes arrivent tard. Par exemple, à la station A177A située à 212 km du séisme, les ondes de compression, dites ondes Pg (ligne continue bleue), arrivent 33 secondes après l'heure-origine du séisme. On distingue également un deuxième paquet d'ondes plus tardives, marquées par la ligne en pointillés bleus. Ces ondes sont les ondes de cisaillement, ou ondes Sg. Aux stations proches, les ondes P et S notées Pg et Sg se propagent dans la croûte. Aux stations plus lointaines (distances épicentrales supérieures à 250 km), les premières arrivées sont les ondes Pn qui se propagent dans le manteau.

Un peu de sismologie fondamentale

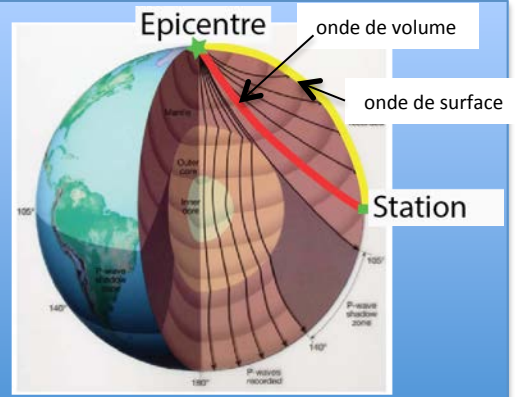
Un séisme émet plusieurs types d'ondes élastiques qui se propagent dans toute la Terre. Celles qui se propagent le plus rapidement sont les ondes de volume. Elles sont de deux types: les ondes de compression, dites P car elles arrivent en premier aux stations, et les ondes de cisaillement, dites S car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



Séisme du Chiapas (Mexique), 8 septembre 2017

Encore un peu de sismologie fondamentale

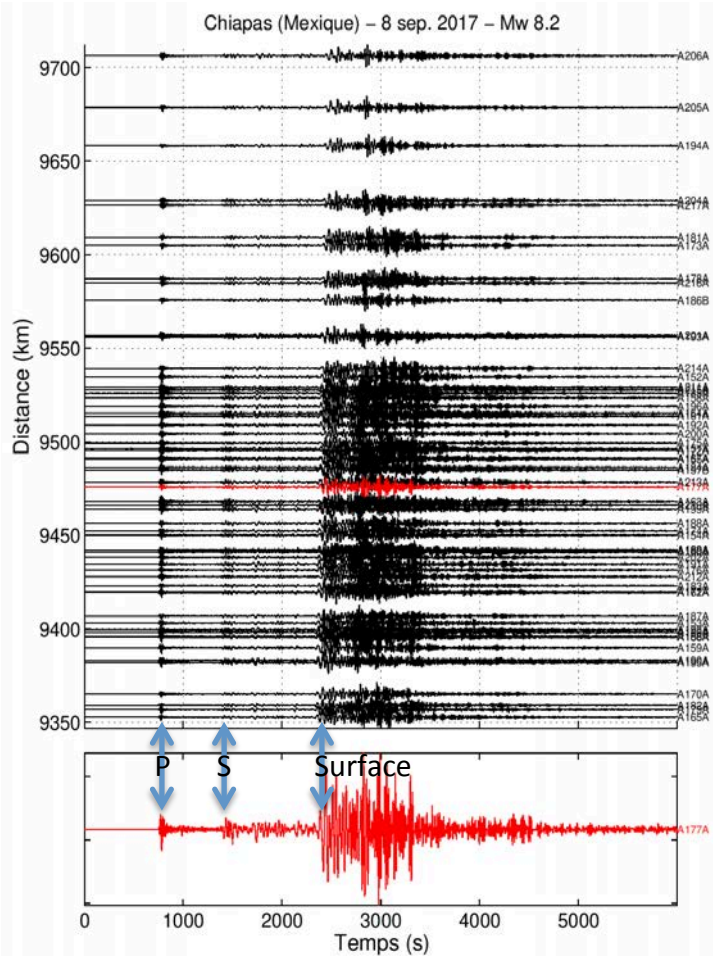
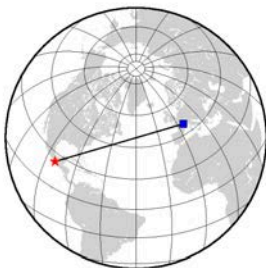
Sur le schéma ci-contre, sont représentés les trajets suivis par les ondes sismiques émises par un séisme (étoile verte) et qui se propagent à l'intérieur et à la surface de la Terre. Une station située à 90° de distance épacentrale enregistre des ondes de volume, P et S, qui ont traversé le manteau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



La figure ci-contre montre les enregistrements du séisme du 08/09/2017 au Mexique (région du Chiapas) par toutes les stations de AlpArray-FR (composantes verticales). Ce séisme est le plus fort (magnitude 8.2) ayant eu lieu depuis le début de l'expérience, fin 2015, jusqu'à ce jour.

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, A165A (58) à la plus lointaine, A206A (83). Un zoom est fait sur l'enregistrement de A177A (en rouge). La carte ci-dessous montre que les ondes sismiques, qui suivent le trajet le plus court entre le Mexique et l'Est de la France arrivent sur le réseau par l'ouest. La station la plus proche de l'épicentre est donc la plus à l'ouest.

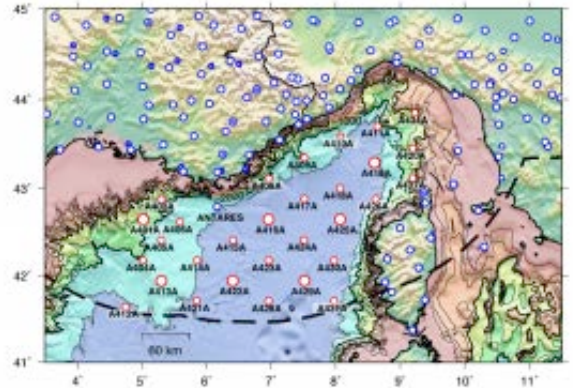
Notez les arrivées des ondes P (vers 750s), S (vers 1370s) et de surface (vers 2350s). Les ondes de surface ont la plus forte amplitude. Notez également que les vibrations du sol induites par le séisme sont encore détectables sur le sismogramme 1h40 (6000s) après l'heure-origine du séisme.



Réseau de sismomètres fond de mer AlpArray

Du 16 au 26 juin 2017, une équipe scientifique franco-allemande (ISTerre, Institut de Physique du Globe de Paris, Geomar Kiel) a embarqué à bord du N/O "Pourquoi-Pas?" de la flotte océanographique française. L'objectif de la mission était d'installer 29 sismomètres fond de mer en Mer Ligure ainsi qu'à l'ouest de la Corse pour compléter en mer le réseau sismologique temporaire AlpArray.

Déployés par des fonds de 1000 à 3800m, les instruments sont restés en place pendant 8 mois. Ils ont été récupérés par une nouvelle mission franco-allemande à bord du N/O « Maria S. Merian » de la flotte océanographique allemande du 6 au 28 février 2018.



Carte du réseau de sismomètres fond de mer AlpArray

Des stations en mer pour étudier les Alpes?

Dans le coin sud-ouest de la zone d'étude du projet AlpArray, la mer Ligure est située à la transition entre deux chaînes de montagne : les Alpes au nord-ouest et les Apennins au sud-est.

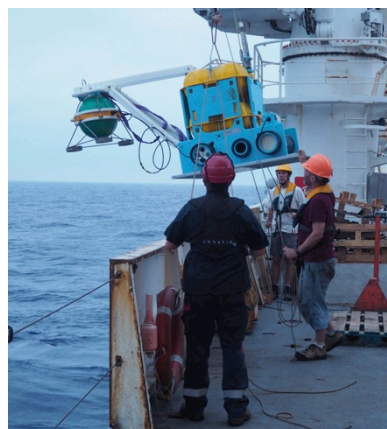
Mais alors que les Alpes occidentales sont associées à une subduction de la plaque Europe vers l'est sous la plaque Adria, les Apennins sont dans la situation opposée puisque c'est la plaque Adria qui plonge vers l'ouest sous les mers Ligure et Tyrrhénienne.

Ce changement de polarité de la subduction en quelques petites centaines de km pose de nombreuses questions qui ne peuvent être résolues que par l'acquisition de données sismologiques en fond de mer. C'est là une première motivation de l'extension du réseau temporaire AlpArray en Mer Ligure et Méditerranée occidentale.

Pendant leurs 8 mois de fonctionnement, les sismomètres fond de mer d'AlpArray ont enregistré les séismes locaux, généralement de faible magnitude mais relativement nombreux sur les marges de la mer Ligure. L'analyse de leurs enregistrements permettra de détecter un plus grand nombre de microséismes sous-marins que les seules stations terrestres et aboutira à une meilleure connaissance des failles sous-marines actives et une meilleure compréhension de l'aléa sismique.



Le "Pourquoi-Pas ? », navire océanographique de l'Ifremer et de la Marine nationale française



Largage d'un sismomètre fond de mer du parc français



Largage d'un sismomètre fond de mer du parc allemand

Epilogue

L'analyse des données acquises par le réseau sismologique temporaire AlpArray et leur interprétation prendront quelques années aux géophysiciens et géologues du projet européen.

Les données resteront propriété exclusive des participants au projet jusqu'à l'automne 2022. Elles seront ensuite ouvertes à tous les chercheurs intéressés, qui pourront les récupérer par internet dans la base européenne de données sismologiques.

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. Votre contribution au projet AlpArray a été déterminante.

A bord du Maria S. Merian en mer Tyrrhénienne (39°44'N, 13°01'E), le 24 février 2018,

Coralie Aubert & Anne Paul

Annexe: coordonnées des stations terrestres (en France)

Station	Latitude	Longitude	Elev (m)	Site	Station	Latitude	Longitude	Elev (m)	Site
A151A	48.8820	6.3798	214	Lemoncourt (57)	A183A	45.0107	3.6630	1107	Saint privat d'allier - 43
A152A	48.7248	6.8539	279	Azoudange (57)	A184A	44.8920	4.4516	750	Saint Michel d'aurence - 07
A153A	48.3180	4.7968	238	Thors (10)	A185A	45.1209	5.0728	420	Peyrins - 26
A154A	48.4417	5.5152	352	Avranville (88)	A186B	44.7930	5.5892	978	Chichilienne - 38
A155A	48.4312	6.0840	501	Saxon-Sion (54)	A187A	44.7343	3.3398	935	Rimeize - 48
A156A	47.9467	4.5341	380	Charrey sur seine - 21	A188A	44.6001	3.9367	1085	Saint Laurent Les Bains - 07
A157B	47.9929	5.7393	359	Serqueux - 52	A190A	44.3246	2.8695	940	Segur - 12
A158A	48.0068	6.3501	567	Haudompré - 88	A191A	44.3193	3.5378	950	Montbrun - 48
A159A	47.6439	4.3179	366	St Remy 21500	A192A	44.5069	4.5869	249	Valvignères - 07
A160A	47.6908	5.0502	465	Grancey Le Château -21	A193A	44.3711	5.1476	390	Nyons - 26
A161A	47.5835	6.0108	272	Raze - 70	A194A	44.3933	6.5023	1255	Méolans Revel - 04
A162A	47.3055	4.5793	567	Grosbois-En-Montagne (21)	A195A	43.9752	2.7193	290	St Izaire - 12
A163A	47.1970	5.2010	222	Tart Le Haut - 21	A196A	44.0515	4.5280	259	La Capelle et Masmolène - 30
A164A	47.1015	5.8104	272	Fourg - 25	A198A	43.6006	2.8004	720	Fraise sur Agout - 34
A165A	46.9102	3.4984	271	Thiangès - 58	A199A	43.7438	3.6883	341	Viols le fort - 34
A166A	46.9816	4.1479	580	La grande Verrière - 71	A200A	43.6927	4.1885	61	Aimargues - 30
A167A	46.7469	5.3195	203	Sens sur Seille - 71	A201A	43.5006	4.7917	5	Arles - 13
A168A	46.5604	3.9329	125	Neuvy grandchamp - 71	A202A	43.5025	3.2602	212	Gabian - 34
A169A	46.5963	4.5818	300	Burzy - 71	A204A	43.2413	5.6099	512	Roquefort La Bedoule -13
A170A	46.3781	3.4474	140	Saint Gerand De Vaux - 03	A205A	43.2001	6.2335	384	La londes les maures - 83
A171A	46.2008	4.1125	378	Fleury la Montagne -71	A206A	43.2197	6.6010	363	Gassin - 83
A172A	46.3858	5.2132	273	Foissiat - 01	A208A	42.2326	8.7937	830	Marignana - 2A
A173A	46.3296	6.6808	1030	vacheresse -74	A209B	42.5029	9.5066	7	Venzolasca (2B)
A174A	45.9926	4.4619	625	St Just d'Avray -69	A210A	48.8277	5.9225	273	Manonville -54
A175A	45.9427	5.0747	315	Le montellier - 01	A211A	48.4071	6.6195	279	Xaffevillers -88
A176A	45.7178	4.0666	410	Montverduin - 42	A212A	48.0931	5.0444	358	Semoutier Montsaon - 52
A177A	45.5963	4.6086	520	Saint Didier Sous Riverie - 69	A213A	47.4967	5.4799	282	Autrey-Les-Gray - 70
A178B	45.6877	6.3046	895	Abbaye de Tamié (74)	A214A	46.3620	5.8003	476	Chassal - 39
A179A	45.4723	2.9722	1084	Besse et st anastaise - 64	A215A	45.4307	5.2323	450	Commelles - 38
A180A	45.3113	4.0427	845	Valprivas - 43	A216A	44.4291	5.5499	1245	Montmorin - 05
A181A	45.3805	6.3020	1305	Montgellafrey -73	A217A	44.3701	6.0733	1087	Le Caire - 04
A182A	44.9695	2.8069	880	Brezons - 15					