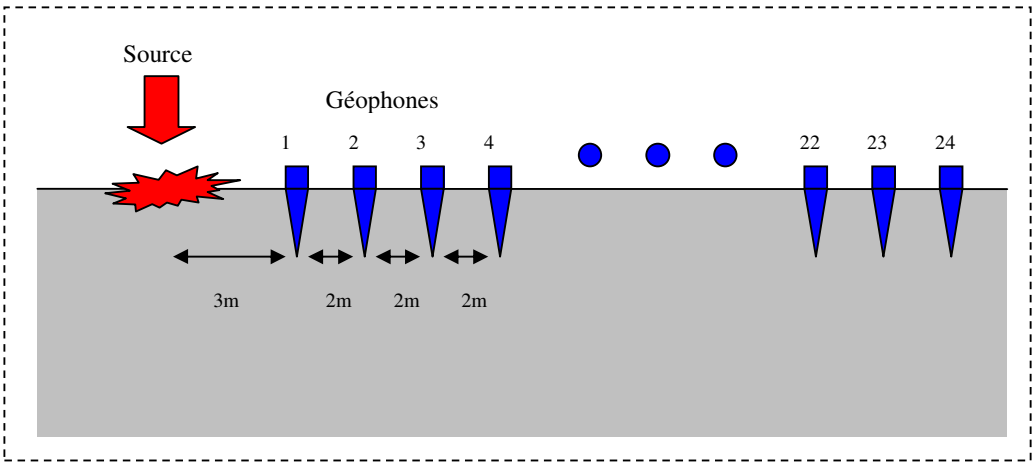
SWAN (Surface waves analysis)

Ce manuel contient des instructions détaillées pour exécuter l'interprétation, en utilisant **SWAN**, des données MASW-SASW présentes en annexe. Ces 2 exemples décrits ont été étudiés de manière à permettre l'utilisation des outils mis à disposition par le programme.
Annexés à ce document, se trouvent des fichiers ayant comme extension sg2, insérés dans 2 documents divers:

- le document *Sample1* contient les fichiers *File1.sg2*, *File2.sg2*, *File3.sg2*, *File4.sg2* e *File5.sg2*. Les donne contenues dans ces fichiers nécessitent ine phase d'élaboration préliminaire pour pouvoir en corriger les défauts; de cette manière il sera possible d'utiliser les outils de pré-processing de **SWAN**.
- le document *Sample2* contient seulement le fichier *FileTot.sg2*. Ce fichier a été obtenu par l'élaboration, moyennant **SWAN**, des 5 fichiers présents dans le document *Sample1*. Ce fichier permet de créer un projet avec **SWAN** tout en évitant la phase de pré processing et il sera ainsi possible d'accéder directement à la phase d'interprétation.

Les données sont relatives à I'acquisition MASW-SASW, et ont été sauvegardées dans un format *SEG-2*. Les acquisitions ont été effectuées en utilisant un "array" composé de 24 géophones positionnés tout les 2 mètres. La source est située à 3 mètres du premier géophone, à l'extérieur de l'array.



Le temps d'échantillonnage est de 1 milliseconde (c'est à dire que la fréquence d'échantillonnage est de 1000Hz ou 1KHz), et la durée d'acquisition est de 2 secondes.
Cinq énergisations ont été effectuées, avec la même configuration, chacune sauvée dans un fichier différent.

Les fichiers ont été volontairement altérés de manière à simuler quelques éventuelles problématiques pouvant être liées à la phase d'acquisition:

- Dans le fichier *File1.sg2*, les géophones 18 et 19 ont été reliés avec des polarisations inverses.
- Dans le fichier *File1.sg2* les géophones 23 est défectueux ou bien a été relié mal.
- Dans le fichier *File2.sg2* le temps de "pre-trigger" est inférieur par rapport aux autres fichiers.
- Dans le fichier *File3.sg2* les géophones sont numérotés dans l'ordre décroissant.
- Dans le fichier *File4.sg2* sur les géophones de 9 à 14, une compostante continue superposée au signal utile est présente.
- Dans le fichier *File5.sg2* un forte perturbation est présente sur le signal utile.

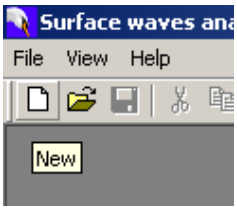
Phases d'élaboration:

Pour interpréter les données avec **SWAN** il sera nécessaire exécuter les opérations suivantes, qui seront décrites par la suite:

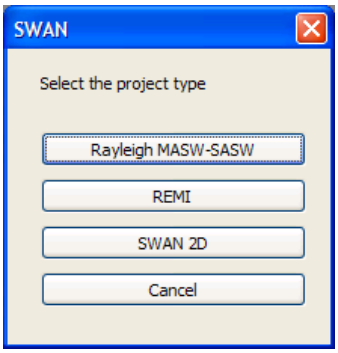
- Création d'un projet MASW-SASW.
- Connexion des fichiers, contenant des données à élaborer, au projet créé.
- Eventuelle phase de pré-processing pour manipuler les données de manière à améliorer la qualité de l'interprétation successive.
- Passage du sismogramme au domaine spectral par la transformée FK.
- Extraction de la courbe de dispersion expérimentale par interprétation du spectre FK.
- Inversion, ou génération d'un modèle synthétique auquel soit associée une courbe de dispersion théorique bien superposée à celle expériementale.

Créer un nouveau projet MASW-SASW:

- Une fois installé **SWAN**, ouvrir le en cliquant sur l'icône sur le bureau ou grâce à un lien présent sur le menu de démarrage de Windows.
- Spécifier que l'on souhaite créer un nouveau projet par les commandes *Menù*>*File*>*New*, ou par la touche sur la barre des outils.



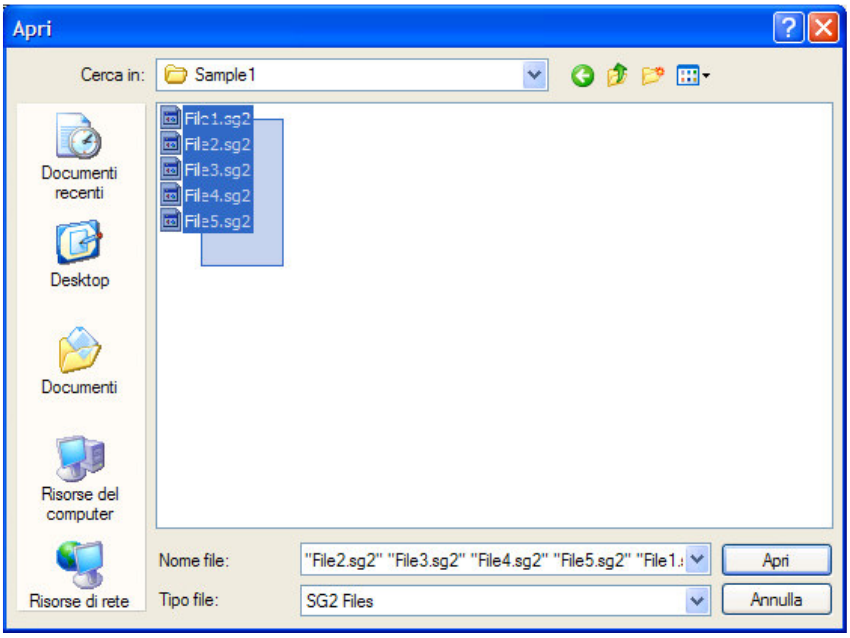
- Sélectionner le type de projet voulu, c'est à dire cliquer sur la touche relative au projet MASWSASW.



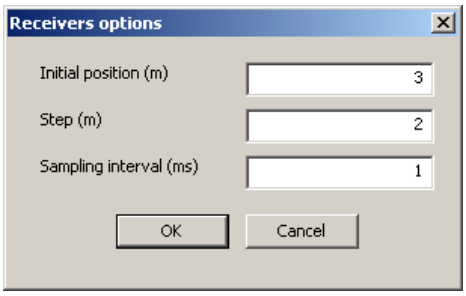
Connexion des fichiers au projet:

Projet lié aux données contenues dans le document *Sample1*

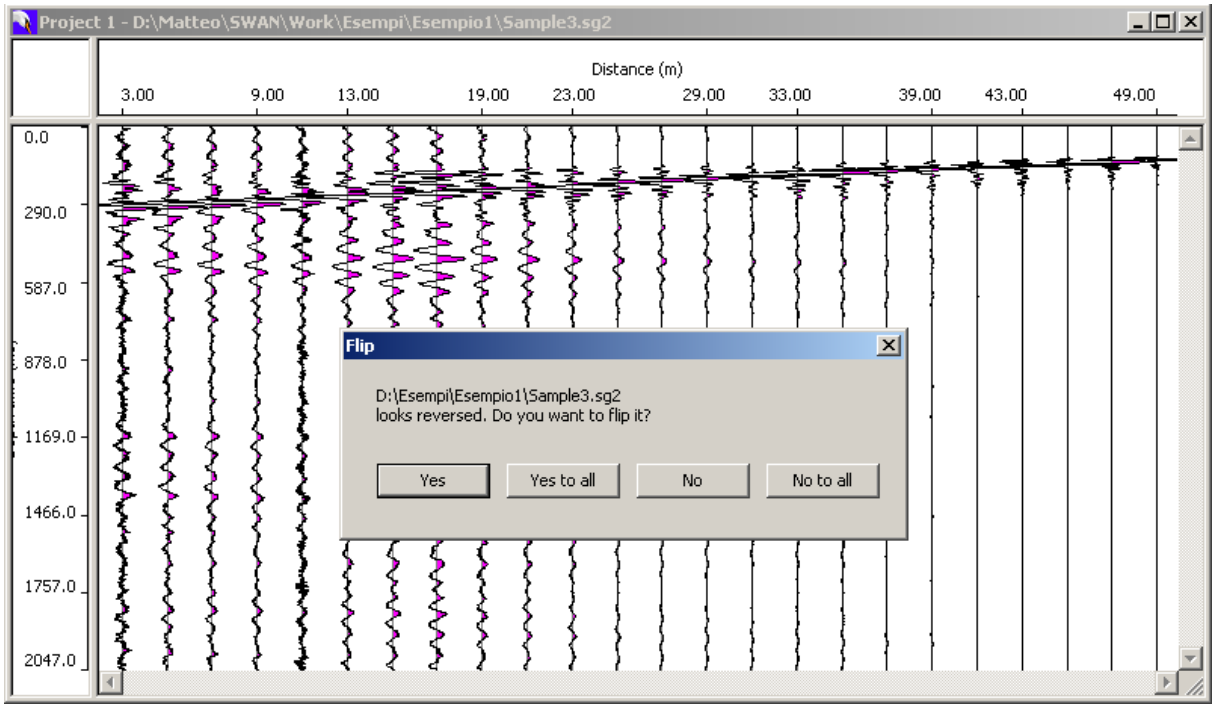
- Une fois sélectionné le type de projet, **SWAN** ouvrir une fenêtre de dialogue dans laquelle (une fois le document *Sample1* ajouté) sélectionner les fichiers *File1.sg2 ..File5.sg2*.



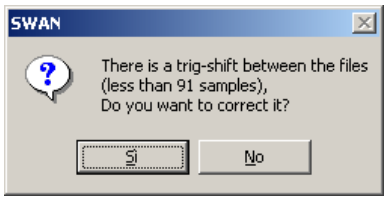
- Une fenêtre s'ouvrira dans laquelle sera demandé d'insérer la valeur de quelques grandeur, en accord avec la phase d'acquisition. L'*initial position* est la distance entre le premier géophone et la source, c'est-à-dire 3 mètres, le *step* est la distance entre géophones, donc 2 mètres, alors que le *sampling interval* est le temps d'échantillonnage, qui vaut 1milliseconde. Cliquer sur *OK* pour compléter l'importation des donne.



- **SWAN** relève que le fichier *File3.sg2* a été obtenu avec les canaux ordonnés inversement. Cliquer sur *Yes* situé dans la fenêtre visualisée pour spécifier que l'on souhaite que **SWAN** corrige ce problème.

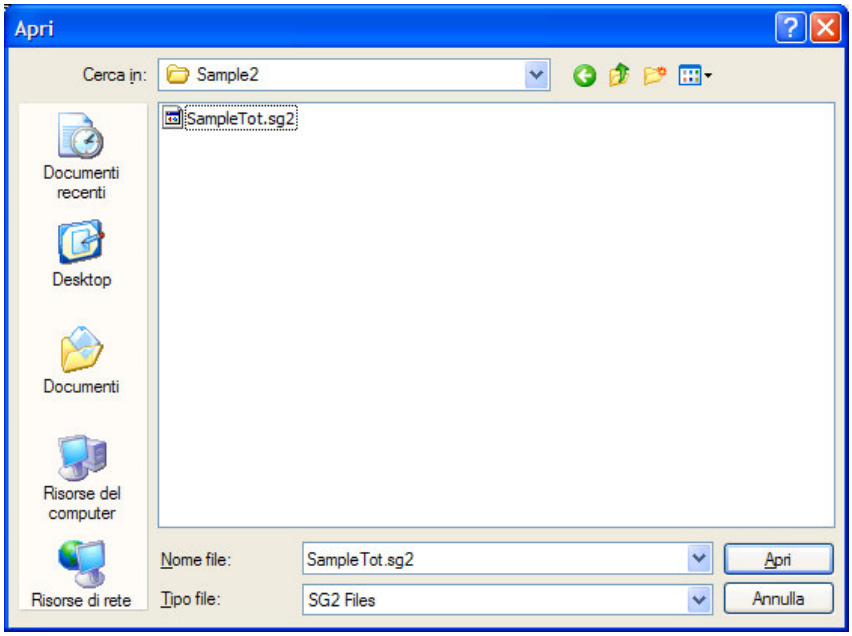


- **SWAN** reconnaît, en observant les données, que le signal dans le fichier *File2.sg2* n'est pas bien synchronisé par rapport aux autres données, le déplacement étant important (presque un dizième de seconde) il est important de corriger ce problème, cliquer sur *Yes*.

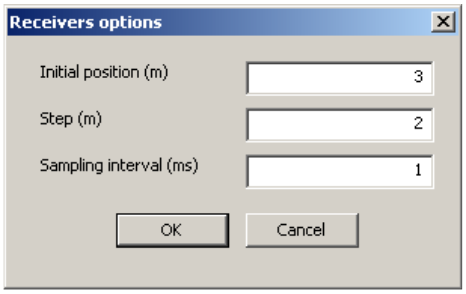


Projet lié aux données contenues dans le document *Sample2*

- Une fois sélectionné le type de projet, **SWAN** ouvre une fenêtre de dialogue au travers laquelle (une fois le document *Sample2* rajouté)il faut sélectionner le fichier *FileTot.sg2*.



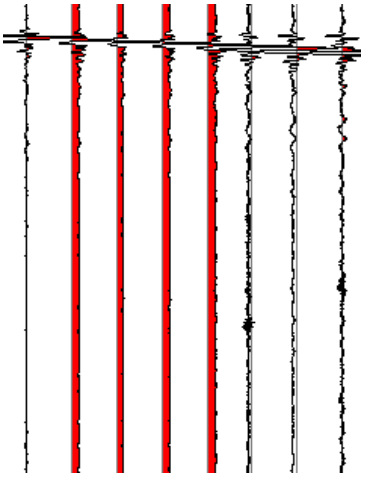
- Une fenêtre s'ouvrira dans laquelle sera demandé d'insérer la valeur de quelques grandeurs, en accord avec la phase d'acquisition. L'*initial position* est la distance entre le premier géophone et la source, donc 3 mètre, le *step* est la distance entre géophones, donc égal à 2 mètres, alors que le *sampling interval* est le temps d'échantillonnage, valant 1 milliseconde. Cliquer *OK*.
- Si apre una finestra in cui si chiede di inserire il valore di alcune grandezze, in accordo alla fase di acquisizione. L'*initial position* è la distanza tra il primo geofono e la sorgente, quindi vale 3 metri, lo *step* è la distanza intergeofonica, quindi vale 2 metri, mentre il *sampling interval* è il tempo di campionamento, che vale 1 millisecondo. Premere il pulsante *OK* per completare l'importazione dei dati.

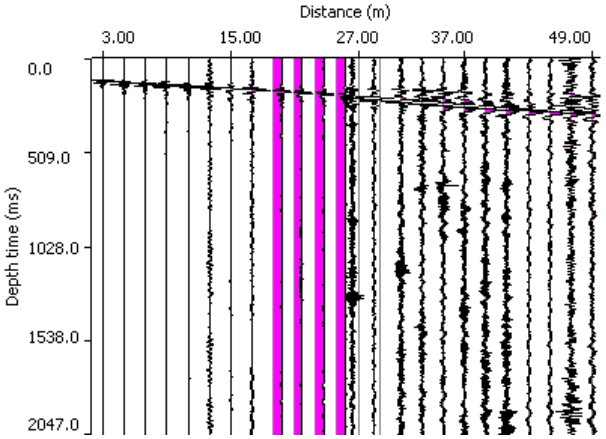


Quelque soit le projet qui ait été créé, **SWAN** ouvre diverses fenêtres : une figure pour montrer le sismogramme de chacun des fichiers connectés, une figure montrant le sismogramme moyen, e apparaît en outre une fenêtre de texte qui décrira les principales actions faites.

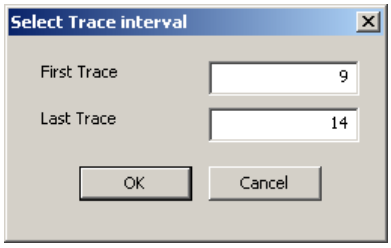
Pré-Processing:
Les opérations suivantes sont à faire seulement avec le projet créé avec les données contenues dans le *Sample1*.

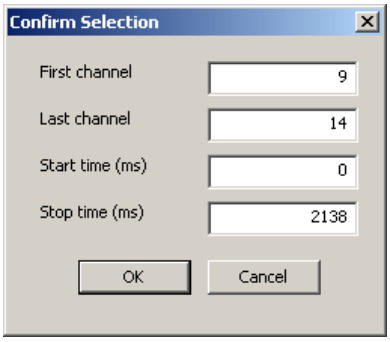
- En observant le sismogramme moyen, on note que quelques canaux montrent un signal ayant une moyenne pas tout à fait égale à zéro. Ceci pourrait poser un problème lors de l'analyse spectrale qui sera à faire.



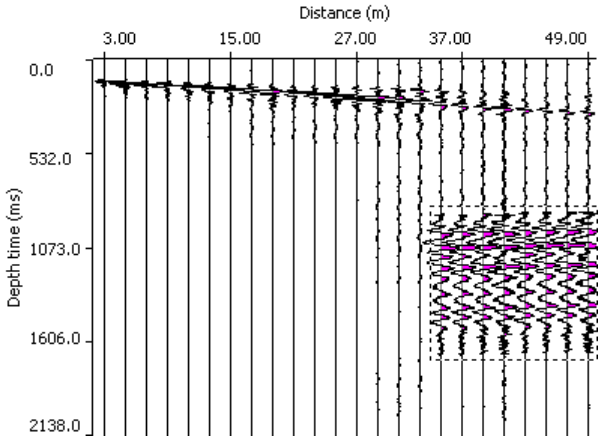


Ce problème est à associer au fichier *File4.sg2*., continuer en rendant active la fenêtre relative à ce fichier et sélectionner les canaux défectueux (c'est-à-dire du géophone 9 au 14) en faisant *Menù>Edit>Select Traces*. Sélectionner *Menù>PreProcessing>DC Remove*, pour y spécifier le type d'opération souhaitée, et cliquer sur *OK*.

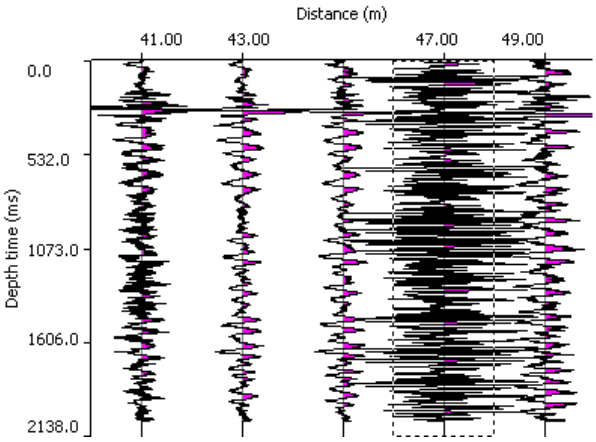


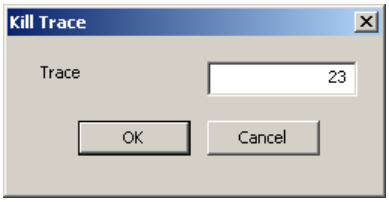


- Activer la figure relative au fichier *File5.sg2* pour observer que en correspondance avec les derniers géophones, se trouve une perturbation. Pour l'éliminer, sélectionner la partie du sismogramme entre le canal 17 e 34, e entre les 800 e 1700ms. Pour cela, dessiner un rectangle avec la souris tout en tenant appuyé le clic droit. Pour effacer cette zone, cliquer sur Canc du clavier, ou bien *Menù>Edit>Delete*.

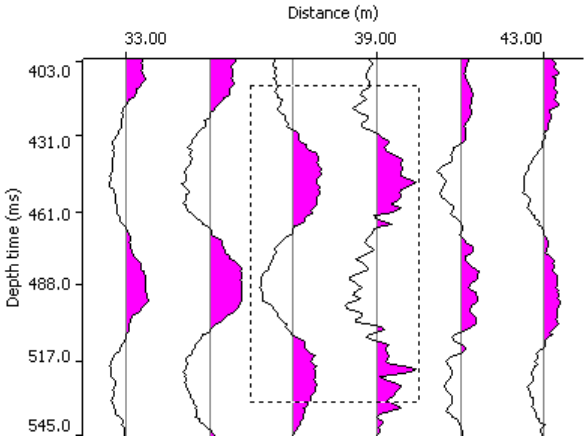


- En observant le fichier *File1.sg2*, on note que le géophone 23 n'a pas enregistré de signal utile, il convient donc l'éliminer plutôt que de laisser un tel bruit qui pertubera les prochaines analyses. Pour continuer, activer la fenêtre relative à ce fichier et sélectionner *Menù>Pre Processng>Kill Trace*, donc dans la fenêtre que **SWAN** ouvre, préciser qu'il s'agit du géophone 23 et cliquer sur *OK*.

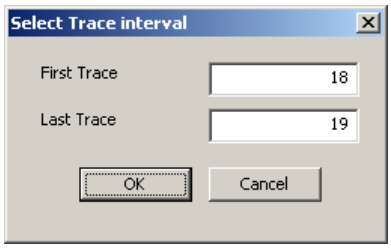


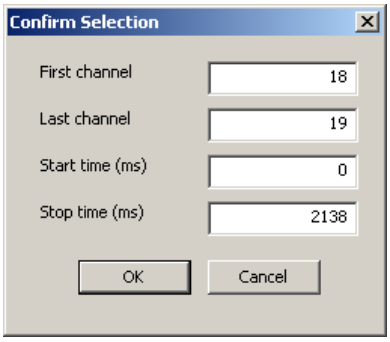


- Pour agrandir una partie del sismogramme, dessiner un rectangle grâce à la souris et au clic droit puis sélectionner *Menù>View>Zoom Area* ou cliquer sur la barre d'outils sur l'icône avec est dessinée une loupe.
  Pour retourner à la visualisation du sismogramme en entier, cliquer sur *Menù>View>Zoom Out* ou faire un double clic droit sur la figure.
- Une zone intéressante à observer est dans la figure relative au fichier *File1.sg2*, entre le géophone 16 et 21 et entre les 400 et 600 ms (voir sur l'image). En zoomant sur cette zone du sismogramme, il est plus facile voir que les géophones 18 et 19 ont été très probablement connectés à l'instrument d'acquisition sur des connecteurs inversés.

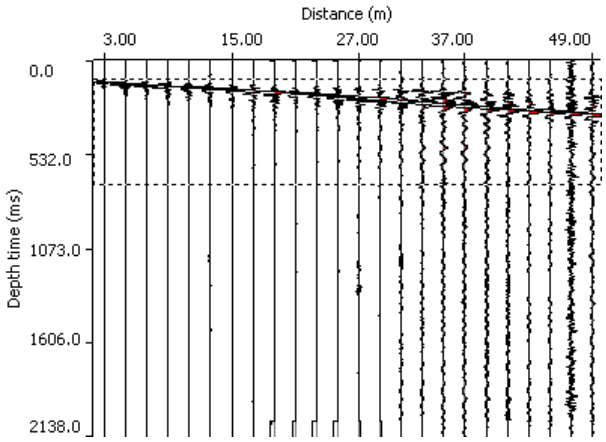


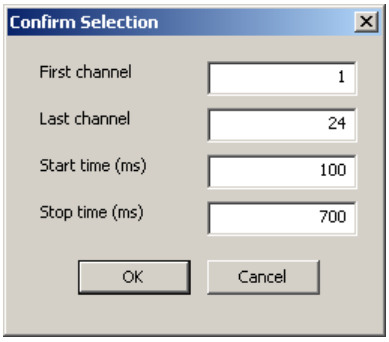
- Pour corriger le problème présenté ci-dessus, activer la fenêtre relative au fichier *File1.sg2*, cliquer sur *Menù>Edit>Select Traces* et préciser comme premier géophone le 18 et comme dernier géophone le 19. Puis *Menù>Pre-Processing>Polarity*, et cliquer sur *OK*.





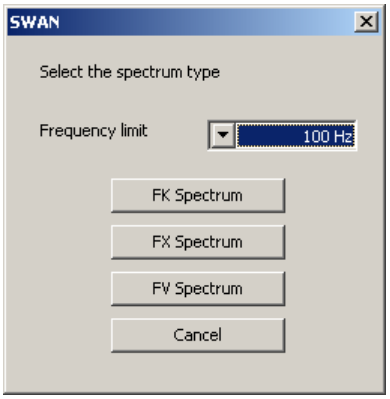
- Enfin, pour limiter l'analyse spectrale à une seule partie du sismogramme contenant le signal utile, l'extension du sismogramme peut être réduite. Activer la fenêtre correspondant au sismogramme moyen et sélectionner la zone entre les 100 et 700 millisecondes, puis cliquer sur *Menù>Pre-Processing>Resize*, et cliquer sur *OK*.



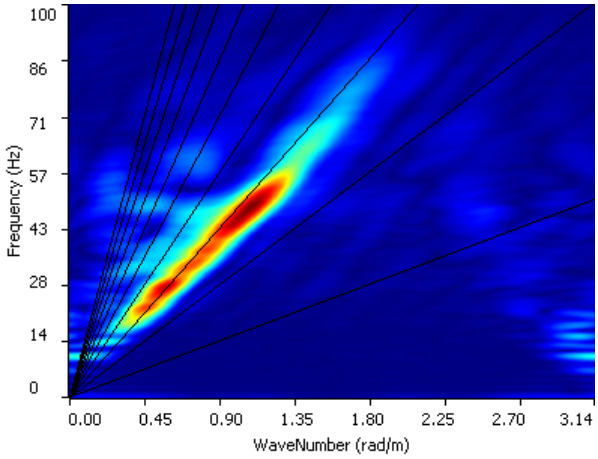


Spectre FK:
Une fois que le sismogramme moyen a été généré correctement, il faut l'élaborer grâce à la transformée de Fourier, dans le domaine FK. Avant d'exécuter cette opération, il faudra faire attention à la bande que l'on observera:

- Activer la fenêtre avec le sismogramme moyen, de cette façon **SWAN** habilite la commande *Menù>Processing>Spectrum*. En sélectionnant ce parcours, un fenêtre de dialogue apparaîtra, où pourra être spécifiée la valeur de la fréquence limite utilisée pour délimiter le spectre. Comme souvent, il arrive que grande partie de l'information soit contenue en dessous des 100Hz, sélectionner donc cette valeur.

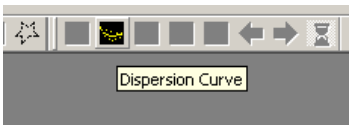


- Cliquer sur la touche *FK Spectrum* pour lancer le calcul. Après quelques secondes d'élaboration **SWAN** montrera le spectre FK, analogue à celui de l'image ci dessous.

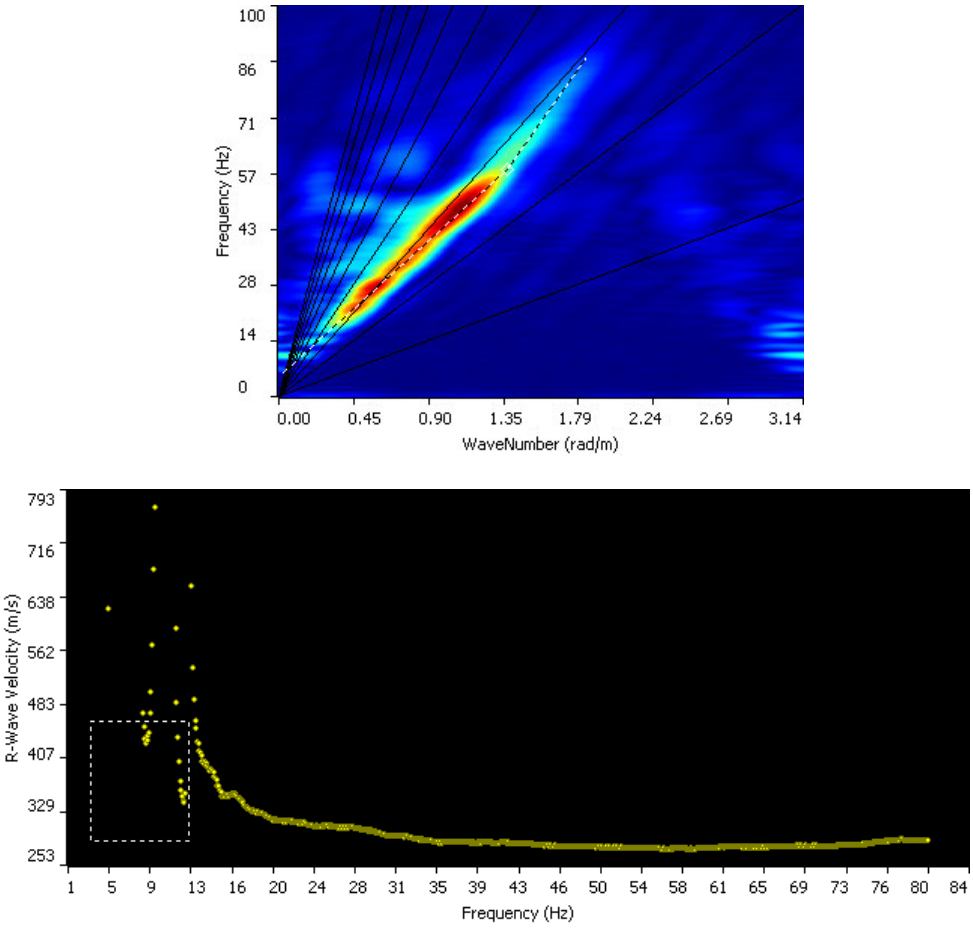


Extraction de la courbe de dispersion expérimentale:
La théorie MASW-SASW nous apprend que la courbe de dispersion doit être recherchée sur les maximums du spectre FK. Grâce à **SWAN**, ceci peut être fait automatiquement ou manuellement.
Mais avant de poursuivre, il est nécessaire de faire quelques remarques:
les géophones utilisés durant la phase d'acquisition ont une fréquence de coupure de 4,5Hz, par conséquent il ne sera pas possible de chercher à traiter des fréquences inférieures. La valeur de la fréquence maximale sur laquelle il peut être utile de chercher la courbe de dispersion peut être 80Hz. Généralement on ne traitera pas de fréquence supérieure, étant donné qu'elle est liée à la caractérisation de la couche superficielle du terrain.
En observant le spectre, on voit que la majeure partie de l'énergie (voir les zones colore en jaune et rouge) est limitée entre les 200 et les 400m/s (voir les lignes noires obliques partant de l'origine du domaine FK, qui sont dessinées avec une cadence de 100m/s). Ce sera donc dans cette zone que devra être cherchée la courbe de dispersion.

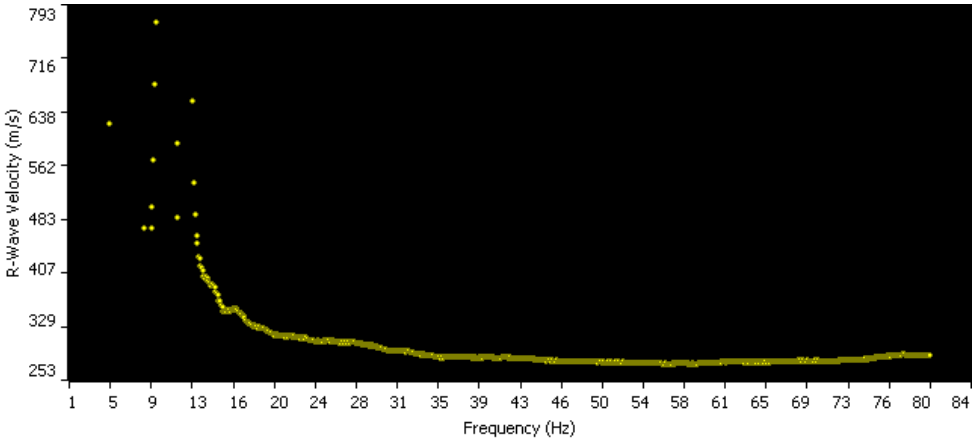
- En activant la fenêtre relative au spectre FK, cliquer sur *Menù>Processing>Dispersion Curve* et apparaitra la touche relative sur la barre des outils.



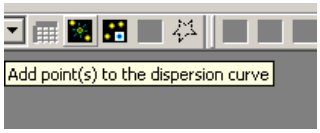
On doit donc suggère la position approximative de la courbe de dispersion expérimentale au programme, ceci s'effectue en dessinant sur le spectre une ligne. Pour le faire, il suffit 2 ou 3 simples clics sur l'image du spectre de manière à obtenir un résultat analogue à celui montré sur la figure ci dessous. Cliquer à nouveau sur la touche de la barre d'outils (qui devrait être visualisé encore enfoncée) ou cliquer sur la touche entrée pour faire extraire à **SWAN** la courbe de dispersion expérimentale. Une image analogue à celle présentée ci dessous sera visualisée.

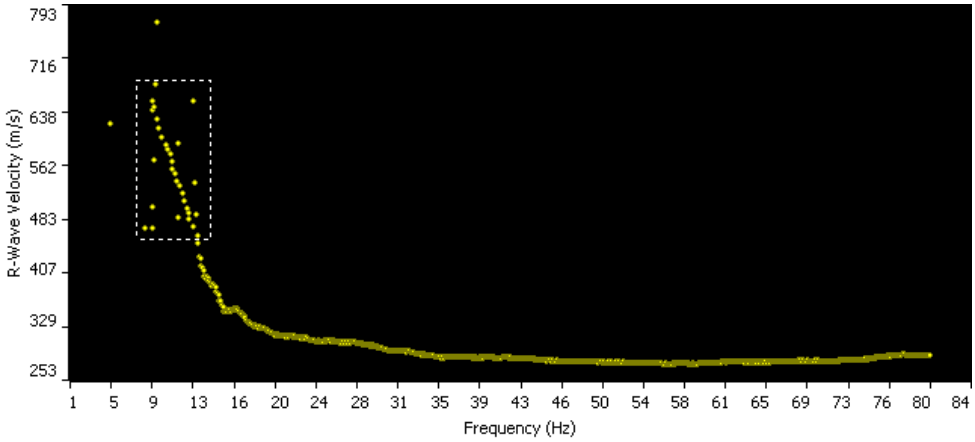


- L'ensemble des points, décrivant la courbe de dispersion expérimentale, trouvés automatiquement , a besoin d'une rapide phase de "nettoyage" afin d'en améliorer l'interprétation. Dessiner un rectangle comme sur la figure ci-dessus, de manière à sélectionner les points non alignés sur la courbe de dispersion, et appuyer sur la touche *Canc* du clavier pour les limine.



- Per rendere la curva più facilmente interpolabile è possibile addensare i punti al di sotto dei 15Hz. Attivare la figura relativa alla curva di dispersione sperimentale (nel dominio frequanza-velocità), **SWAN** abilita il comando *Menù*>*Edit*>*Add Points* e il relativo pulsante sulla barra degli strumenti. Selezionarlo e, con alcune click con pulsante sinistro del mouse, aggiungere alcuni punti alla curva di dispersione sperimentale. Quando terminato disattivare il comando del menù.





Inversion:

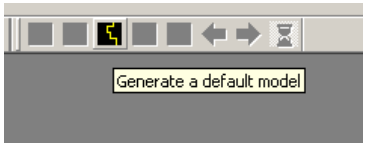
Dans cette phase, il faudra trouver un modèle synthétique de la stratigraphie du terrain. Ce modèle devra être associable à une courbe de dispersion théorique qui sera elle même une bonne approximation de la courbe de dispersion expérimentale.

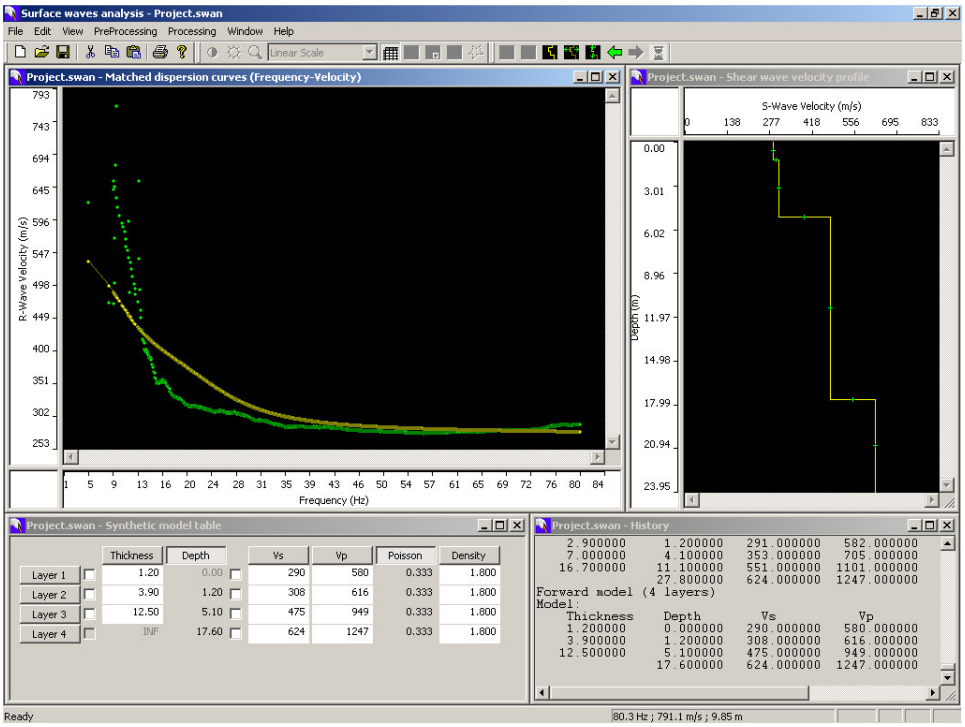
SWAN présentera un modèle de départ très simple, ce même modèle devra être altéré de manière à améliorer la superposition des courbes. Le modèle synthétique pourra être altéré par des inversions automatiques ou bine par de simples opérations manuelles.

SWAN permet de changer, pour chaque couche, les valeurs de vitesse des ondes S et de l'épaisseur de la couche. Activer la figure relative à la stratigraphie, cliquer à l'aide de la souris quand le curseur est à proximité d'un des points intermédiaires des segments qui dessinent la stratigraphie (mis en évidence par un symbole graphique), puis faire glisser la ligne et relâcher le clic pour mettre à jour le modèle.

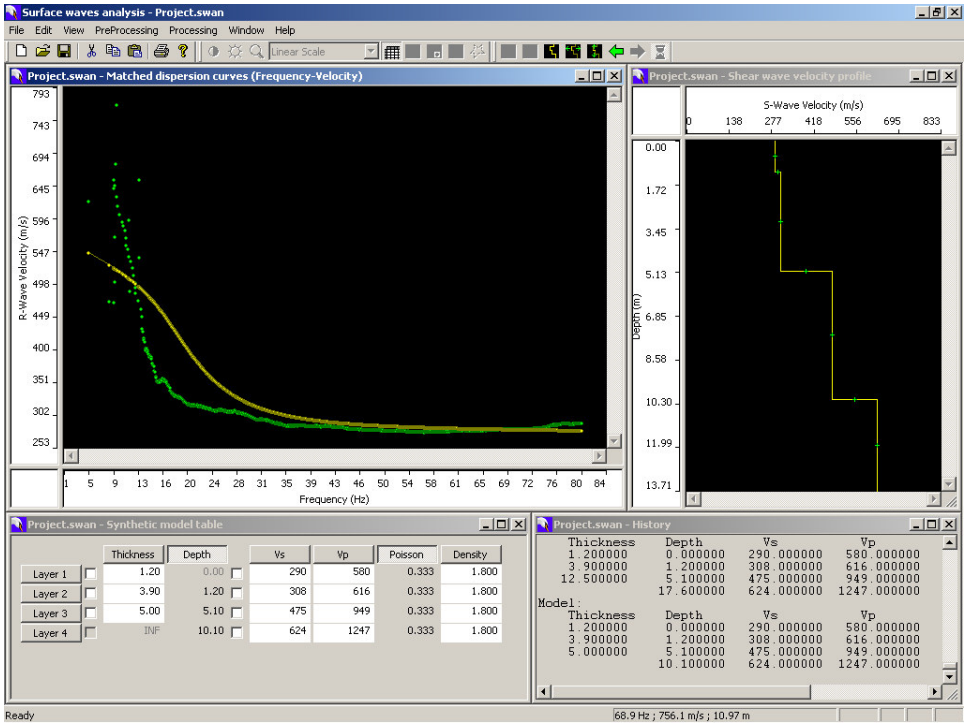
SWAN permet di faire glisser la courbe de dispersion théorique pour en créer une meilleure superposition avec la courbe de dispersion expérimentale. Activer la figure qui montre les deux courbes expérimentales de dispersion, effectuer un clic gauche quand le curseur est à proximité de la courbe expérimentale, puis la faire glisser en bougeant la souris, enfin relâcher la souris pour mettre à jour le modèle.
Donc:

- Débuter la phase d'inversion: *Menù>Processing>Forward Model>4 Layers* ou cliqueer sur la touche relative à l'inversion sur la barre d'outils. Apparaîtra alors une image analogue à celle présentée ci-dessous.

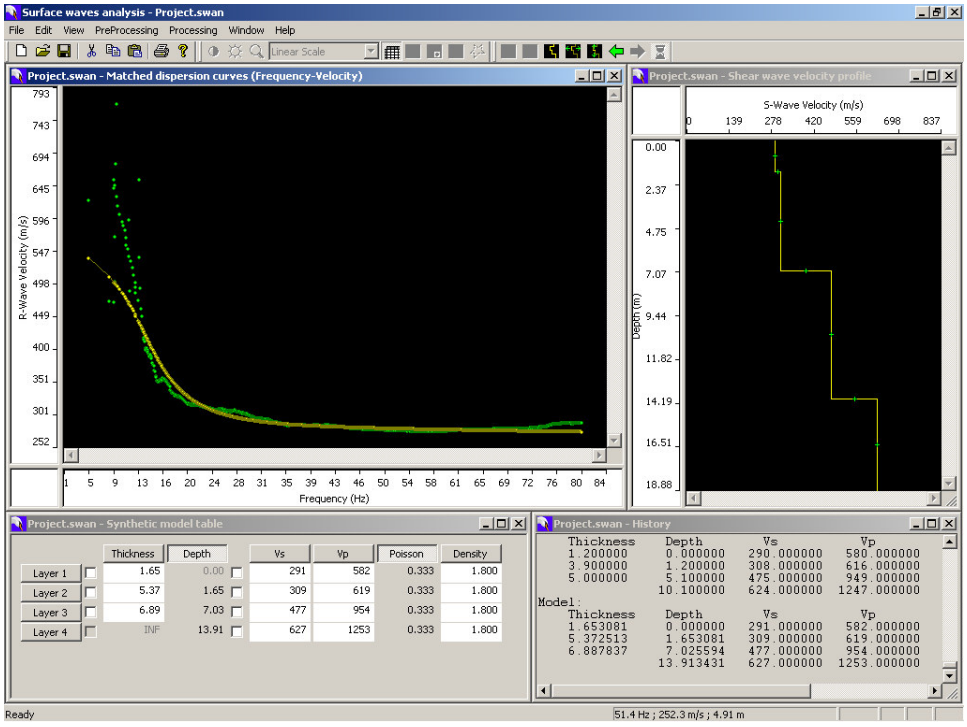




- En exploitant l'interactivité de la figure montrant la stratigraphie, réduire à 5 mètres l'épaisseur de la troisième (en suivant la procédure décrite auparavant) en portant la profondeur de début de la quatrième couche de 17 a 10 mètres.



- En exploitant l'interactivité de la figure montrant les deux courbes de dispersion translater la courbe de dispersion théorique. Améliorer la superposition des deux courbes en cherchant de se reporter dans une situation similaire à celle montrée dans la figure.

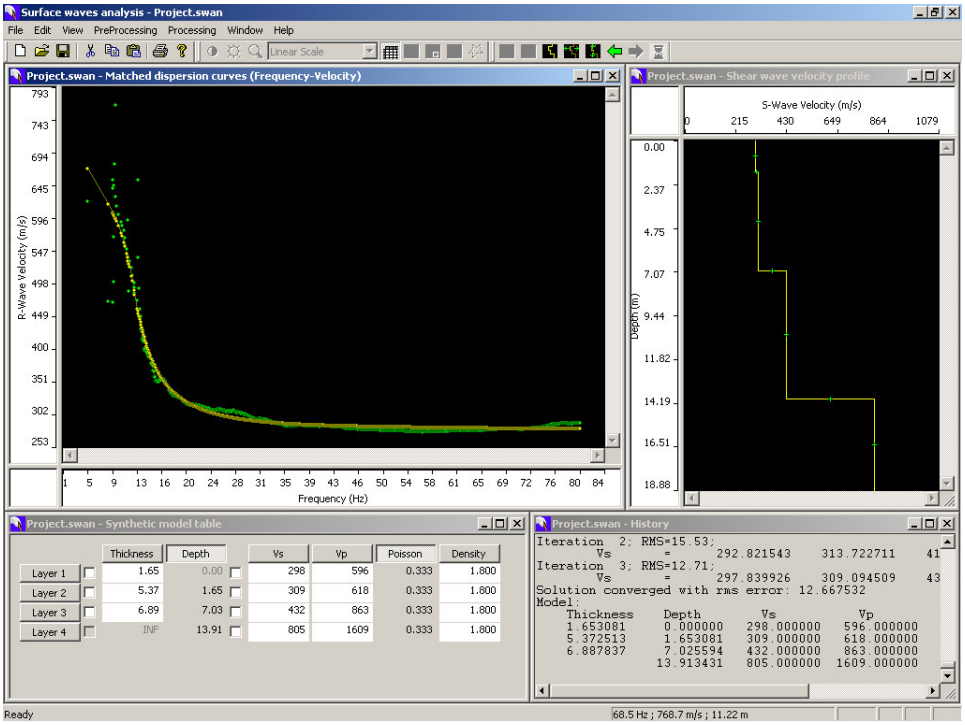


- Augmenter ultérieurement la superposition entre les deux courbes en exécutant une inversion automatique appliquée aux vitesses des strates du modèle synthétique par la

commande *Menù>Processing>Velocity Inversion* de **SWAN** ou en cliquant sur la touche relative dans la barre des outils.







- Considérant l'interprétation terminée, cliquer sur *Menù>Processing>Mean Propagation Velocity* (possible seulement si la fenêtre relative à la stratigraphie est active), extraire la valeur du paramètre *Vs30* (indice utile pour classifier le site selon les lois actuelles en matière de projétation parasismique). Insérer les valeurs comme sur la figure : épaisseur du terrain est de 30 mètres (*Thickness*), alors que les fondations sont basées à 0 mètre de profondeur c'est-à-dire en surface (*Start depth*). Cliquer sur *OK*. Pour connaître la valeur du paramètre *Vs30*.

