



Mouans-Sartoux, 24 juillet 2014

## Rapport CNRS (Contrat MA201301A) - Mise en œuvre et le support de logiciels de traitement automatisé de données sismologiques acquises dans le cadre du projet Européen FP7 Marsite.

### 1 Objet et Sommaire

- 1) Utiliser des données d'OBS (sismomètre fond de mer) pour générer un catalogue de position absolues des micro-séismes pour des événements dans la zone couverte par le réseau OBS dans la Mer de Marmara (Figure 1).
- 2) Effectuer des re-localisations absolues dans un modèle 3D (fournis par les autres participants au projet).
- 3) Fournir des outils de visualisation pour les données et les localisations.

### 2 Logiciels et outils algorithmiques

Le travail est fait principalement avec des logiciels et outils existants, avec modification principalement des formats d'entrée et sortie et des paramètres du fonctionnement des codes, et création des scripts de contrôle en format BASH (\*.bash).

Les principaux logiciels existants utilisés ont été développés par Anthony Lomax :

1. NonLinLoc (Non-Linear Location) - un ensemble de programmes pour la construction des modèles de vitesse, le calcul des temps de parcours des ondes sismiques, la localisation absolue, probabiliste et non-linéaire des séismes dans des structures 3D, et la visualisation en 3D des localisations et autres résultats. Documentation : <http://alomax.free.fr/nlloc> ; Lomax et al., 2009 ; Lomax et al. 2000.
2. FilterPicker - un outil automatique pour détecter et déterminé le temps d'arrivée d'énergie (e.g. Phase P et S) sur les signaux sismiques large bande. Documentation : <http://alomax.free.fr/FilterPicker> ; Lomax et al., 2012.
3. Early-est - un système automatique et complet pour la surveillance des événements sismique à partir des données (sismogrammes) numériques en temps réel ou dans des fichiers d'archive. Les fonctionnalités de Early-est inclus : détection, localisation, détermination des paramètres de la source; sortie des fichiers, tableaux, visualisations, pages web HTML, ... Documentation : <http://alomax.free.fr/projects/early-est> ; [http://alomax.free.fr/projects/early-est/early-est\\_users\\_guide.pdf](http://alomax.free.fr/projects/early-est/early-est_users_guide.pdf) ; Lomax and Michelini, 2012.
4. SeisGram2K, SeismicityViewer - logiciels interactifs en Java pour la visualisation des sismogrammes et des éléments géographiques (GIS) et sismicité en 3D. Documentation : <http://alomax.free.fr/seisgram> ; <http://alomax.free.fr/seismicity/>



### 3 Items du travail technique

#### 3.1 Modèles de vitesse

*Assemblage et validation des modèles de vitesse P, 1D et 3D (fournis par les autres participants au projet) pour la zone de Marmara.*

Quatre modèles différents ont été utilisés pour la zone de Marmara (Figure 1) : Un modèle 1D : d'Estelle CROS (20130419) (Table 1). Trois modèles 3D de vitesse P : "GrilleModelGaye", "model3D\_Baty" (Figure 2) et "GrilleModelBCC". Le modèle 1D d'Estelle CROS (20130419) a été utilisé pour l'association des pointées et la localisation préliminaire avec Early-est. Le modèle "model3D\_Baty" a été retenue pour les localisations NonLinLoc, avec  $V_p/V_s=1.78$  pour calculer les temps S à partir des temps P.

Logiciels : NLL:Vel2Grid, NLL:Grid2GMT, Convert2NLL.java (conversion des fichiers modèle texte, e.g. ChampVitesse3D\_Baty.txt d'Estelle CROS, en format NLL « 3D grid »).

#### 3.2 Temps de parcours

*Mise en ouvre du calcul des temps de parcours dans les modèles des ondes P pour chaque sismomètre OBS et à terre.*

Calcul fait à partir des fichier NLL « 3D grid » pour chaque modèle (Figure 3).

Logiciels : NLL:Grid2Time, NLL:Grid2GMT.

#### 3.3 Traitement des données acquises avec des sismomètres fond de mer (OBS)

*Données fournis par les autres participants au projet. Mise en ouvre de l'entrée (formatage, assemblage), analyse et détermination automatique des temps d'arrivée P. Traitement identique pour les données des stations à terre, si ces données sont déjà dans un format compatible ; sinon, intégration des temps d'arrivée existantes (fournis par les autres participants au projet).*

Mise en place des données en format SAC, un système des fichiers et des scripts BASH pour convertir les données SAC en format mini-seed. La conversion en format mini-seed était fait pour les données IFREMER (stations G01 et G03-10) et KOERI (stations K01-5) pour mai 2011 et juillet 2011.

Logiciels : ./run\_sac2mseed\_ifremer\_batch.bash, ./run\_sac2mseed\_koeri\_batch.bash, ./run\_sac2mseed\_clean.bash, sac2mseed

Early-est était modifié pour traiter l'échelle régionale de Marmara, pour faire des pointées S sur composantes horizontales, et pour traiter la grande quantité des données (jusqu'à un mois) dans un grand nombre des fichiers mseed (chacun contiennent une heure pour une voie pour une station). Pointées automatiques fait avec FilterPicker pour P et S pour les données IFREMER et KOERI pour mai 2011 et juillet 2011.

Logiciels : FilterPicker, Early-est(regional).

#### 3.4 Détection des événements

*Association des temps d'arrivée aux événements uniques et localisation préliminaire dans un modèle 1D.*

Early-est était modifié pour faire les associations et localisations sur l'échelle régionale de Marmara. Les associations et localisations avec le modèle 1D d'Estelle CROS (20130419) était fait pour les données IFREMER et KOERI pour mai 2011 et juillet 2011 (Figure 4).

Logiciels : Early-est(regional), run\_ee\_assoc\_loc.bash.

### 3.5 Catalogue des localisations absolues

*Mise en oeuvre de la localisation avec temps d'arrivée associées dans les modèles 1D et 3D. Mise en oeuvre des modifications des paramètres de localisation et corrections des stations pour améliorer la qualité du catalogue des localisations.*

Re-localisation avec NonLinLoc et dans le modèle 3D "model3D\_Baty" des événements trouvés par Early-est (Figures 5 et 7). Développement itératif des ajustements des temps P et S des stations d'après les résidus moyens (« corrections des stations » ; Lomax, 2008) et re-localisation (Figure 6-9). Sortie des catalogues des localisations. Par rapport aux localisations standards, les localisations avec « corrections des stations » sont moins sensibles aux erreurs du modèle de vitesse et les différences entre les observations disponibles pour différents événements ; ces localisations peuvent être, donc, mieux positionnées en espace absolu et par rapport aux autres hypocentres.

Logiciels : NonLinLoc, run\_pickfiles2nllloc.bash, run\_ee\_nllloc.bash, run\_nll\_corr.bash.

### 3.6 Visualisation

*Mise en oeuvre des outils de visualisation pour les données et localisations. (logiciels existantes : Early-est, SeisGram2K, SeismicityViewer, GMT). Assistance avec autres participants à la mise en oeuvre des visualisations sur l'Internet.*

Modifications et améliorations faites de SeisGram2K (Figures 10-11), SeismicityViewer (Figures 4-9) et le support GMT de NonLinLoc (Figures 2 et 3) pour visualiser et analyser les données et résultats de l'étude.

### 3.7 Support/Rapports

*Assistance aux autres participants avec la configuration et l'utilisation des logiciels de traitement et dans la préparation des rapports et documentations. Un ou deux missions de 4 jours au total sur place avec les autres participants concernant la mise en oeuvre des données et logiciels, support, et rédaction des rapports.*

Collaboration à distance et sur place à Marseille avec Estelle CROS. Des missions à Marseille 11-12 novembre, 2012 (avant projet), et 21-22 mai, 2013.

## 4 Résultats et discussion

### 4.1 Performance du réseau des stations disponibles

Un étude de la performance du réseau des stations disponibles pour la détection et localisation des événements ne fait pas partie du travail technique, mais les résultats du travail montre l'importance de cette performance. Par exemple, seulement les événements dans l'intérieur du polygone délimitée par les stations à l'ouest (Figure 1) sont bien contrainte par les stations OBS disponibles. Un étude globale et détaillé de la performance du réseau étant un gros travail, nous examinons dans Annexe 2 une petite sélection des cas pour mieux comprendre les caractéristiques du réseau actuel et les améliorations qui peuvent être fait avec l'ajout des données des autres stations.

### 4.2 Temps de parcours

Figure 3 montre le temps P à partir de station G10 dans le modèle « model 3D baty ». Les temps à une profondeur de 2km montre clairement le ralentissement et déviation des ondes sismiques par les sédiments de basse vitesse dans les bassins superficiels.

### 4.3 Détection des événements

L'association des pointées et la localisation préliminaire avec Early-est dans le modèle 1D d'Estelle CROS (20130419) pour juillet 2011 est montrée dans Figure 4. On note une forte concentration des hypocentres à une profondeur de 0-10km autour de l'épicentre du M5.1 « mer de Marmara » séisme de 2011.07.25 17:57 ( $h \sim 20$ km), et ailleurs une sismicité diffus

qui n'est pas concentré sur des failles. Il y a plusieurs hypocentres avec profondeur faible, proche à la surface ; ceci n'est pas typique pour les séismes tectoniques et, avec les profondeurs faibles pour le séisme de M5.1 de 2011.07.25, peut indiquer un erreur importante du modèle 1D par rapport à la réalité.

## 5 Catalogue des localisations absolues

La re-localisation avec NonLinLoc, dans le modèle 3D "model3D\_Baty" des événements pour juillet 2011 trouvés par Early-est est montrée dans Figure 5, avec sélection des hypocentres les mieux localisées. On note encore une forte concentration des hypocentres autour de l'hypocentre du M5.1 séisme de 2011.07.25 (ici : 17:57:17.6 40.81 27.72 h=20.4km), un sismicité diffus concentré sur les failles et autour du Central Basin, et un sismicité diffus au sud des failles. Une groupe des hypocentres est suggérée à ~5km de profondeur et ~5km à l'ouest du M5.1 séisme de 2011.07.25. Les résidus moyen S (lignes violet sur la coupe ; oc\_201107/model3D\_Baty/model3D\_Baty.sum.grid0.loc.stat) on) sont assez importantes et toujours négatives, entre -0.3 et -3 sec.

La re-localisation avec NonLinLoc, dans le modèle 3D "model3D\_Baty", avec « corrections des stations » des événements pour juillet 2011 trouvés par Early-est est montrée dans Figure 6, avec sélection des hypocentres les mieux localisées. Par rapport aux localisations sans « corrections des stations », on note plus des événements, une plus forte concentration des hypocentres en profondeur et une profondeur moyenne plus importante, une plus forte concentration des hypocentres autour de l'hypocentre du M5.1 séisme de 2011.07.25 (ici : 17:57:17.3 40.82 27.74 h=17.8km), un sismicité plus concentré sur les failles et autour du Central Basin, et moins de sismicité diffus au sud des failles. La groupe des hypocentres à ~5km de profondeur et ~5km à l'ouest du M5.1 séisme de 2011.07.25 n'est plus présente ; ce résultat indique que cette groupe était un artefact de la localisation sans « corrections des stations ». Les résidus moyen S (lignes violet sur la coupe ; loc\_201107/model3D\_Baty\_corr3/model3D\_Baty.sum.grid0.loc.stat) ont la même magnitude que les résidus moyen du P et sont plutôt positive, entre -0.3 et -3 sec.

Les nuages de PDF pour les re-localisations NonLinLoc, modèle 3D "model3D\_Baty", sans et avec « corrections des stations » des événements pour juillet 2011 sont affichées dans Figure 7, avec sélection des hypocentres les mieux localisées. Ces nuages souligne les résultats notés plus haut pour les localisations de Figures 5 et 6. Les nuages de PDF pour les localisations avec « corrections des stations » montre la concentration du sismicité autour du M5.1 séisme de 2011.07.25, autour des failles et zones de branchement des failles, et une groupe près de station G09. En plus, les nuages montre clairement que seulement les événements dans l'intérieur du polygone délimitée par les stations à l'ouest (Figure 1 ; Annexe 2) sont bien contrainte par les stations disponibles.

Les re-localisations avec NonLinLoc et dans le modèle 3D "model3D\_Baty" avec « corrections des stations » pour le M5.1 séisme de 2011.07.25 17:57 est montrée dans Figure 8 avec nuages de PDF. La localisations NonLinLoc et DEPREM sont assez proche, par rapport à l'étendue du PDF (incertitude) de la localisation NonLinLoc.

La re-localisation avec NonLinLoc des événements pour mai 2011, modèle 3D "model3D\_Baty", avec les « corrections des stations » trouvées pour les événements juillet 2011 sont affichées dans Figure 9, avec sélection des hypocentres les mieux localisées. On note un sismicité diffus mais plutôt concentré sur les failles, et une groupe des hypocentres au sud-est de la station G06 à ~19km de profondeur.

## 6 Conclusions et recommandations

1. Seulement les événements dans l'intérieur du polygone délimitée par les stations à l'ouest (Figure 1 ; Annexe 2) peuvent être localisée avec moyenne ou faible incertitude. Ce polygone couvre seulement une zone assez restreinte de la mer de Marmara, le long des failles entre le Tekirdag Basin, le Western High et le Central Basin. Pour élargir la zone de couverture, il en faut des données formes des ondes ou pointées pour des stations ailleurs dans la mer de Marmara ou stations à terre autour.

2. La profondeur des hypocentres est très sensible au modèle utilisé pour la localisation, c.f. Figures 4 et 5/6.
3. La nombre et qualité des événements détectés et localisés est moyennement sensible aux paramètres de pointée/détection/association/localisation. Une analyse pour la période 2011.07.25-31 avec paramètres de pointée plus sensible (donc beaucoup plus de pointées) par rapport aux analyses présentes plus haut, a donné 40% plus des événements associés, mais seulement 12% plus des événements après application des « corrections des stations » et triage par qualité .
4. Pour juillet 2011, l'association des pointées et la localisation préliminaire avec Early-est a défini 1147 événements avec 10889 pointées associées en total. Il y avait 394907 pointées non-associées. Une partie des événements définie, et une partie importante des pointées non-associées peuvent être due aux événements hors de la zone de l'étude, phases secondaires des vrais événements, ou du bruit (signaux sans aucun intérêt géophysique). Mais une partie des pointées non-associées est due aux événements sismiques ou événements éjection des fluides et des bulles dans la zone de l'étude (Figure 11), et qui n'était pas associées pour des raisons diverses : erreur trop importante des temps des ondes P ou S dans le modèle 1D pour certains chemins station->source ; événements hors du polygone délimitée par les stations à l'ouest (Figure 1) avec faible contrainte de localisation ; événements à faible énergie qui était enregistré sur seulement un ou deux stations les plus proches ; ...  
 Pour identifier certains de ces événements (ceux qui ont des erreurs importantes des temps et ceux hors du polygone délimitée par les stations), il faut principalement, comme proposé plus haut, ajouter des données pour des stations ailleurs dans la mer de Marmara ou stations à terre autour, et, secondairement, faire l'association des pointées et la localisation préliminaire avec des meilleurs modèles 1D, avec « corrections des stations », et, éventuellement (un travail très lourd) faire les associations dans un modèle 3D .  
 Pour identifier d'autres de ces événements (ceux à faible énergie et les éjections des fluides et des bulles), il faut principalement passer aux méthodes d'analyse forme des ondes (corrélation, analyse de polarisation, modélisation des ondes S et ondes de surface, ...), analyses relatives pour une seule station, et analyses manuelles.
5. Il peut aussi avoir des événements qui donnent des signaux émergents aux stations (e.g. « tremors » et éjections des fluides et des bulles). Ceci ne son sont pas, en générale, détectés comme pointées par détecteurs STA/LTA comme FilterPicker, qui sont conçus et optimisés pour détecter des arrivées d'énergie impulsive. La détection et analyse de tels signaux nécessite aussi de passer aux méthodes d'analyse forme des ondes et méthodes manuelles.

## 7 Bibliographie

- Lomax, A. (2008), Location and Tectonics of the Focal Region of the California Earthquake of 18 April 1906, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 98, 846-860.
- Lomax, A., C. Satriano and M. Vassallo (2012), Automatic picker developments and optimization: FilterPicker - a robust, broadband picker for real-time seismic monitoring and earthquake early-warning, *Seism. Res. Lett.*, 83, 531-540, doi: 10.1785/gssrl.83.3.531.
- Lomax, A. and A. Michelini (2012), Tsunami early warning within 5 minutes, *Pure and Applied Geophysics*, 169, doi: 10.1007/s00024-012-0512-6.
- Lomax, A., A. Michelini, A. Curtis (2009), Earthquake Location, Direct, Global-Search Methods, in *Complexity In Encyclopedia of Complexity and System Science, Part 5*, Springer, New York, pp. 2449-2473, doi:10.1007/978-0-387-30440-3.
- Lomax, A., J. Virieux, P. Volant and C. Berge, (2000), Probabilistic earthquake location in 3D and layered models: Introduction of a Metropolis-Gibbs method and comparison with linear locations, in *Advances in Seismic Event Location*, Thurber, C.H., and N. Rabinowitz (eds.), Kluwer, Amsterdam, 101-134.

## **Annexe 1 - Livrables**

Fichiers d'entrée et sortie des logiciels (e.g. fichiers de contrôle, modèles de vitesse, temps d'arrivée, catalogues de sismicité, toutes données transformées, ...).

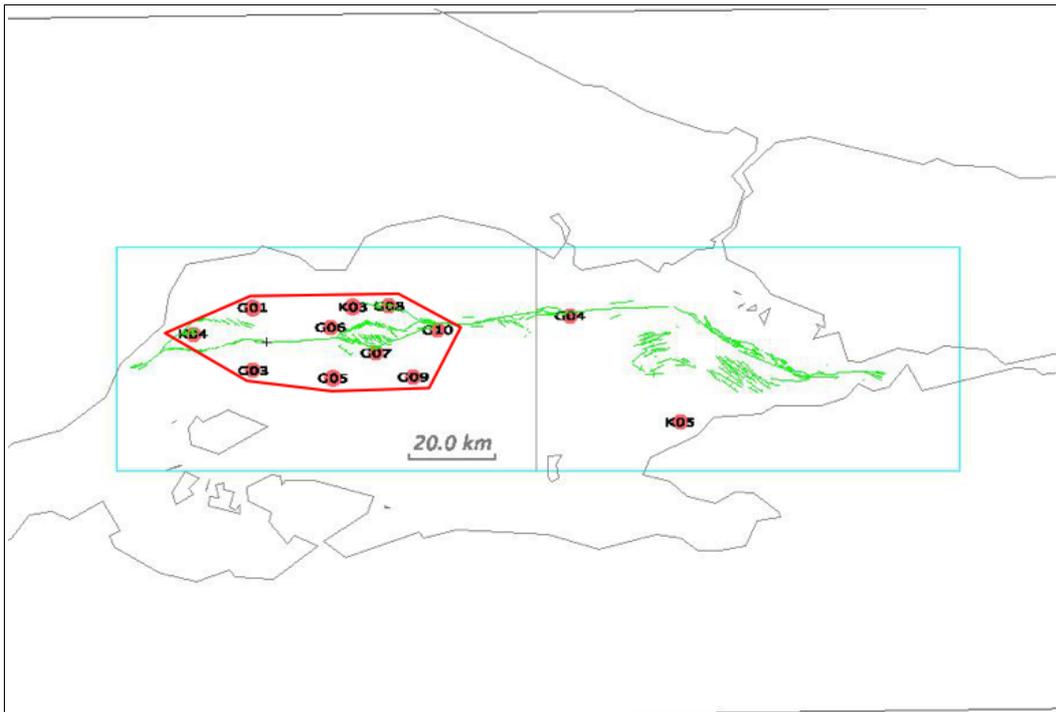
Codes sources des logiciels.

Codes, scripts et documentations pour l'installation et usage des logiciels.

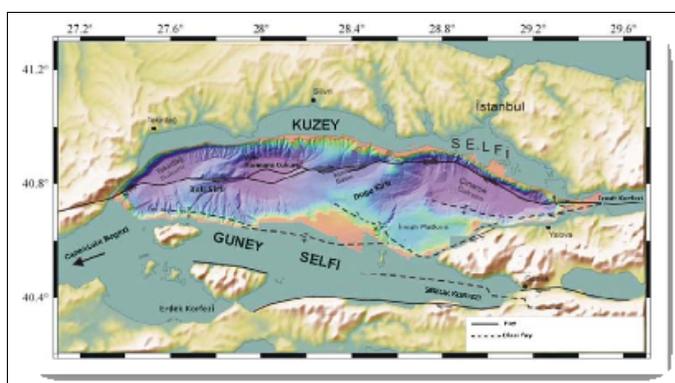
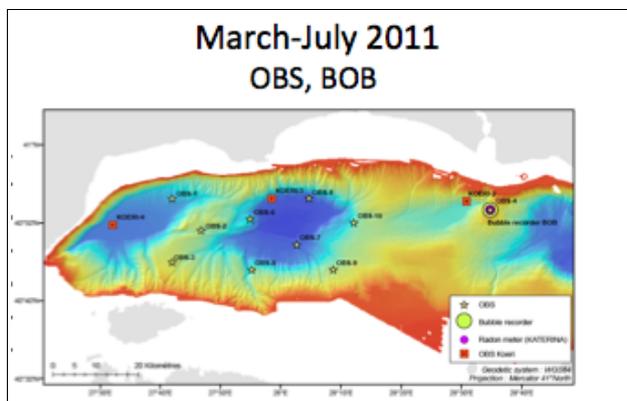
**Table 1 – Modèle 1D d'Estelle CROS (20130419)**

<i>Depth (km)</i>	<i>P vel (km/s)</i>	<i>S vel (km/s)</i>
0.0	1.70	0.10
0.9	1.90	1.10
1.9	2.40	1.40
3.5	3.40	1.95
5.0	4.80	2.71
5.5	5.20	2.93
7.4	5.30	3.01
9.6	5.50	3.07
14.6	6.20	3.51
16.7	6.30	3.56
18.6	6.40	3.62
24.3	6.70	3.78
28.3	7.10	4.00
30.0	7.30	4.08
30.0	8.11	4.49
40.0	8.10	4.48
60.0	8.09	4.48
80.0	8.08	4.47
115.0	8.06	4.46
150.0	8.03	4.44
185.0	8.01	4.43
220.0	7.99	4.42

**Figure 1 – Sommaire géographique de l'étude.**

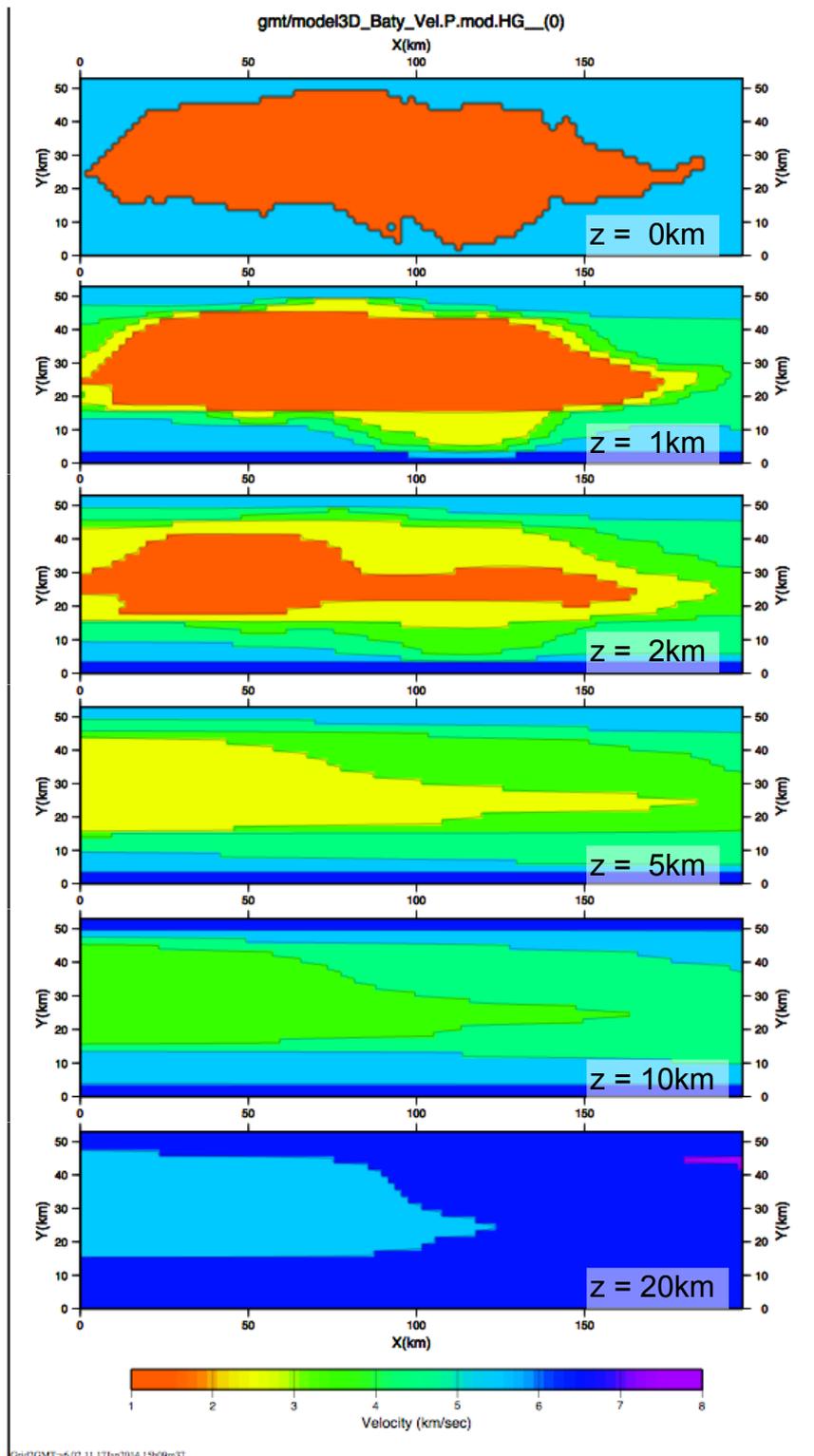


Cercles rose : stations OBS utilisées. Rectangle noir : zone limite d'association/localisation Early-est. Rectangle bleu claire : zone limite du modèle 3D et localisation NonLinLoc. Lignes vertes : Failles dans la mer de Marmara. Polygone rouge : polygone délimitée par les stations à l'ouest dans laquelle les hypocentres sont bien contrainte par les stations disponibles.



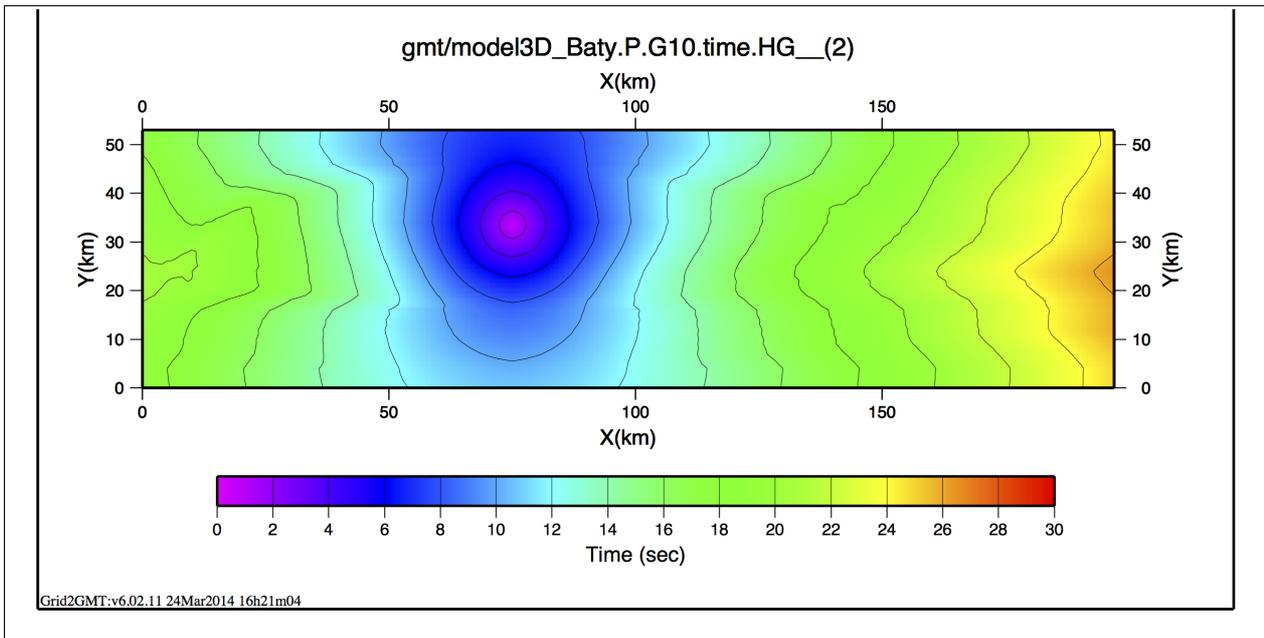
## Figure 2 – Modèle de vitesse 3D « model 3D baty »

Conversion en format NLL « grid » du modèle « model 3D baty » ChampVitesse3D\_Baty.txt d'Estelle CROS.

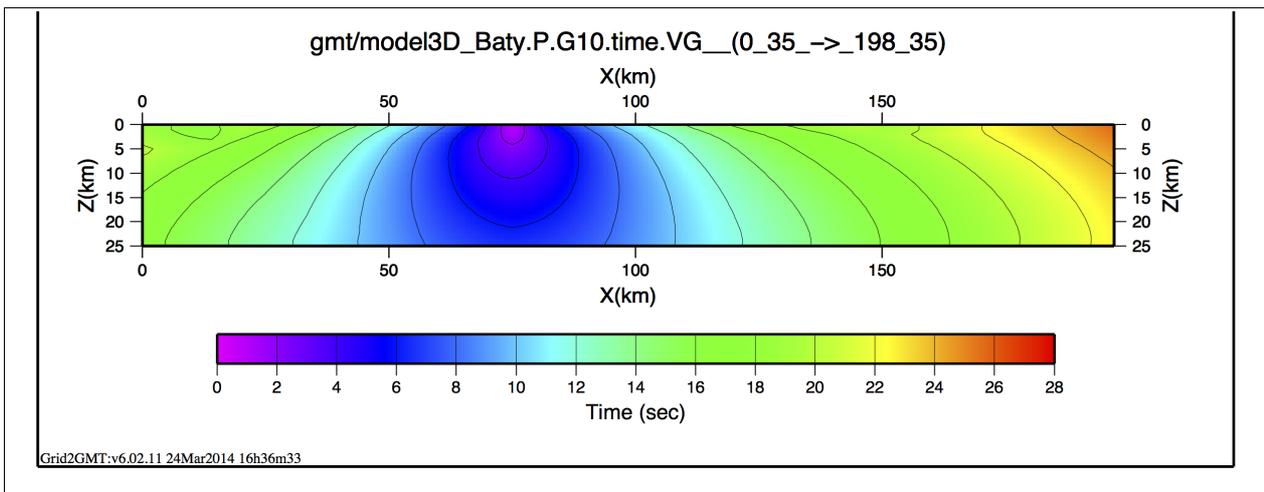


### Figure 3 – Calcul des temps de parcours

Temps d'onde P dans le modèle « model 3D baty » pour la station G10.



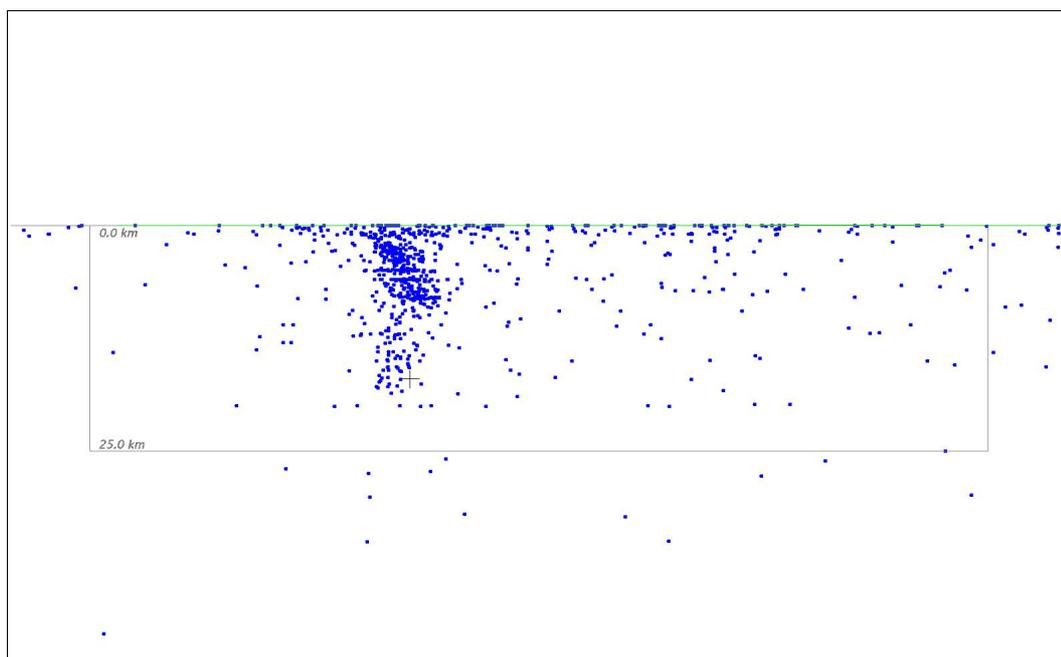
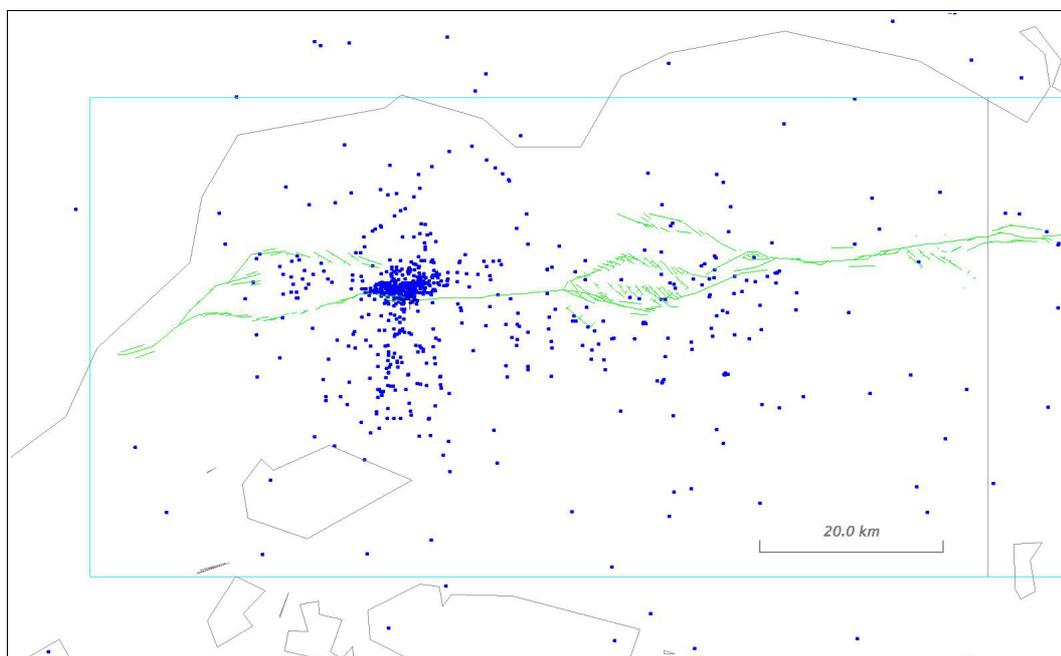
Temps à partir de station G10 à une profondeur de 2km.



Temps à partir de station G10 en profondeur, coupe ouest-est.

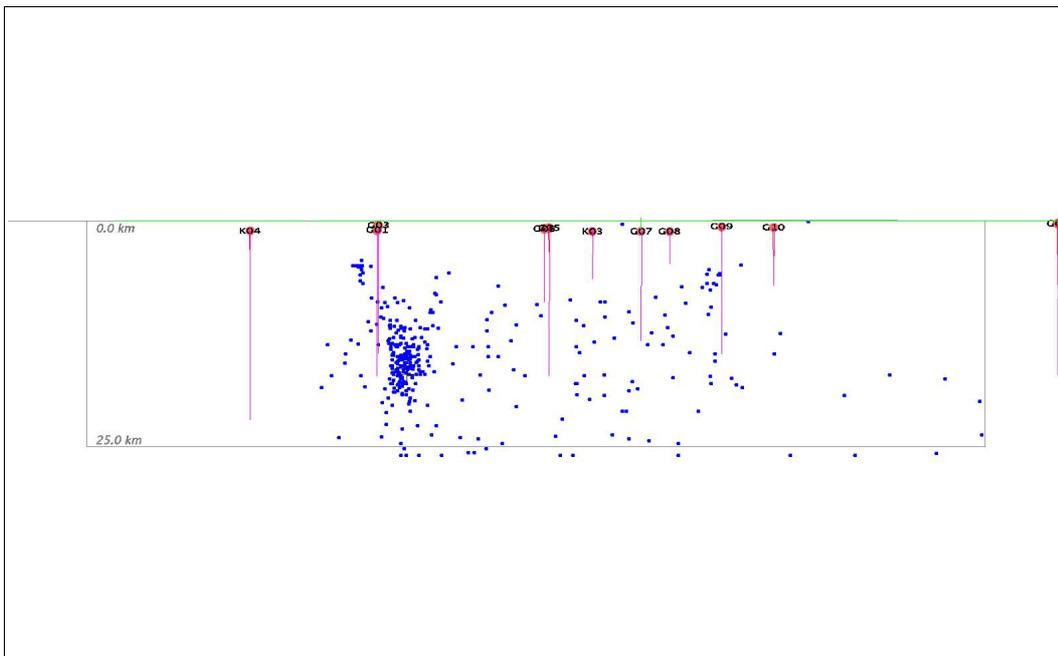
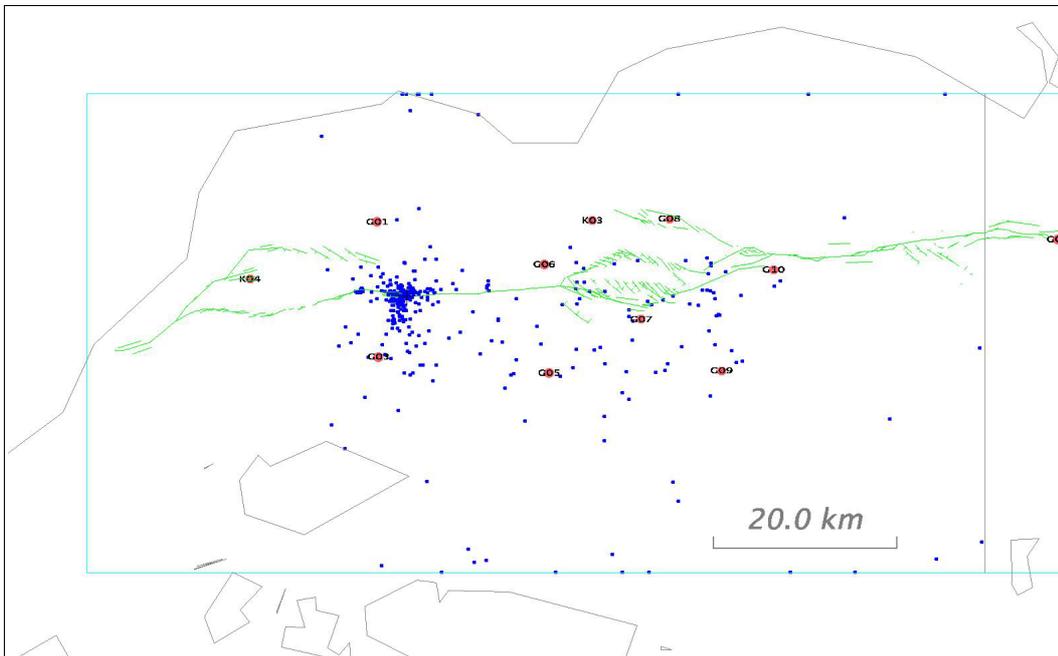
#### Figure 4 – Association et localisation préliminaire dans un modèle 1D : juillet 2011.

L'association des pointées et la localisation préliminaire avec Early-est dans le modèle 1D d'Estelle CROS (20130419) pour juillet 2011. (915 événements).



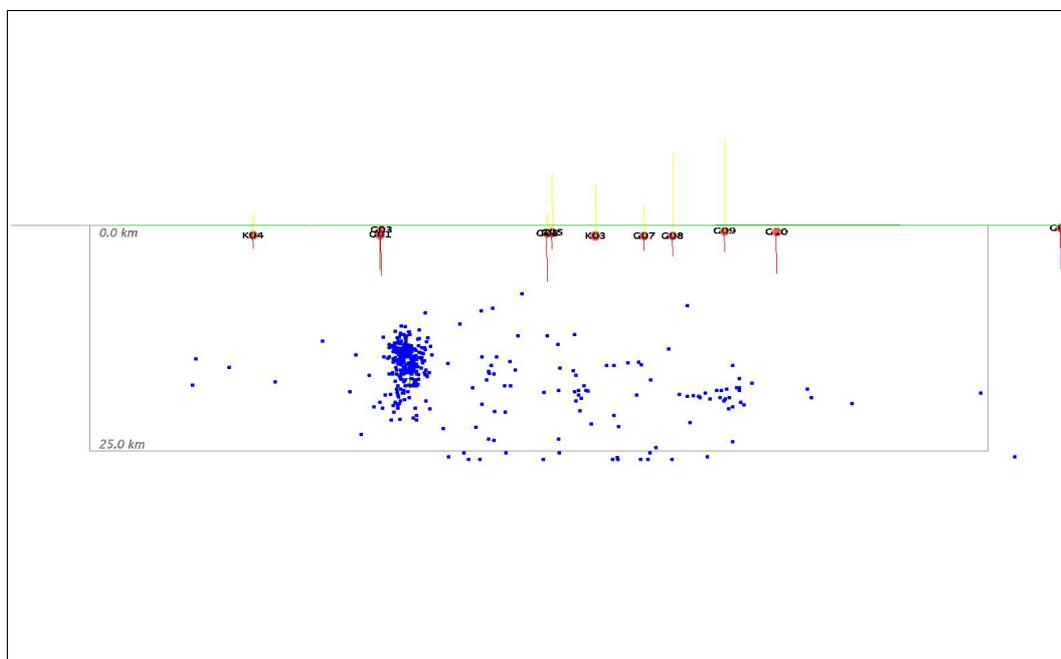
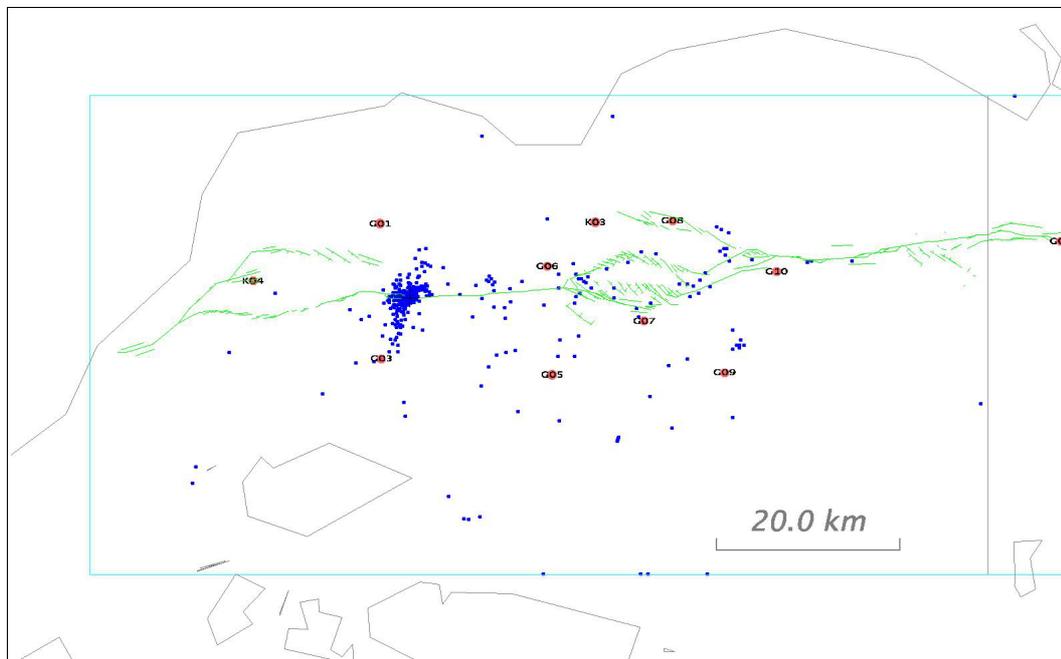
### Figure 5 – Re-localisation dans un modèle 3D : juillet 2011.

Re-localisation avec NonLinLoc et dans le modèle 3D "model3D\_Baty" des événements trouvés par Early-est (Figure 4) pour juillet 2011. (363 événements avec  $RMS \leq 1\text{sec}$ ,  $StdErr \leq 10\text{km}$ ,  $N_{\text{phase}} \geq 8$ ).



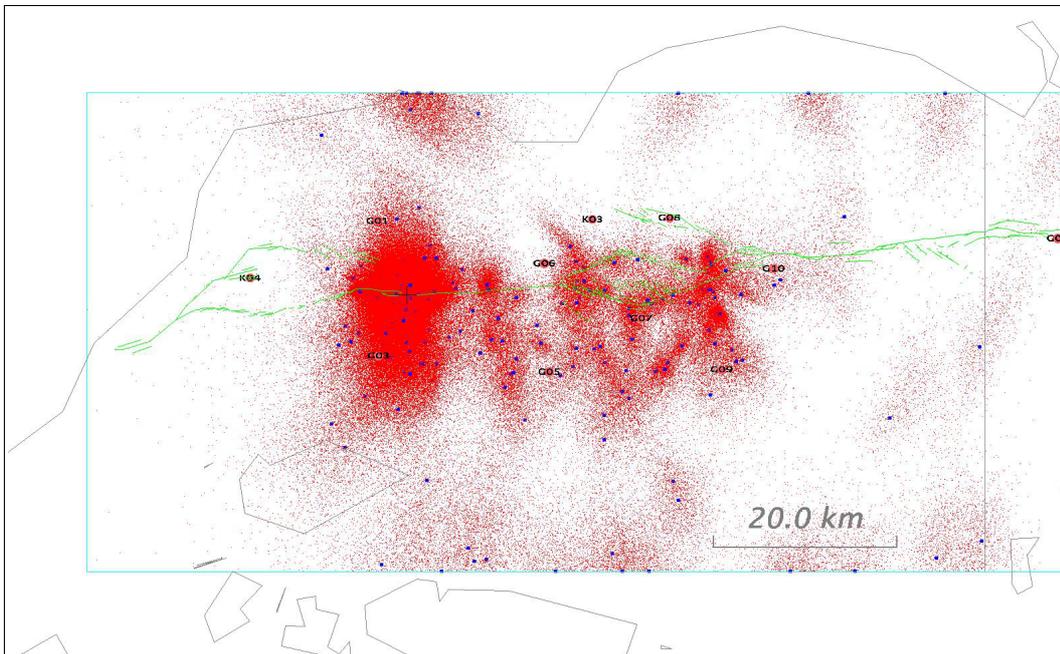
## Figure 6 – Re-localisation avec « corrections des stations » dans un modèle 3D : juillet 2011.

Re-localisation avec NonLinLoc et dans le modèle 3D "model3D\_Baty" des événements trouvés par Early-est (Figure 4) pour juillet 2011, après développement itératif (3 itérations) des corrections des stations (« corrections des stations »). (376 événements avec  $RMS \leq 1\text{sec}$ ,  $StdErr \leq 10\text{km}$ ,  $N_{\text{phase}} \geq 8$ ).

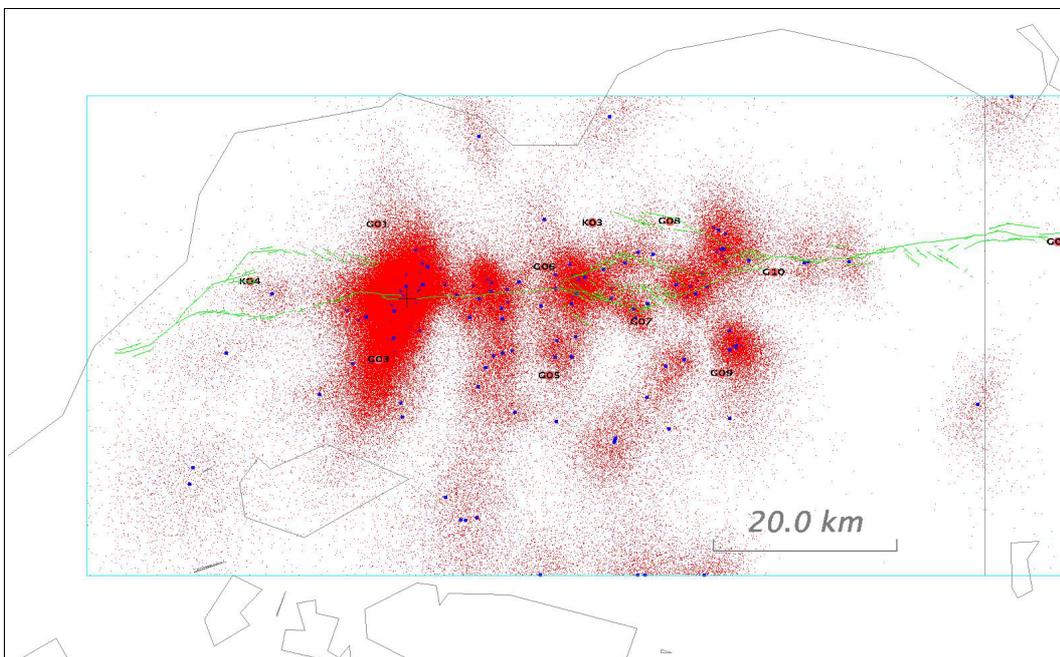


## Figure 7 – Re-localisation dans un modèle 3D – densité de probabilité : juillet 2011.

Les re-localisations avec NonLinLoc et dans le modèle 3D "model3D\_Baty" pour juillet 2011 avec densité de probabilité PDF).



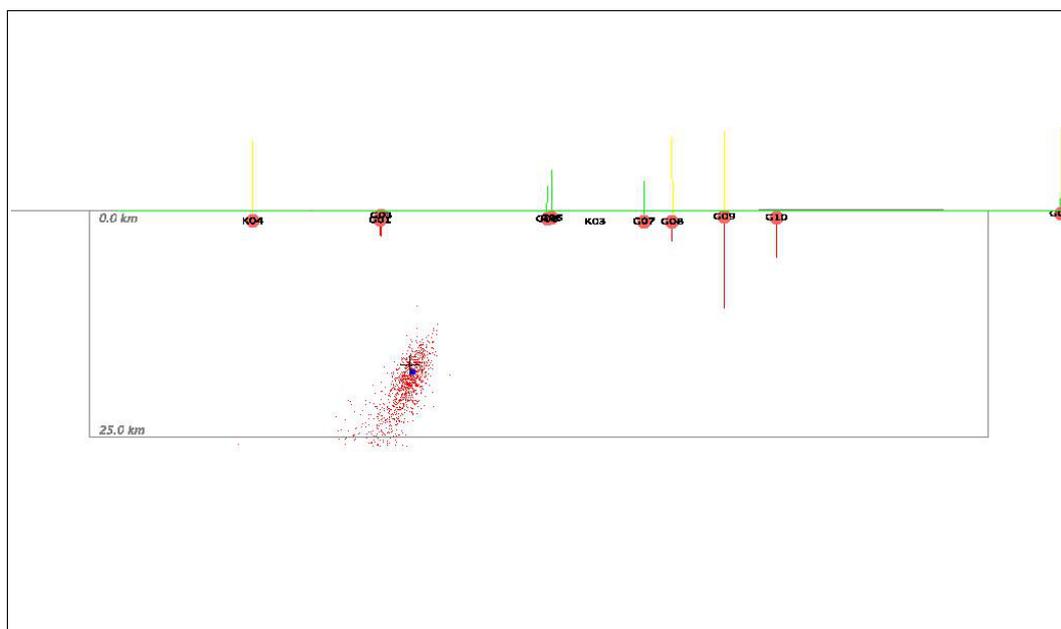
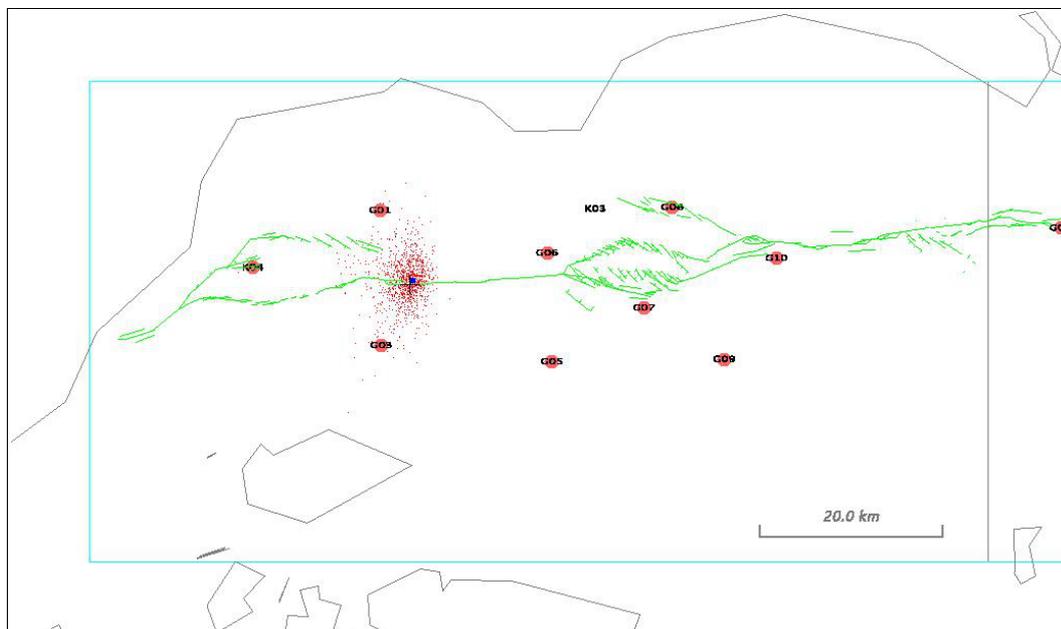
PDF's des re-localisations NonLinLoc de Figure 5.



PDF's des re-localisations NonLinLoc avec « corrections des stations » de figure 6.

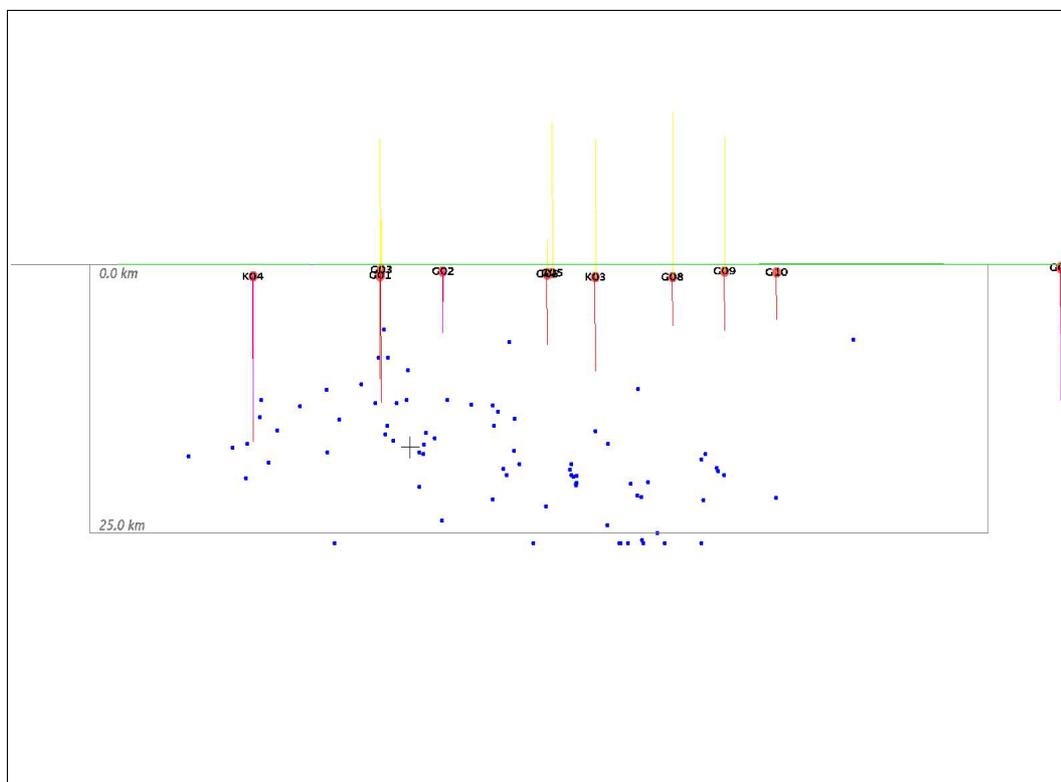
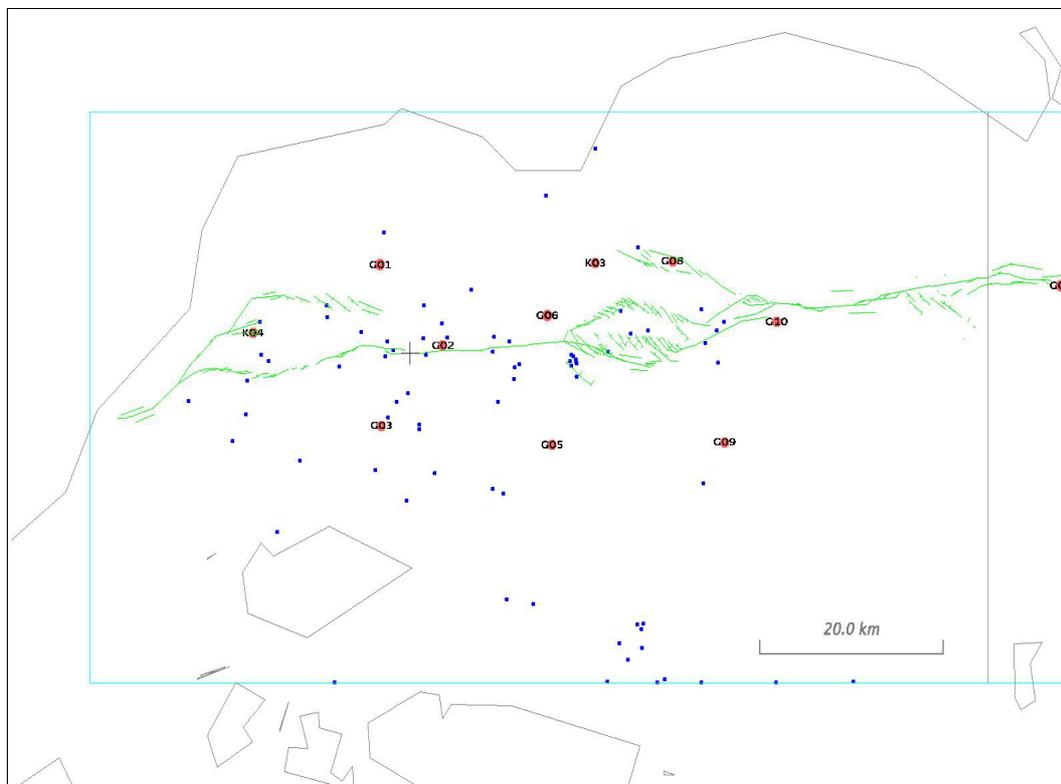
## Figure 8 – Re-localisation dans un modèle 3D – densité de probabilité : M5.1 séisme de 2011.07.25.

Les re-localisations avec NonLinLoc dans le modèle 3D "model3D\_Baty" et avec « corrections des stations », pour le M5.1 séisme de 2011.07.25 17:57 avec densité de probabilité PDF. Croix noire : localisation de DEPREM.

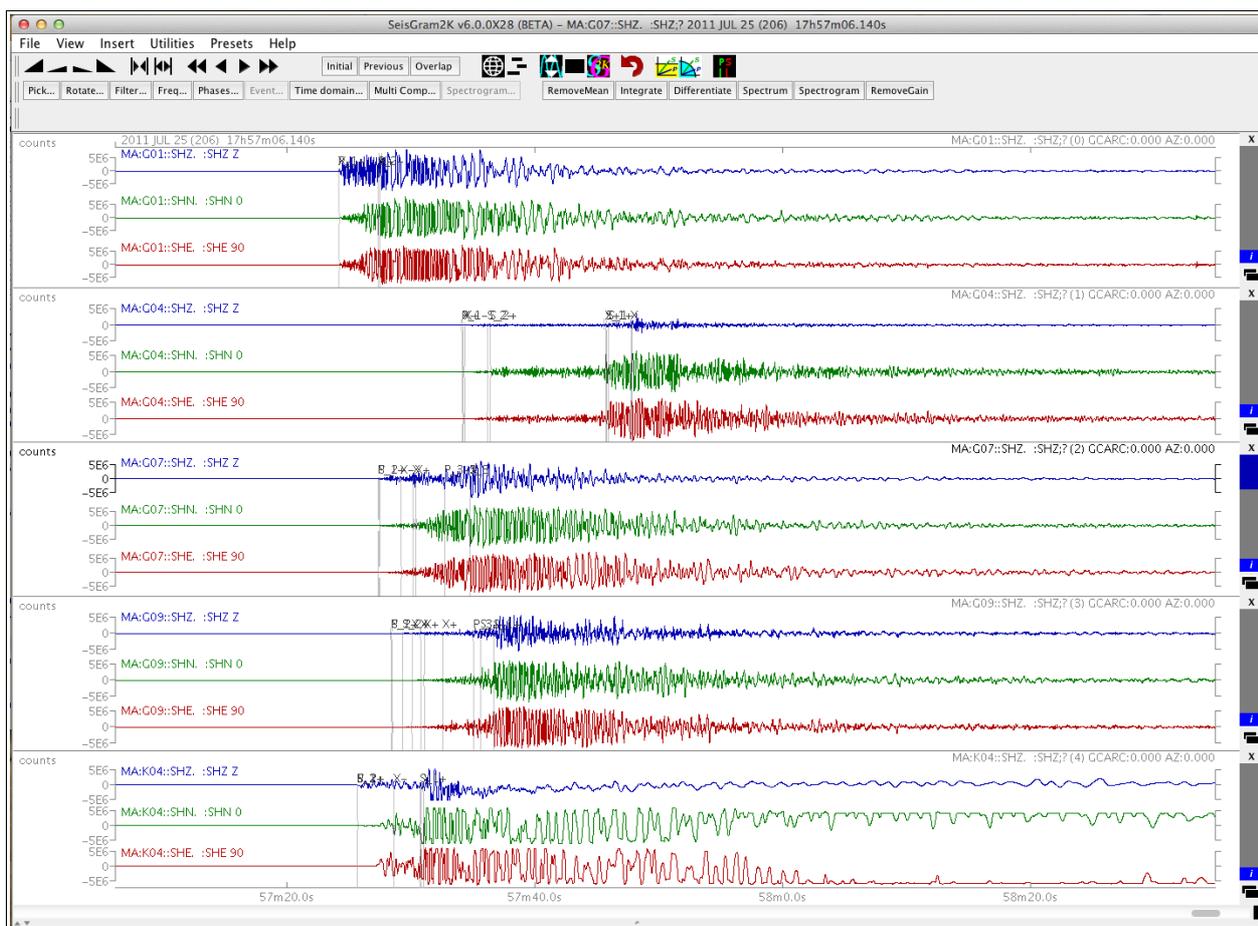


## Figure 9 – Re-localisation avec « corrections des stations » dans un modèle 3D : mai 2011.

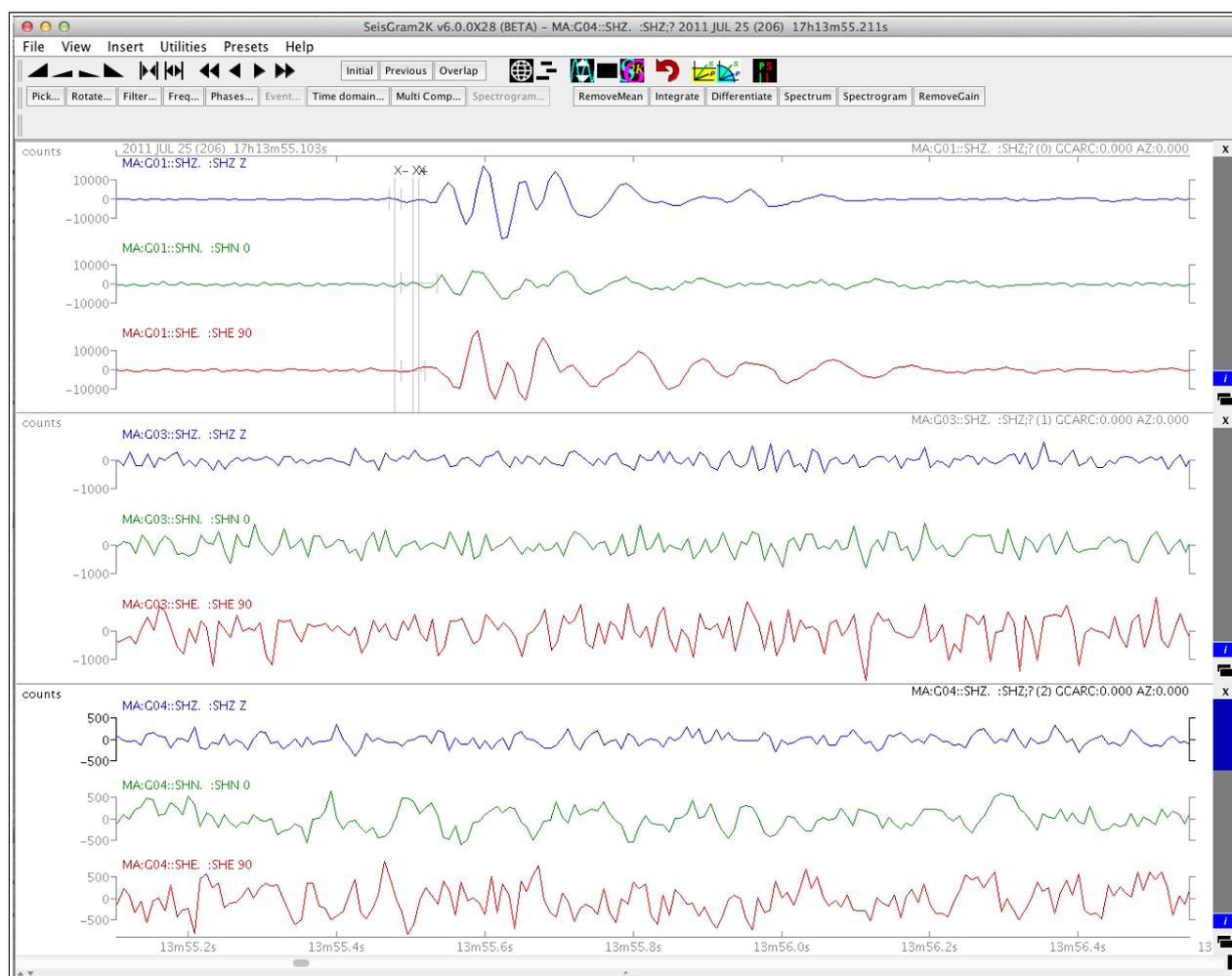
Re-localisation avec NonLinLoc et dans le modèle 3D "model3D\_Baty" des événements trouvés par Early-est pour mai 2011, avec les « corrections des stations » trouvées pour les localisations de juillet 2011. (78 événements avec  $RMS \leq 1\text{sec}$ ,  $StdErr \leq 10\text{km}$ ,  $N_{\text{phase}} \geq 8$ ).



**Figure 10 – Visualisation des pointées et formes des ondes avec SeisGram2K : M5.1 séisme de 2011.07.25.**



**Figure 11 – Visualisation des pointées et formes des ondes avec SeisGram2K : événement non-associé.**



## Annexe 2 - Performance du réseau des stations disponibles

La performance d'un réseau de stations sismiques peut être mesuré par cartes de la seule de détection et localisation du réseau en fonction de la magnitude des événements, le niveau du bruit des signaux, etc., et par cartes de l'erreur de localisation temporelle et spatiale prévue pour différents cas de jeu des stations et pointées disponibles, magnitude, modèles de vitesse, erreurs des pointées et temps de parcours, etc. (e.g. Stabile et al., 2013).

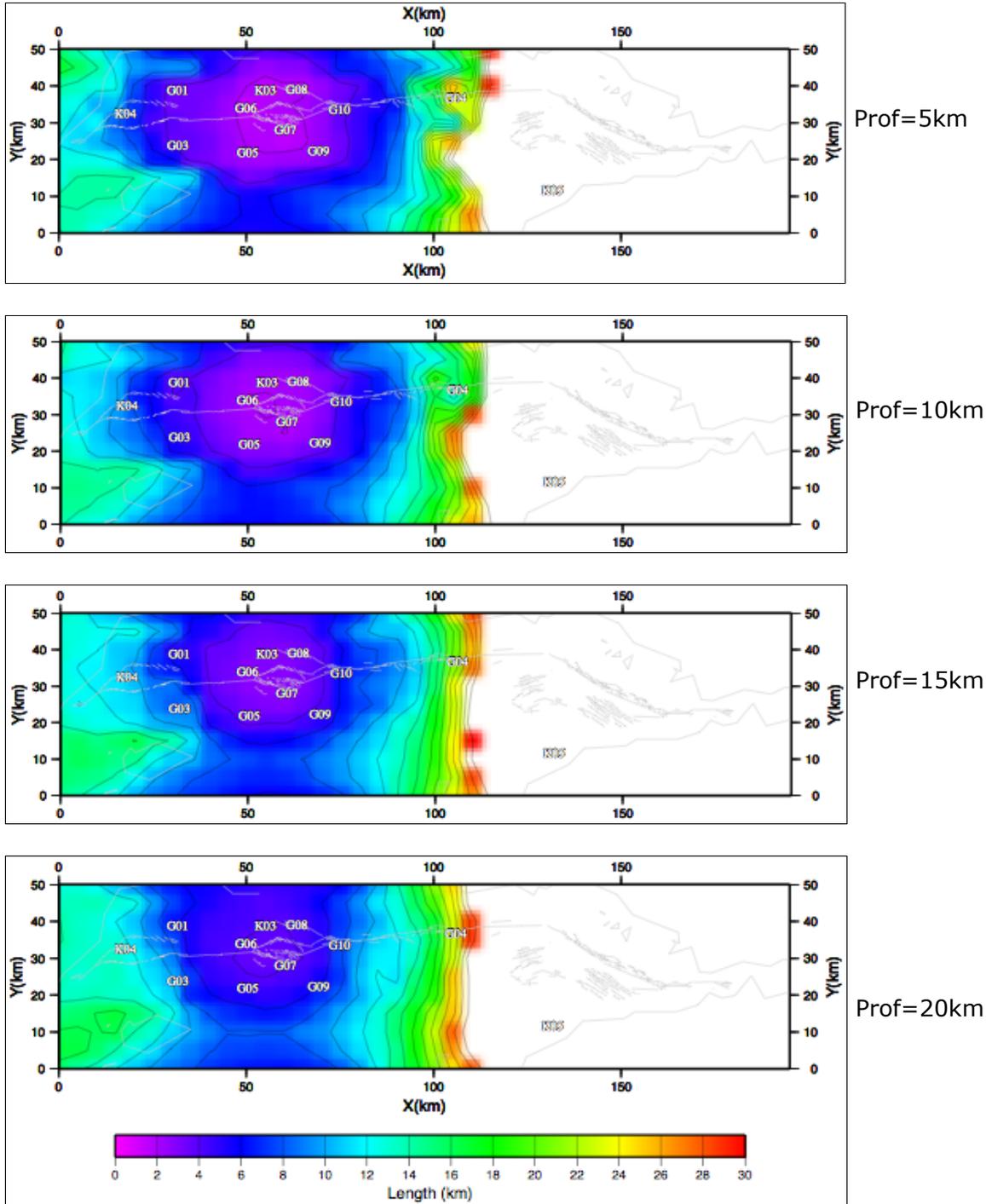
Ici nous examinons quelques cartes de l'erreur de localisation spatiale du réseau des stations OBS disponibles (G01, G03-10, K03-05) pour mieux comprendre les caractéristiques et capacité du réseau actuel et les améliorations qui peuvent être faites avec l'ajout des données des autres stations. Ces cartes sont faites à partir des localisations NonLinLoc avec des données de temps d'arrivées synthétiques pour des hypocentres placés sur une grille de points qui couvrent la carte. Les erreurs spatiales sont tirées de la matrice de covariance et l'ellipsoïde correspondante au densité de probabilité PDF générée par NonLinLoc.

Ces erreurs de localisation spatiales montrent les effets de la géométrie des stations et pointées disponibles, les incertitudes a-priori sur les pointées et temps de parcours, et la partie d'incertitude due aux erreurs de modèle. Ces erreurs ne contiennent pas la partie biais de l'hypocentre due aux erreurs du modèle ou erreurs grossières des temps ou identification (e.g. P ou S) des pointées.

Stabile, T.A., G. Iannaccone, A. Zollo, A. Lomax, M. F. Ferulano, M. L. V. Vetri, L. P. Barzaghi (2013), A comprehensive approach for evaluating network performance in surface and borehole seismic monitoring, *Geophys. J. Int.*, 192, 793-806, doi: 10.1093/gji/ggs049.

## Figure A2.1 – Erreur de localisation spatiale en fonction de profondeur.

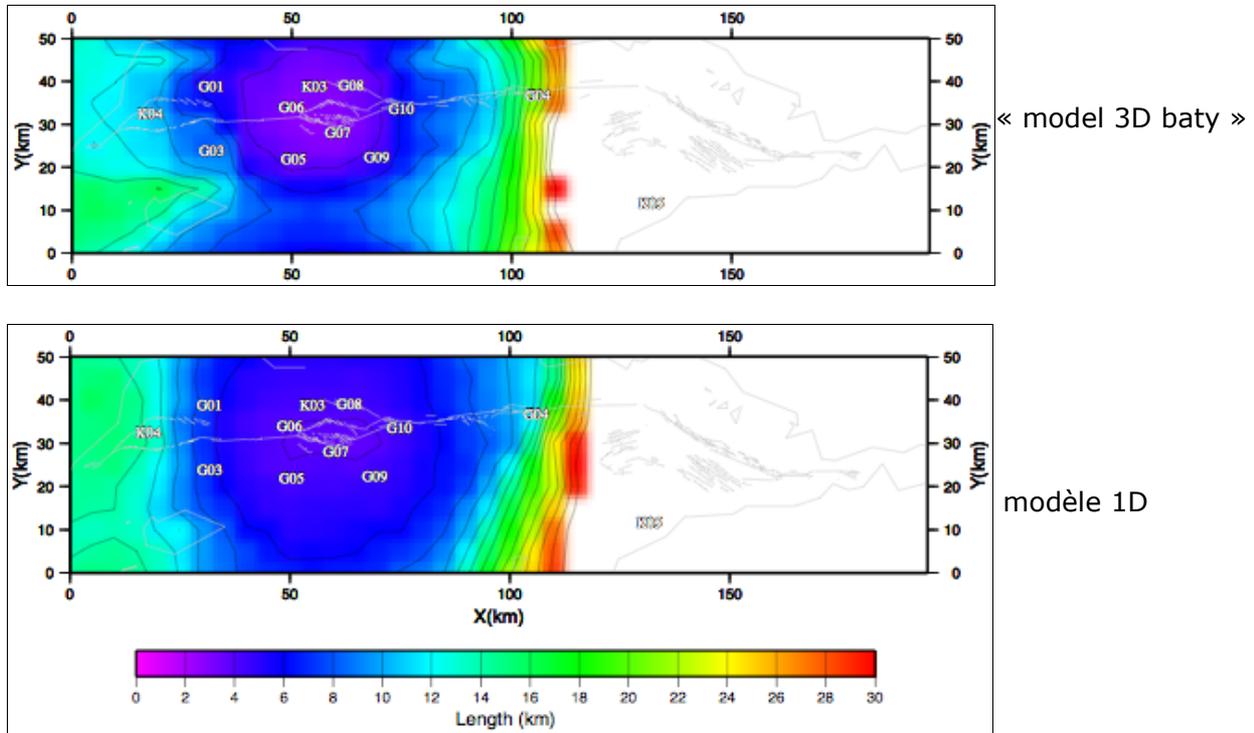
Erreur de localisation (principale demi-axe de l'ellipsoïde d'erreur spatial) pour données temps d'arrivées synthétiques dans le modèle « model 3D baty », localisation NonLinLoc avec le modèle « model 3D baty », pointées P et S pour toutes stations avec incertitude 0.05s. A noter : Faible erreur (< 4km) seulement dans l'intérieur du polygone délimitée par les stations à l'ouest (Figure 1). Augmentation d'erreur avec profondeur.



## Figure A2.2 – Erreur de localisation spatiale en fonction de modèle de localisation.

Erreur de localisation (principale demi-axe de l'ellipsoïde d'erreur spatial) pour données temps d'arrivées synthétiques dans le modèle « model 3D baty », localisation NonLinLoc avec le modèle « model 3D baty » ou modèle 1D d'Estelle CROS (20130419), pointées P et S pour toutes stations avec incertitude 0.05s. Profondeur 15km.

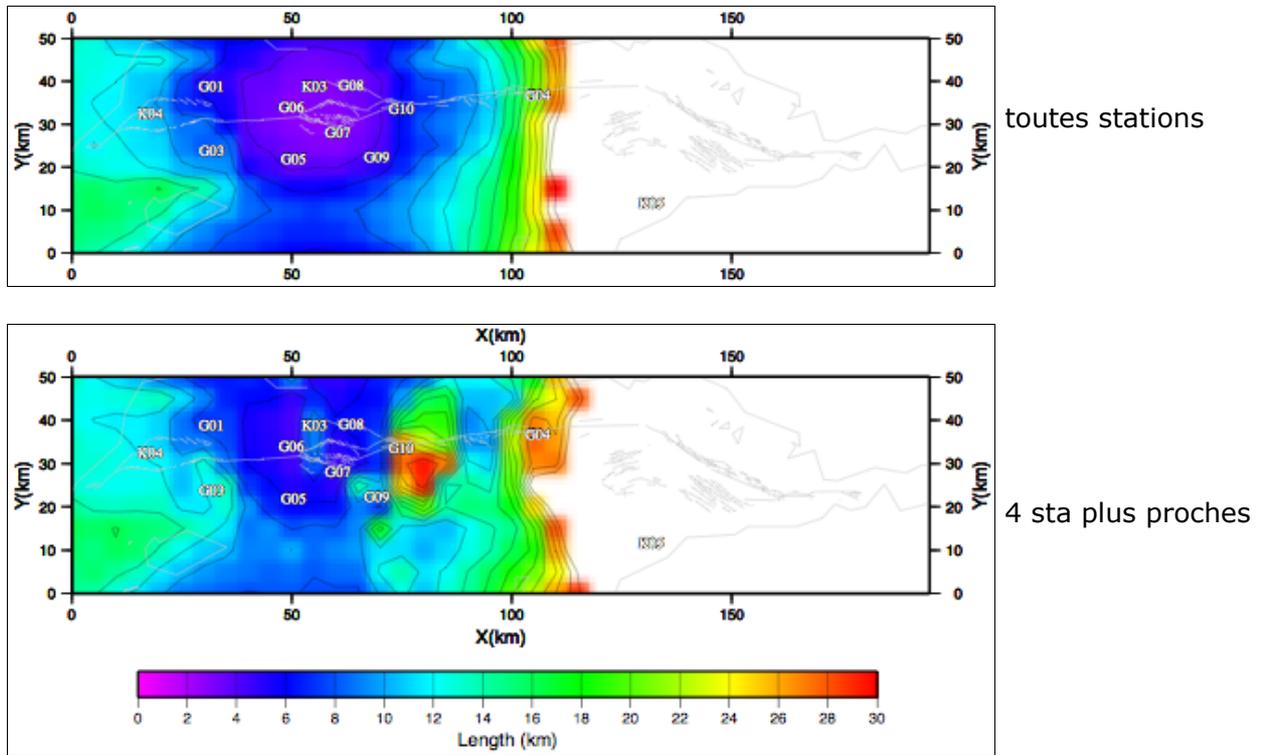
A noter : Augmentation d'erreur avec modèle de localisation différente de cela de calcul des temps d'arrivées – ceci est toujours le cas, plus ou moins, en réalité.



### Figure A2.3 – Erreur de localisation spatial en fonction de nombre des pointées.

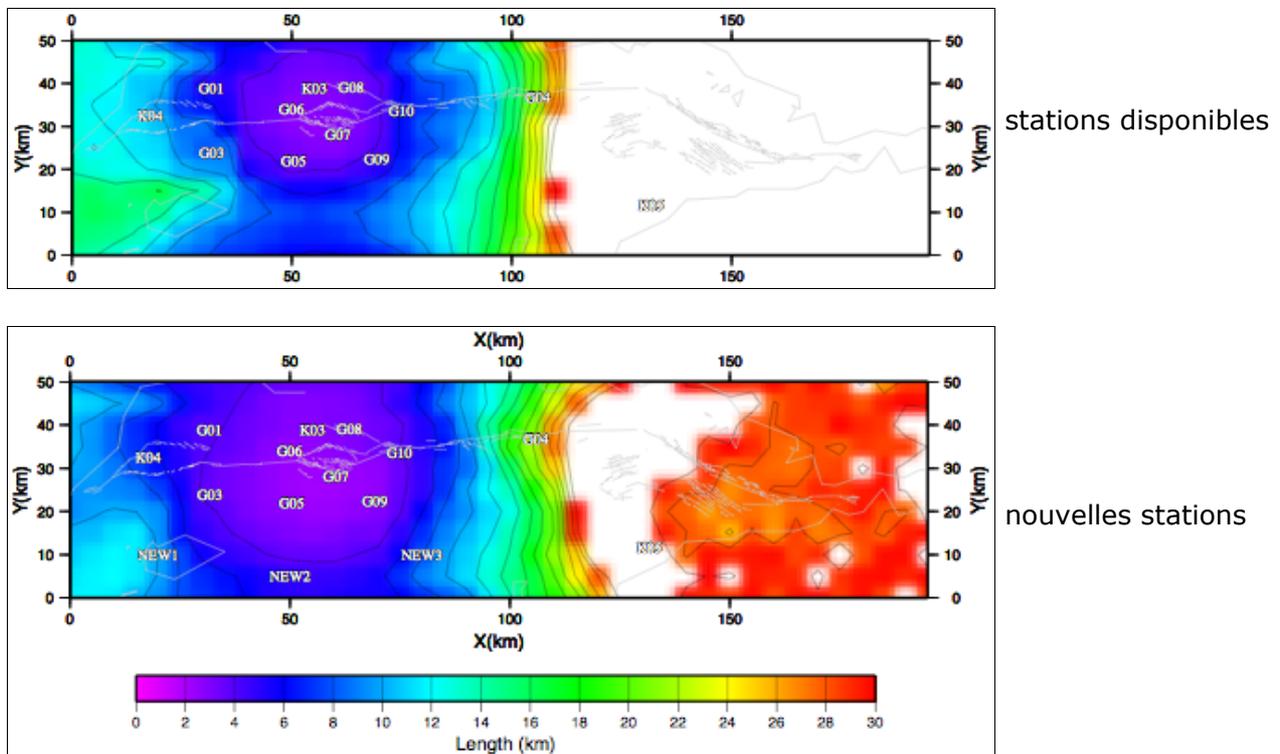
Erreur de localisation (principale demi-axe de l'ellipsoïde d'erreur spatial) pour données temps d'arrivées synthétiques dans le modèle « model 3D baty », localisation NonLinLoc avec le modèle « model 3D baty », pointées P et S pour toutes stations ou 4 stations le plus proches de l'épicentre, avec incertitude 0.05s. Profondeur 15km.

A noter : Augmentation et variabilité d'erreur avec peu des pointées / stations. Le nombre des pointées / stations disponibles varie en fonction de la magnitude de l'événement, le niveau de bruit, forme du premier onset P, ...



## Figure A2.4 – Erreur de localisation spatial en fonction de nombre des stations.

Erreur de localisation (principale demi-axe de l'ellipsoïde d'erreur spatial) pour données temps d'arrivées synthétiques dans le modèle « model 3D baty », localisation NonLinLoc avec le modèle « model 3D baty », pointées P et S pour toutes stations disponibles et avec 3 nouvelles stations éventuelles (NEW1-3), avec incertitude 0.05s. Profondeur 15km.  
A noter : Avec 3 nouvelles stations, la zone de faible erreur est très agrandi.



## **Annexe 3 – Etude préliminaire des localisations non-linéaire « double-différence »**

Pour mieux définir les positions relatifs des hypocentres, nous examinons ici les localisations de Figure 6 (Re-localisation avec « corrections des stations » dans un modèle 3D : juillet 2011) re-localisées avec un logiciel de localisation relative « double-différence » et non-linéaire, NLDiffLoc. (La documentation NLDiffLoc-0.0.1\_users\_guide.pdf donne plus des informations sur NLDiffLoc.)

Figure A3.1 montre les localisations NLLoc (absolue) de Figure 6 et les localisations NLDiffLoc (relative) autour de M5.1 séisme de 2011.07.25 17:57 pour une sélection des événements (mois de juillet 2011, demi-axe ellipsoïde  $\leq 8\text{km}$ , rms  $\leq 0.5\text{s}$ , Nsta  $\geq 10$ , gap  $\leq 135$ ) et pour données temps différentielle pour hypocenters NLLoc avec écart spatial  $\leq 5.0\text{km}$ . Les localisations NLDiffLoc sont fait à partir des temps différentielle des pointées absolues Early-est P ; il ne s'agit pas des temps différentielle cross-corrélation, qui peuvent donner des positions des hypocenters relatifs encore plus précis. Les localisations NLDiffLoc sont fait avec le norme L1.

Les résultats relatives par rapport aux résultats absolues montre :

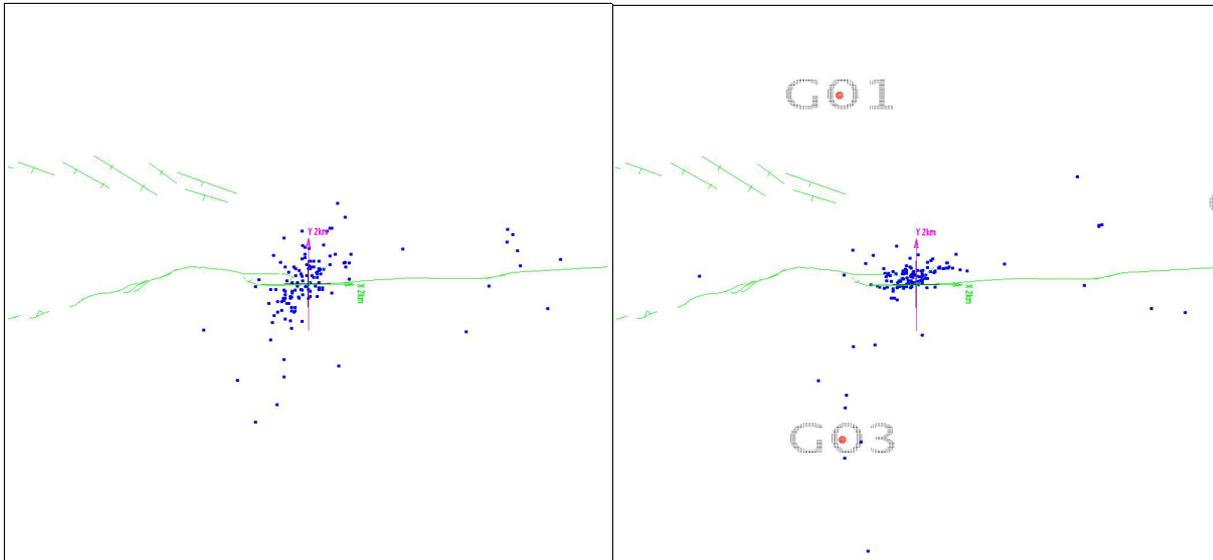
1. Le plupart des hypocenters relatives se trouvent sur un plan mince ( $< 1\text{km}$ ) et relativement compacte ( $< 4\text{km}$ ) plus ou moins parallèle aux failles et plus ou moins vertical.
2. Profondeurs et positions epicentrales moyennes plus ou moins identiques pour les hypocenters relatives et absolues.
3. Les répliques sont moins profonds que le séisme principale M5.1.
4. Les hypocenters relatives donne une suggestions d'activité sur multiples failles ou sur une surface complexe/courbe (Figure A2.1c). Mais il faut vérifier ceci – il peut avoir des causes due au changement des données disponibles (e.g. différence des tailles des événements, nombre des stations en activité, ...).

### Figure A3.1 – Localisations absolues et relatives.

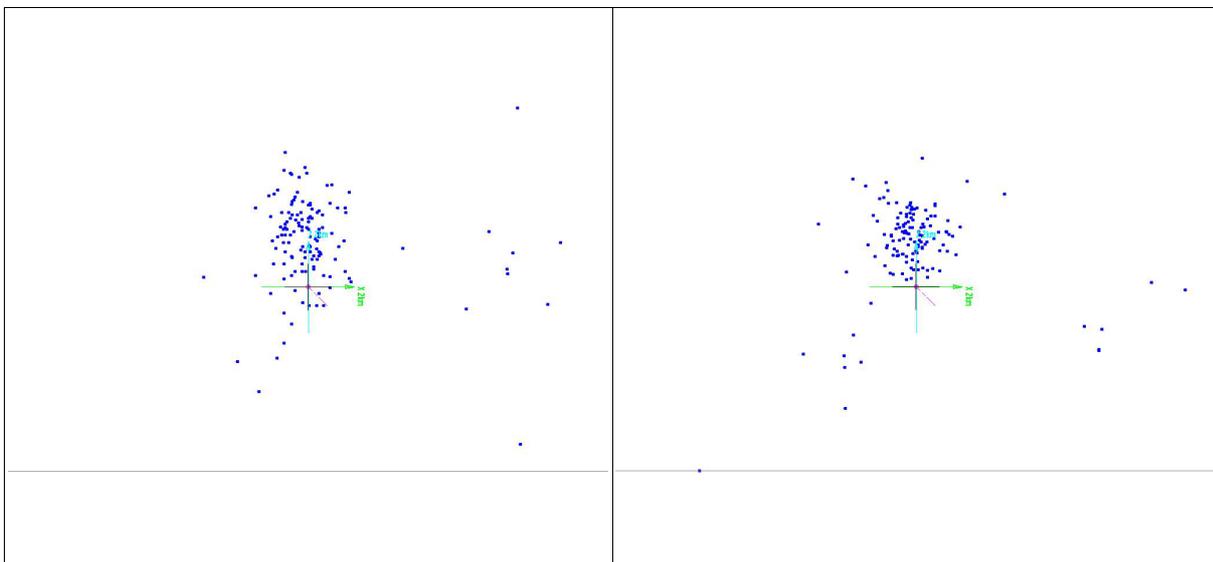
Localisations NLLoc (absolue) de Figure 6 et les localisations NLDiffLoc (relative) pour une sélection des événements autour de M5.1 séisme de 2011.07.25 17:57 (croix noire : localisation de DEPREM ; la localisation NLDiffLoc est a mois de 0.5km du croix noir).

NLLoc (absolue)

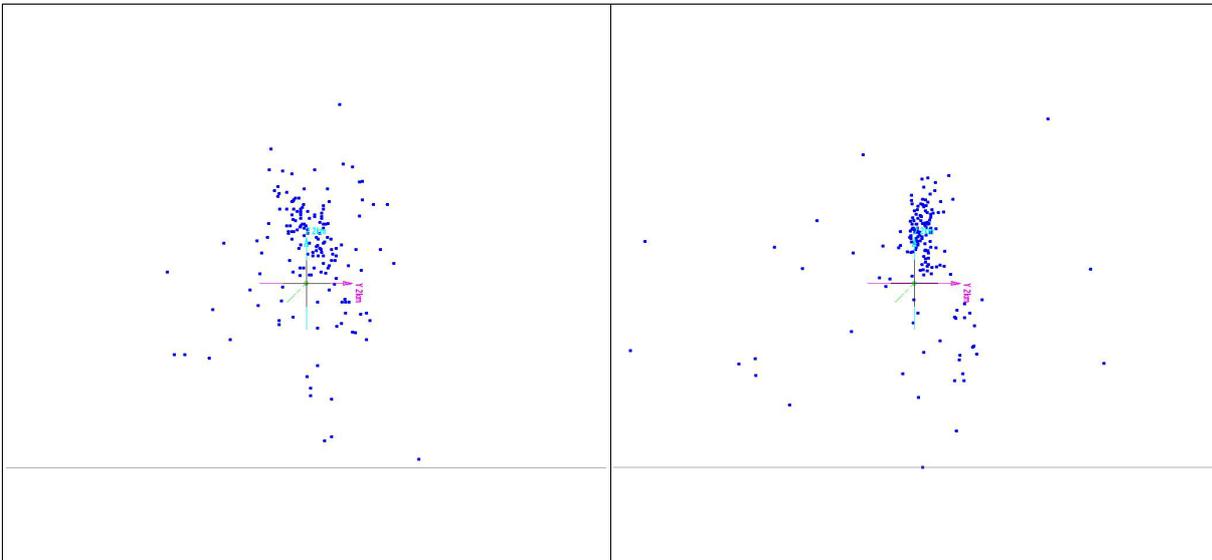
NLDiffLoc (relative)



a) Vue d'en haut



b) Vue du sud



c) Vue de l'est

Figure A3.2 montre les localisations NLLoc (absolue) les localisations NLDiffLoc (relative) dans le modèle BCC (model3D\_Quentin) et pointées d'Estelle converti en format hypoDD par JB Tary (phasemarmara.dat, 03/06/2014) pour une sélection de 138 événements (demi-axe ellipsoïde  $\leq 18\text{km}$ , rms  $\leq 0.25\text{s}$ , Nsta  $\geq 7$ , gap  $\leq 150$ ) et pour données temps différentielle pour hypocenters NLLoc avec écart spatial  $\leq 5.0\text{km}$ . Les localisations NLDiffLoc sont fait à partir des temps différentielle des pointées absolues phasemarmara.dat. Les localisations NLDiffLoc sont fait avec le norme L1.

Les résultats relatives par rapport aux résultats absolues montre :

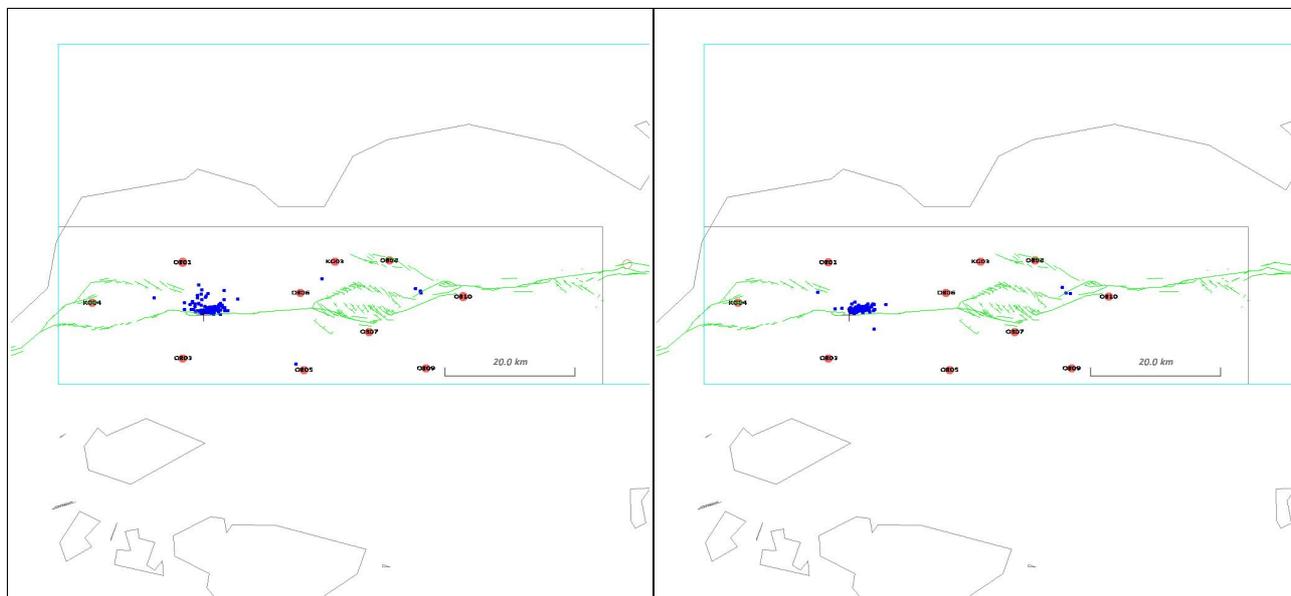
1. Le plupart des hypocenters reste a un profondeur assez superficielle avec des localisations absolue et relative assez similaires.
2. Les profondeurs des certains hypocenters est moins profonds, mais avec une distribution flou, entre la concentration des hypocenters superficielle et 15 km.

## Figure A3.2 – Localisations absolues et relatives (modèle BCC, phasemarmara.dat).

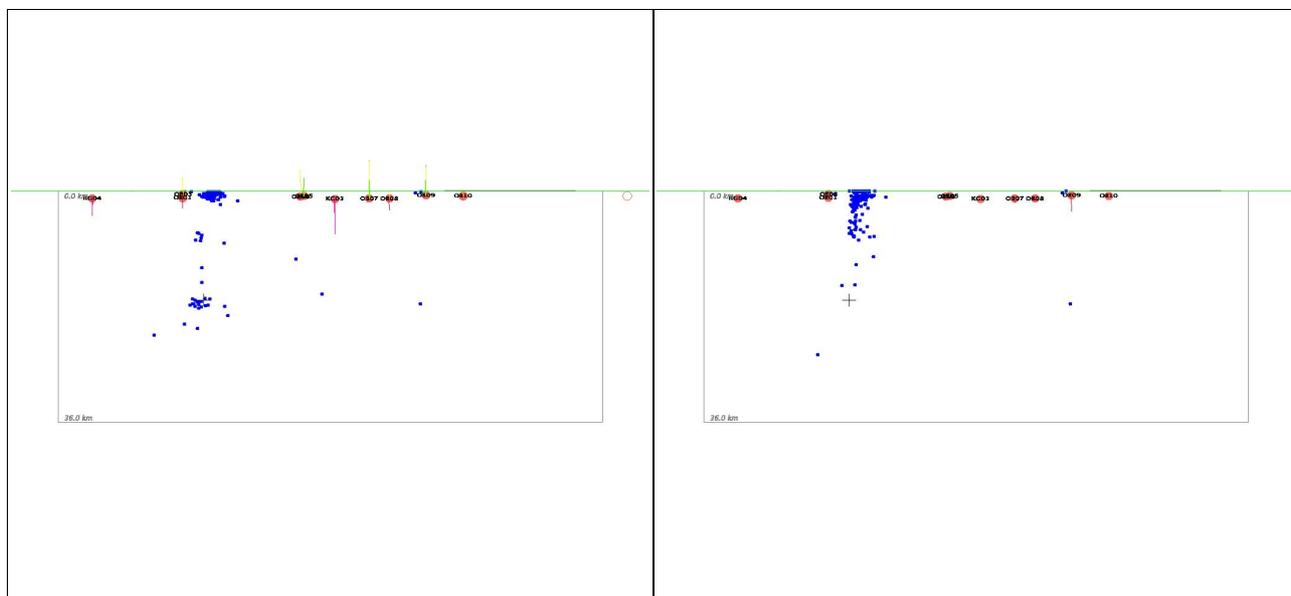
Localisations NLLoc (absolue) et les localisations NLDiffLoc (relative) pour une sélection des événements.

NLLoc (absolue)

NLDiffLoc (relative)



a) Vue d'en haut



b) Vue du sud