

Département Électronique, Énergie Électrique, Automatique
1ère année de Master SIA-AMS
Signal Imagerie et Applications Audio-vidéo Médicales et Spatiales

Traitement de vidéos ultra-rapides pour l'analyse de tremblements de terre en laboratoire

Étudiants :

Cassandra CÉRÉ
Daria MALIK
Massinissa TABOUCHE

Encadrants :

Hervé CARFANTAN
Soumaya LATOUR
Alisson GOUNON

Module Initiation à la Recherche et Projet

Année 2019/2020

Contacts : cassandra.cere@hotmail.com, daria.malik@univ-tlse3.fr,
ta.massinissa@hotmail.com

Sommaire

1 Introduction.....	3
2 Présentation du projet.....	4
3 Organisation du projet.....	8
4 Prétraitement des données.....	9
4.1 Filtrage des lignes.....	9
4.2 Filtrage des colonnes.....	13
4.3 Filtrage mixte.....	16
5 Détection de la courbe.....	18
5.1 Outils morphologiques.....	18
5.2 Maxima/minima locaux.....	20
5.2.1 Tri des minima/maxima.....	22
6 Bilan du projet.....	24
Bibliographie.....	25

1 Introduction

Le but de l'UE Initiation à la recherche et projet est de réaliser un projet de type "travaux d'études et de recherches" avec une recherche bibliographique et une éventuelle mise en œuvre de nouvelles manipulations.

Nous avons formé un groupe de 3 personnes (Cassandra, Daria et Massinissa) et avons choisi le sujet encadré par M Hervé CARFANTAN portant sur le "traitement de vidéos ultra-rapides pour l'analyse de tremblements de Terre en laboratoire". Le projet a également été encadré par les sismologues de l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP) - Soumaya LATOUR et Alisson GOUNON.

L'objectif de notre projet était de mettre au point une méthode de traitement d'image automatique pour exploiter les données d'une expérience de sismologie de laboratoire. Plus précisément, il nous a été demandé de mettre en œuvre des méthodes de traitement et d'analyse de signaux, images et vidéos pour automatiser la détection des contours de la rupture précédent un séisme. Dans ce rapport nous allons présenter en détails le contexte de notre projet, nos recherches et nos résultats.

2 Présentation du projet

Les expériences de tremblements de Terre en laboratoire ont été mises en place avec pour objectif de mieux comprendre les mécanismes à la source des tremblements de Terre, et principalement la phase de nucléation, qui précède le séisme (Fig. 1).

Pour créer des « séismes de laboratoire », les chercheurs mettent sous contraintes deux plaques de polycarbonate en contact, de manière à ce qu’elles glissent l’une contre l’autre par à-coups (Fig. 3). Chacun des événements de glissement correspond à un « séisme de laboratoire ».

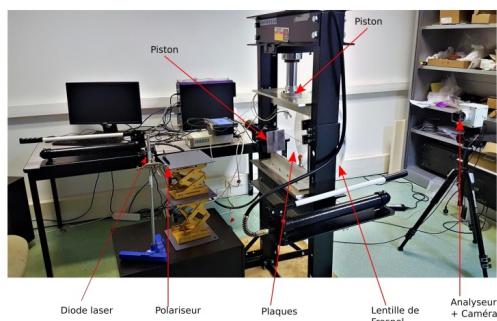


Figure 2: Dispositif permettant de créer des "séismes de laboratoire"

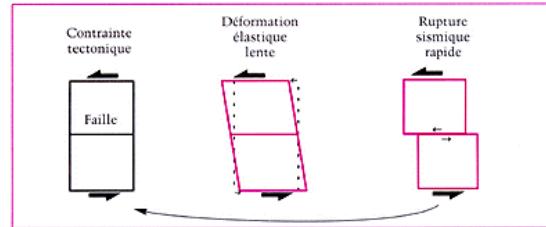


Figure 1: Schéma du cycle et rupture sismiques

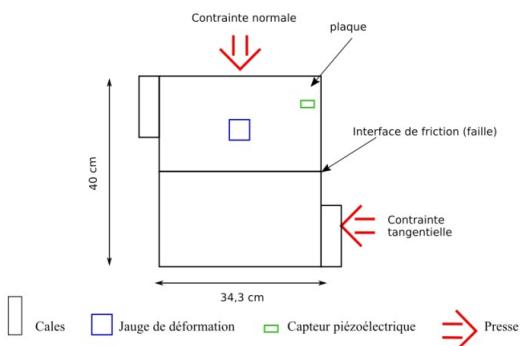


Figure 3: Schéma explicatif du fonctionnement de dispositif

Pour observer et étudier ces événements de glissement, les chercheuses ont installé un système de mesure suivant : un capteur piézoélectrique, une jauge de déformation, une caméra ultra-rapide et un montage optique adapté (Fig. 4).

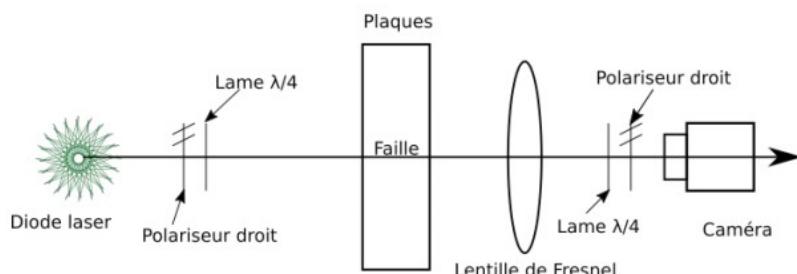


Figure 4: Montage optique permettant de filmer les expériences

Les données de sortie que nous avons traitées dans le contexte de ce projet sont des vidéogrammes de la fente entre les deux plaques. Tout d'abord, grâce au montage optique particulier et aux caractéristiques du polycarbonate, il est possible d'observer les franges d'interférence représentant les champs de contraintes sur les plaques (Fig. 5). Puis, la caméra ultra-rapide centrée sur la faille (rectangle jaune sur la Fig. 5), permet de capturer tout changement de contrainte dans le temps entre les deux plaques qui perturbe par la suite les franges observées.

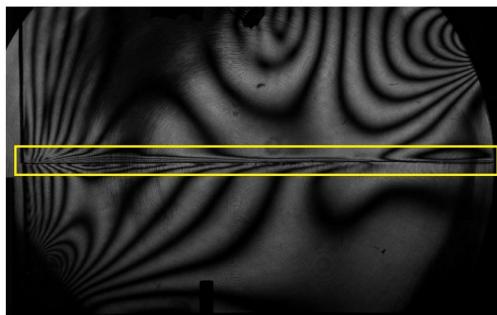


Figure 5: Champs de contraintes entre les deux plaques, photo prise à un instant t d'une des expériences

La caméra ultra-rapide permet de filmer les expériences à approximativement 160 000 images par seconde. En revanche, les images obtenues avec une caméra pareille ne sont pas de très grande résolution (quelques dizaines de pixels en hauteur, et un peu plus d'un millier de pixels en largeur) au bénéfice d'une grande cadence d'images.

Les vidéogrammes que nous allons traiter par la suite sont organisés de la manière suivante :

- d'abord isoler la ligne des pixels située un peu en-dessous de la fente (Fig. 6) dans chacune des images d'une expérience. Nous avons donc 160 000 lignes isolées de dimension 1 ligne x 1200 colonnes environ :

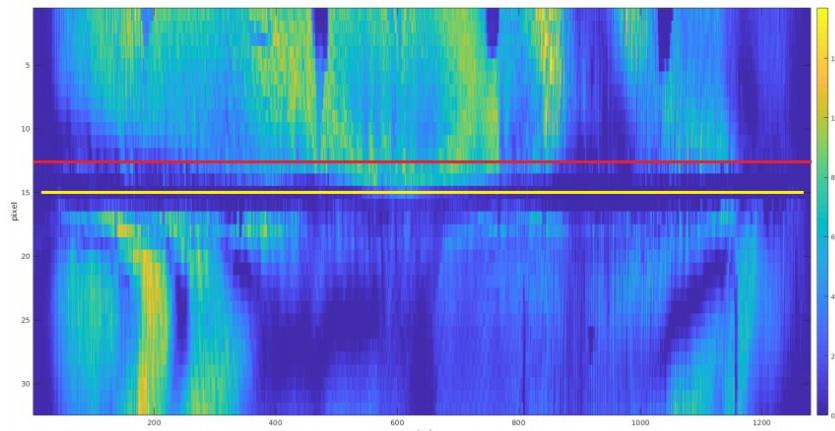


Figure 6: Rectangle jaune de la photo des deux plaques zoomé; ligne jaune - fente entre les deux plaques, ligne rouge - la ligne des pixels utilisée dans les études

- puis ranger ces 160 000 lignes extraites les unes en-dessous des autres dans l'ordre chronologique. L'image de la Fig. 7 est ainsi créée. L'axe vertical correspond à la dimension temporelle, l'axe horizontal correspond à la position spatiale sur la fente entre les deux plaques.

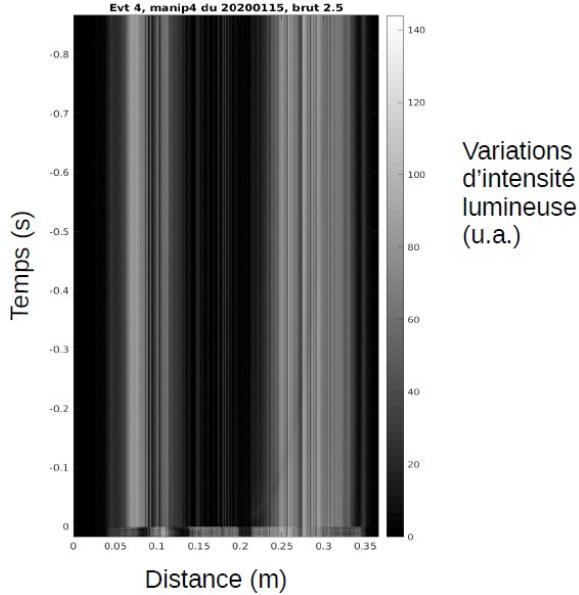


Figure 7: Vidéogramme (image) obtenu suite à l'organisation chronologique de la ligne des pixels choisie, extraite de chacune des images de la vidéo ultra-rapide

Ces images représentent les données brutes qui nous ont été confiées lors de ce projet. Leur dimension est de 150 000 lignes x 1200 colonnes de pixels environ. D'après les chercheuses il n'est pas facile d'effectuer des analyses sur ces données car l'information utile est cachée et invisible pour l'œil humain.

En effet, les sismologues avaient déjà effectué certains prétraitements qu'ils avaient utilisés afin de rendre les données des images observables à l'œil nu. Le prétraitement principal consiste à soustraire la première ligne de l'image à toutes les autres lignes : $I(x, y) - I(1, y)$ ¹. Ci-contre, une image prétraitée que les sismologues avaient obtenue (Fig. 8).

Ce prétraitement des données brutes a permis de mettre en évidence pour notre œil le phénomène en question de ces études : la phase de nucléation qui précède un séisme et qui se manifeste sur les vidéogrammes sous forme d'un tracé qui évolue au fil du temps.

Afin de pouvoir étudier la phase de nucléation observée, il faut extraire les points de ces tracés avec leurs coordonnées temporelles et spatiales (tracé mis en avant sur la Fig. 9). Pour ce faire, les sismologues

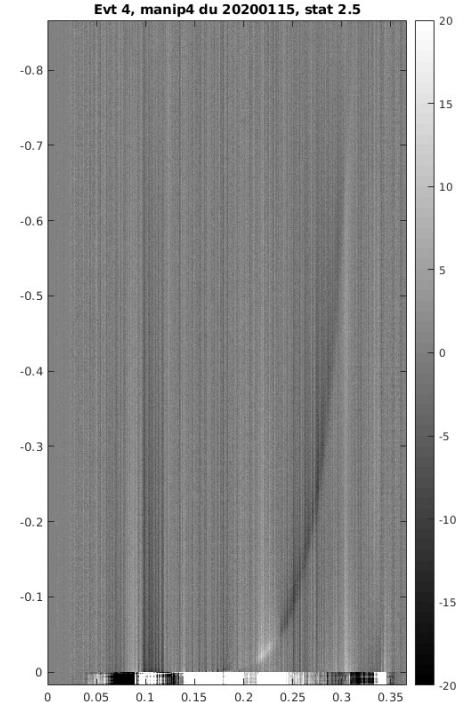


Figure 8: L'image brute prétraitée à la manière des sismologues

¹ La convention des coordonnées : axe vertical -> x, axe horizontal - y.

ont dû sélectionner ces points à la main avec un logiciel dédié et ensuite exporter ces données pour construire les graphiques, effectuer des calculs, etc.

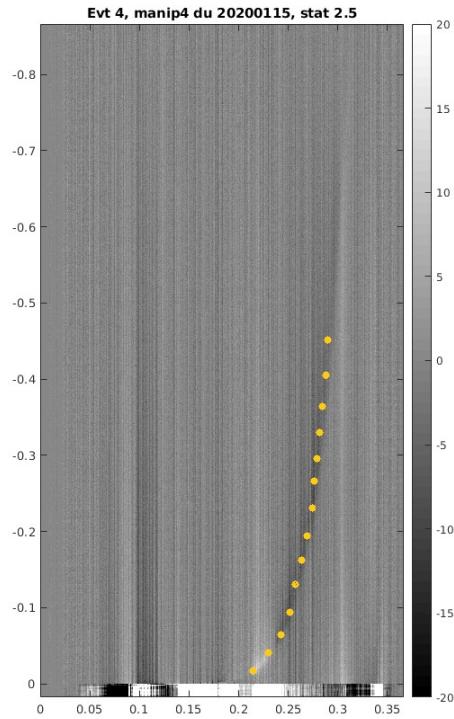


Figure 9: Mise en évidence du tracé d'intérêt apparu sur l'image prétraitée

Pour faciliter cette étape, il nous a été proposé de mettre au point une méthode qui devrait détecter automatiquement le tracé sur les données prétraitées et extraire les coordonnées des points correspondants. Cet algorithme, réalisé sous Matlab, devra alors fonctionner pour les données de n'importe quelle expérience.

3 Organisation du projet

Après avoir pris connaissance du sujet, nous avons eu un premier rendez-vous avec nos encadrants pour nous mettre dans le contexte du projet et prévoir une organisation de travail.

Étant donné que nous partons de zéro et qu'aucune recherche n'a été effectué au préalable, nous avons fait des recherches chacun de notre côté.

Nous nous sommes alors rendu compte qu'il fallait dans un premier temps prétraiter nos données brutes avec des méthodes à une dimension. En effet, il ne nous paraissait pas utile de faire du traitement d'images sur les données brutes fournies ou sur les images prétraitées à la manière des sismologues.

Nous avons tout de même tenté de faire du traitement d'images pour confirmer nos a priori, comme par exemple appliquer des filtres de détection de contours ou encore en utilisant des morphologies mathématiques, mais sans résultats fructueux.

Avec l'aide de notre professeur encadrant, nous avons alors suivi le protocole suivant:

- prétraiter les données à une dimension, c'est à dire faire du traitement du signal sur les données brutes. Nous allons présenter les résultats dans la section 4 qui suit ;
- réaliser du traitement d'images sur les résultats obtenus. Nos tests et résultats seront présentés dans la section 5.

4 Prétraitement des données

Comme expliqué précédemment, nous avons prétraité les données fournies avec des méthodes de filtrages à une dimension. Pour commencer, étant donné que nos images ont une dimension spatiale (suivant l'axe horizontal y) et une dimension temporelle (suivant l'axe vertical x), nous avons décidé de les étudier séparément.

Les dernières lignes de pixels qui représentent la cassure du matériau et donc le séisme, ne nous sont pas utiles (Fig. 11). Afin de travailler sur les données qui nous intéressent, nous avons coupé les images. De plus, le fait de diminuer leur dimension nous permet de manipuler des images moins lourdes.

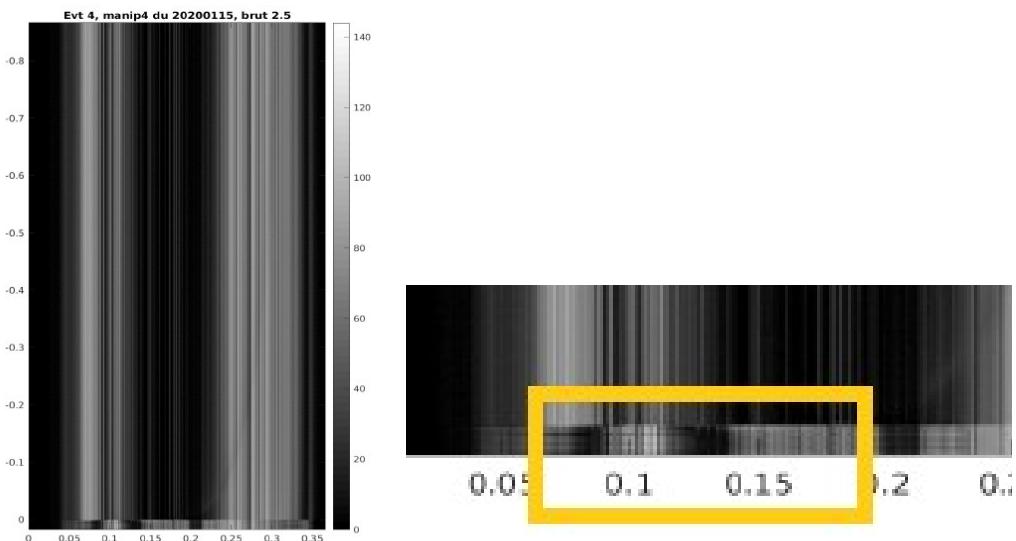


Figure 10: Image brute

Figure 11: Dernières lignes de pixels représentants la cassure du matériau

Nous allons expliquer les différents filtrages et manipulations réalisés ainsi que les résultats correspondants. Pour résumer les données contenues dans nos images : chaque ligne représente la fente à un instant t donné d'une expérience, et chaque colonne représente un endroit de la fente à des instants différents d'une expérience. Au total, nous avions à notre disposition 3 images brutes correspondantes à 3 expériences différentes.

4.1 Filtrage des lignes

Nous avons commencé par la dimension spatiale et tracé les intensités d'une seule ligne et de la ligne moyenne d'une des images fournies :

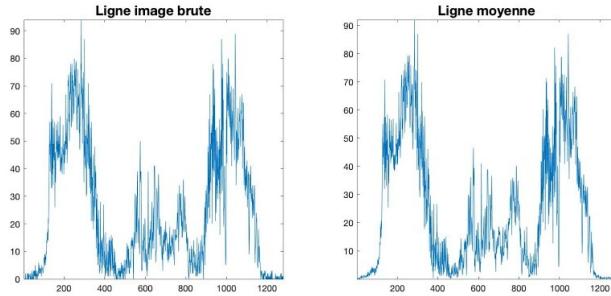


Figure 12: Intensité d'une ligne de l'image brute

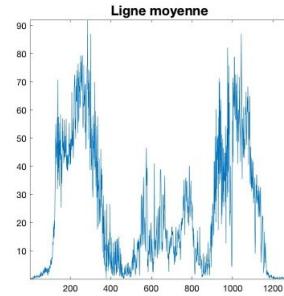


Figure 13: Intensité d'une ligne moyenne de l'image brute

Grâce à ces représentations, nous remarquons la présence de deux phénomènes. Il y a une allure principale variant à une faible fréquence qui correspond aux franges d'interférences. Il y a également de petites variations rapides qu'on va appeler le "bruit" qui créent les rayures verticales sur les données brutes et empêchent donc la vision à l'œil nu de notre courbe d'intérêt.

C'est pour cette raison que nous souhaitons supprimer ce bruit. Notre première idée a donc été de récupérer le bruit $\varepsilon(x)$ de la ligne moyenne $L(x)$ et le soustraire de chaque ligne de l'image brute.

Dans un premier temps nous avons filtré la ligne moyenne afin de la lisser et de n'avoir que les variations lentes $V(x)$ de l'image. Nous avons donc la modélisation suivante :

$$V(x) = L(x) * h(x)$$

Nous avons utilisé un filtre passe bas par convolution à l'aide des fonction "fir1" et "conv" de Matlab. Notre choix s'est porté sur la convolution avec un filtre à réponse impulsionnelle **finie** car celui-ci ne décalera pas les signaux lors du filtrage. Le réglage du filtre s'est fait par essai/erreur en fonction des résultats que nous obtenions et nous avons gardé le réglage qui nous donnait le résultat suivant (courbe en rouge) :

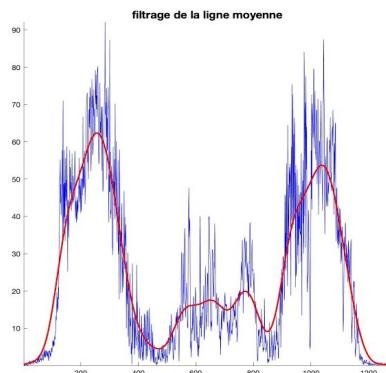


Figure 14: Ligne moyenne (en bleu) et ligne moyenne filtrée (en rouge)

Après filtrage, nous voulons à présent isoler le bruit dans le but de le soustraire à chaque ligne de l'image brute. Nous avons donc simplement soustrait la ligne moyenne filtrée $V(x)$ à la ligne moyenne brute $L(x)$:

$$\varepsilon(x) = L(x) - V(x)$$

Le bruit moyen récupéré possède l'allure suivante :

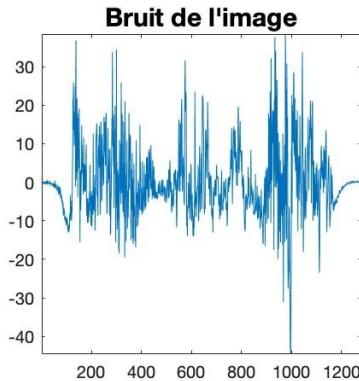


Figure 15: Bruit de la ligne moyenne

Ce dernier a donc été soustrait à chaque ligne de l'image et c'est l'image prétraitée ci-dessous que nous observons, $I(x, y) - \varepsilon(x)$:

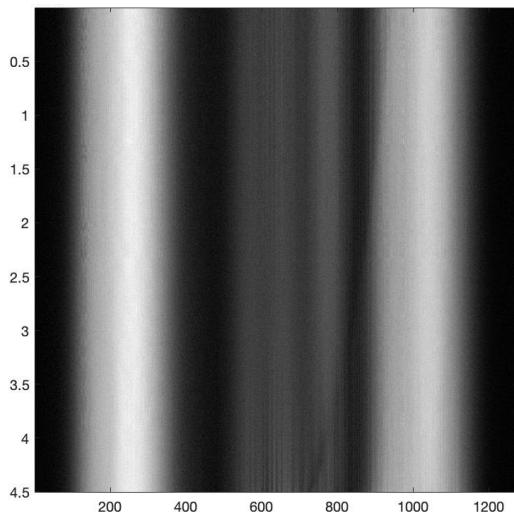


Figure 16: L'image brute - le bruit de la ligne moyenne

L'image obtenue ne possède maintenant que les variations lentes (franges d'interférences). La courbe que nous souhaitons détecter n'est pas plus visible comparée à l'image brute, mais l'image obtenue pourra néanmoins servir à la détection après y avoir appliqué d'autres outils.

Nous avons également essayé de filtrer chaque ligne de l'image avec le même filtre appliqué sur la ligne moyenne. L'image obtenue avec toutes les lignes filtrées $I'(x, y)$

ressemblait au fond de l'image de la Fig. 16. Nous avons alors eu l'idée de calculer la différence entre cette nouvelle image $I'(x,y)$ et l'image de la Fig. 16. Cela revient donc à faire :

$$I_{FL}(x,y) = (I(x,y) - \varepsilon(x)) - I'(x,y)$$

Le résultat est alors le suivant :

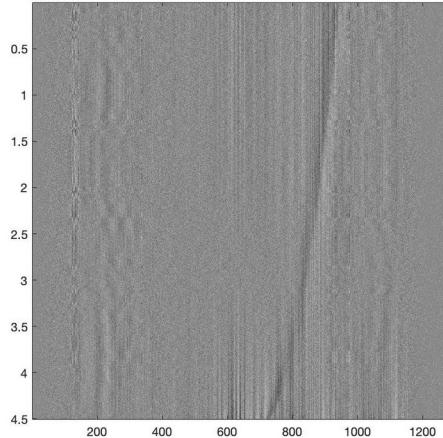


Figure 17: $I_{FL} = (\text{Image brute} - \text{bruit}) - (\text{image avec chacune des lignes filtrées})$

La courbe semble plus visible sur la dernière image, nous allons donc y appliquer des outils de détection par la suite.

Ce prétraitement est applicable à toutes les images fournies et peut donc être utilisé dans le cadre de notre travail. Voici les images que nous avons pour les deux autres expériences :

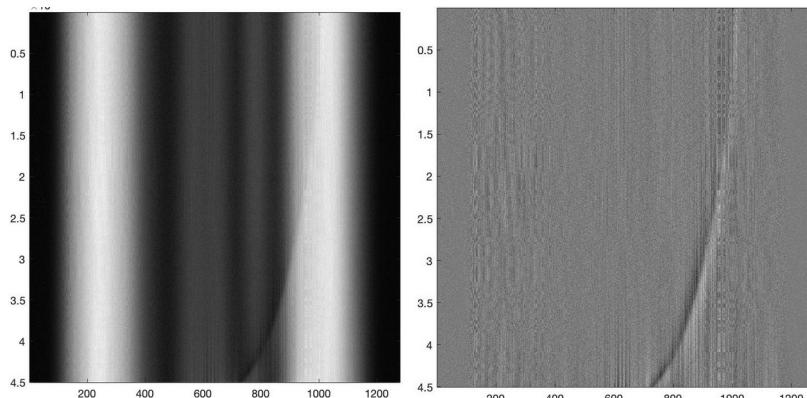


Figure 18: Image brute - bruit Figure 19: I_{FL} de l'expérience n°2 de l'expérience n°2

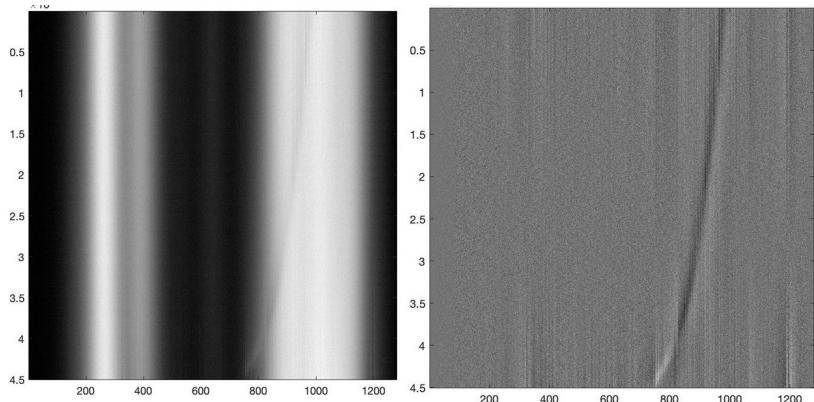


Figure 20: Image brute - bruit Figure 21: I_{FL} de l'expérience de l'expérience n°3 n°3

4.2 Filtrage des colonnes

L'autre méthode de filtrage à une dimension que nous avons testé est le filtrage passe-bas dans le domaine fréquentiel sur les colonnes de l'image (dimension temporelle). Il peut être représenté par l'équation suivante :

$$I_{filtrée}(x,y) = I(x,y) * g(y)$$

Le réglage du filtre se faisait également par essais jusqu'à l'obtention des résultats souhaités. Ci-dessous, une colonne de l'image avant et après filtrage fréquentiel :

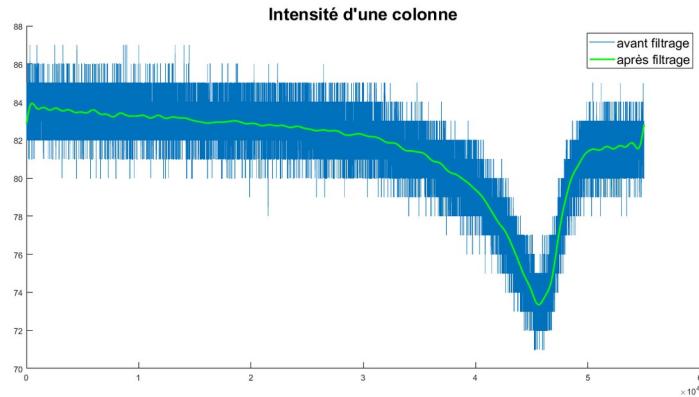


Figure 22: Intensité d'une colonne de l'image avant et après le filtrage suivant les colonnes

On voit bien que la colonne a été lissée et que le bruit dans les colonnes pourra donc être atténué. Ce filtre a été appliqué sur l'intégralité de l'image et le résultat obtenu est le suivant :

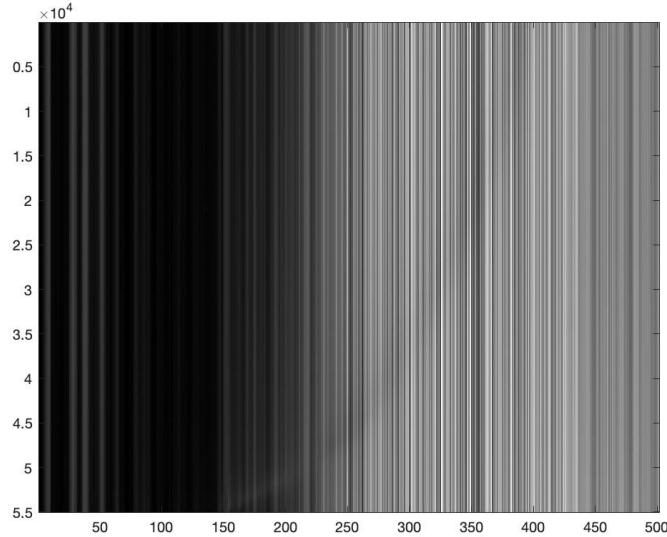


Figure 23: Image brute avec les colonnes filtrées

La courbe commence à apparaître légèrement mais le résultat ne nous convenait pas tout à fait. Nous avons essayé d'appliquer sur cette image filtrée le prétraitement que les sismologues avaient mis en place : soustraire à l'image la première ligne (ou la ligne moyenne) afin d'atténuer les “rayures” de l'image et de faire ressortir la courbe d'intérêt. Voici ce que nous avons obtenu après les deux prétraitements (filtrage colonnes + soustraction de la ligne) :

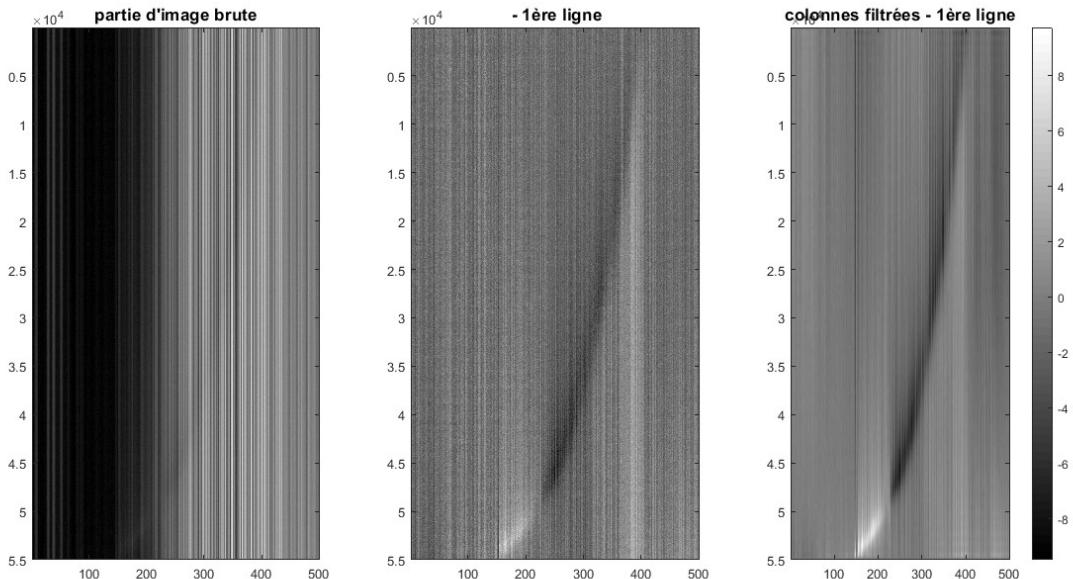


Figure 24: De gauche à droite : l'image brute, prétraitement des sismologues, filtrage des colonnes + prétraitement des sismologues

La courbe est plus visible, il reste alors à appliquer des outils de traitement d'images, que nous verrons par la suite, pour essayer de réaliser la détection de la courbe.

Cette méthode de prétraitement est également applicable à toute simulation, elle peut donc nous être utile dans la suite de nos recherches.

Voici les résultats de prétraitement que nous obtenons pour d'autres expériences :

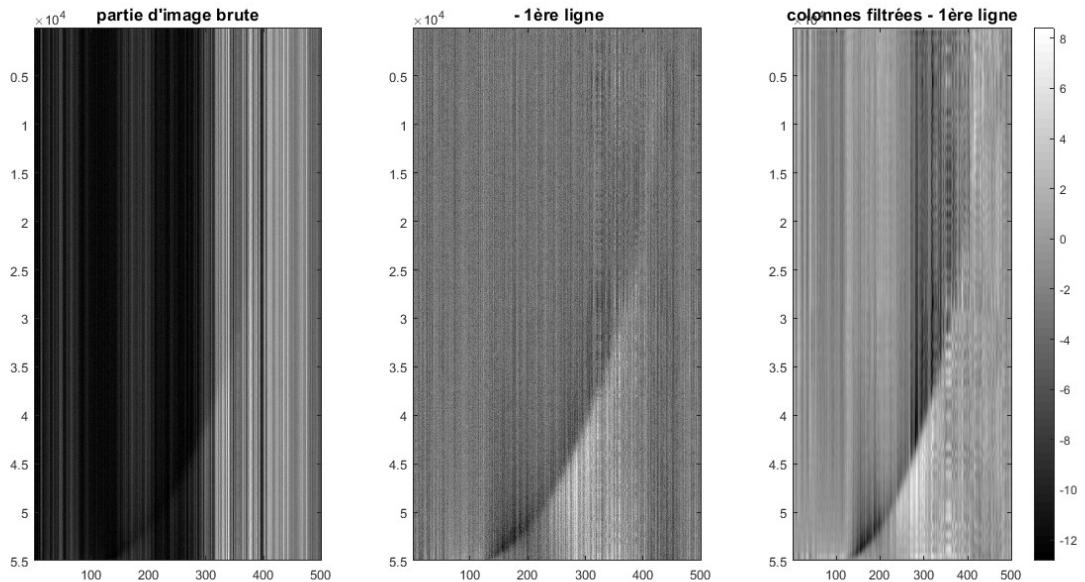


Figure 25: De gauche à droite : l'image brute, prétraitement des sismologues, filtrage des colonnes + prétraitement des sismologues (expérience n°2)

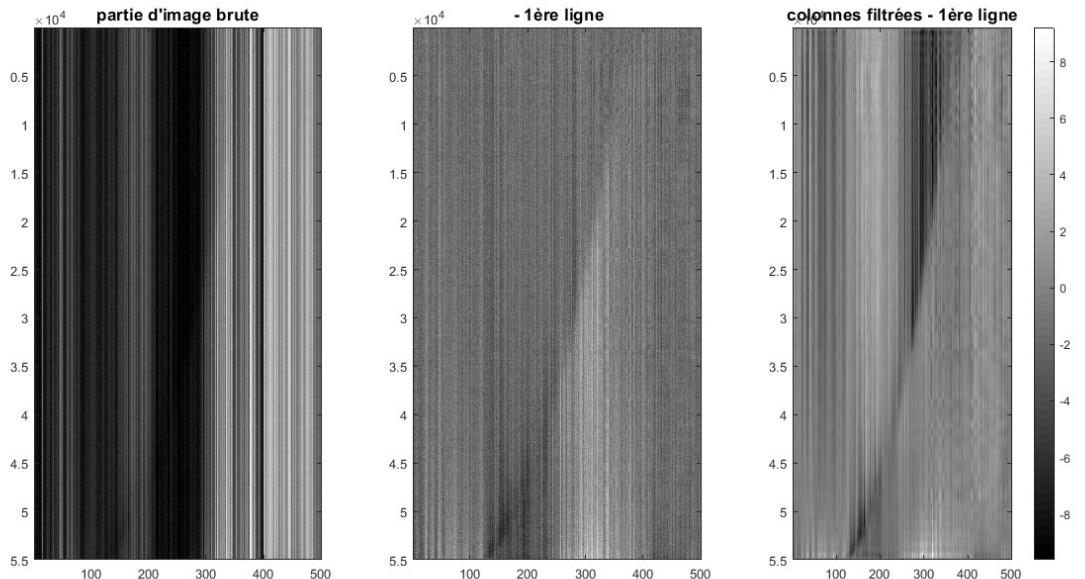


Figure 26: De gauche à droite : l'image brute, prétraitement des sismologues, filtrage des colonnes + prétraitement des sismologues (expérience n°3)

Il est important de souligner que parfois les résultats ne sont pas tout à fait "jolis" comparé à ce que nous souhaitions avoir. Cela est dû à la qualité d'origine des images prises qui peut être influencé de temps en temps par la configuration du montage optique. Si une image brute possède des imperfections, celles-ci vont ressortir à l'étape de prétraitement (exemple, Fig. 27).

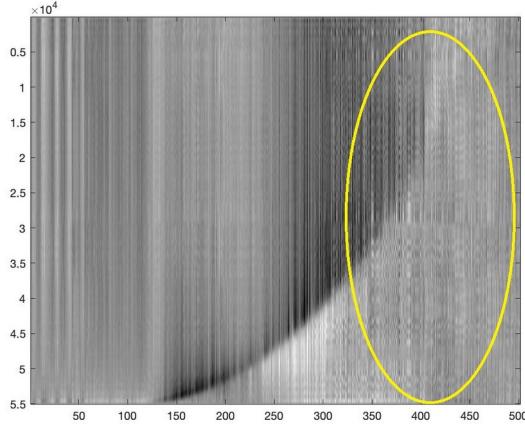


Figure 27: Les imperfections de l'image brute ressorties lors des prétraitements

Nos deux idées de prétraitement dans le but d'atténuer le bruit de l'image et de faire ressortir la courbe d'intérêt nous paraissent exploitables et satisfaisantes. C'est pour cette raison que nous avons alors appliqué différents outils sur ces deux résultats (filtrage lignes et filtrage colonnes) dans le but de déterminer laquelle répond mieux à nos attentes.

De plus, après avoir exploité séparément le filtrage sur les lignes et les colonnes, nous avons voulu voir ce que donnerait la combinaison du filtrage des deux dimensions. C'est ce que nous allons montrer dans la sous-section 4.3 qui suit.

4.3 Filtrage mixte

Nous avons pensé que les deux filtrages pourraient être complémentaires et rendre de meilleurs résultats si nous combinions les deux.

Dans un premier temps nous avons appliqué le filtrage sur les lignes pour obtenir une image $I_L(x,y)$. C'est à dire que nous avons appliqué les mêmes étapes que pour la sous-section 4.1, soient :

- Le filtrage de la ligne moyenne de $I(x,y)$,

$$V(x) = L(x) * h(x)$$

- L'isolation du bruit de $I(x,y)$,

$$\varepsilon(x) = L(x) - V(x)$$

- La soustraction du bruit à $I(x,y)$,

$$I_L(x,y) = I(x,y) - \varepsilon(x)$$

Ensuite, nous avons appliqué à $I_L(x,y)$, le filtrage sur les colonnes de la sous-section 4.2. D'une autre manière, nous avons alors fait :

$$I_{LC}(x,y) = I_L(x,y) * g(y)$$

Nous y avons ensuite soustrait la ligne moyenne. Ainsi, pour les trois simulations fournies nous observons ces résultats :

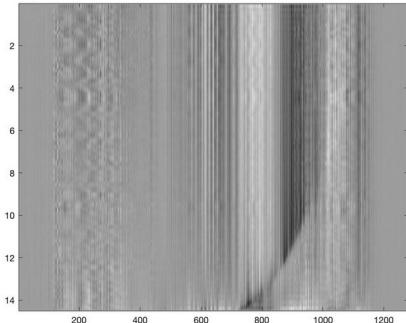


Figure 28: $I_{LC}(x,y)$ de l'expérience n°1

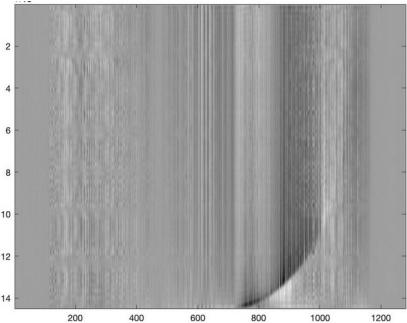


Figure 29: $I_{LC}(x,y)$ de l'expérience n°1

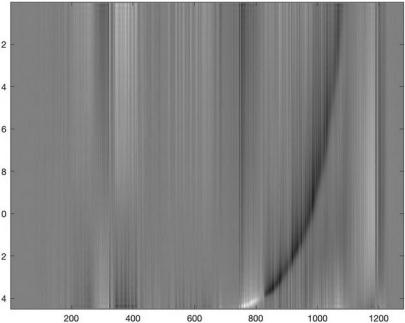


Figure 30: $I_{LC}(x,y)$ de l'expérience n°1

La qualité de la courbe d'intérêt n'est pas vraiment améliorée, et nous trouvons que les résultats ne sont pas plus exploitables que ceux obtenus dans le cas du traitement des dimensions séparément. Toutefois, nous avons tenté de faire les étapes inverses, c'est à dire appliquer le filtre sur les colonnes, puis sur les lignes.

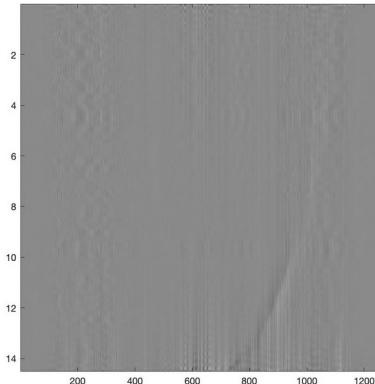


Figure 31: $I_{CL}(x,y)$ de l'expérience n°1

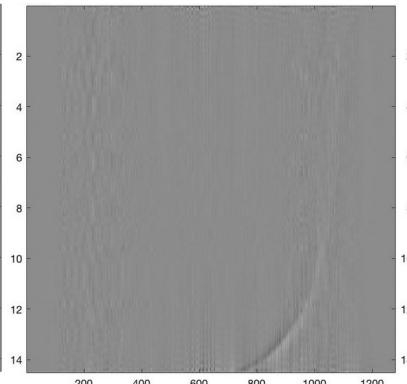


Figure 32: $I_{CL}(x,y)$ de l'expérience n°1

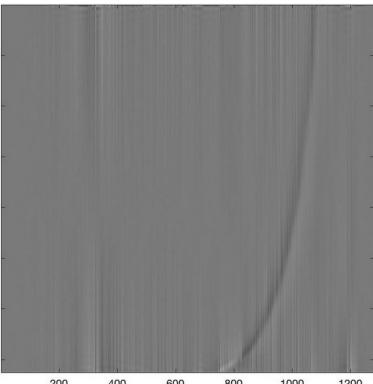


Figure 33: $I_{CL}(x,y)$ de l'expérience n°1

Les résultats ne font pas ressortir la courbe d'intérêt comme nous le souhaitons.

5 Détection de la courbe

Une fois l'image prétraitée, nous avons procédé à la recherche des outils et des méthodes qui nous permettraient de détecter le tracé d'intérêt.

Tout d'abord, nous avons fait recours aux connaissances et techniques acquises en cours de traitement d'images en commençant par les filtres "dérivatifs" qui permettent d'extraire les contours dans les images. Cependant, nous nous sommes vite rendu compte que l'application de ce type de filtrage sera extrêmement long. En effet, ces filtres sont des filtres par convolution ce qui n'est pas compatible avec la taille de nos images (150 000 x 1 200 pixels). Les méthodes simples et classiques n'allait donc pas fonctionner pour résoudre notre problème.

Comme nous l'avons déjà évoqué, le sujet de notre projet est un tout nouveau champ de recherche et nous n'avions pas de base théorique ou pratique de quelque chose qui lui ressemblerait. Nous nous sommes donc lancés dans des recherches de moyens alternatifs pour isoler et détecter le tracé.

5.1 Outils morphologiques

L'idée était d'appliquer des outils de morphologies mathématiques sur les images prétraitées comme l'ouverture et la fermeture.

Pour l'ouverture et la fermeture, nous avons essayé des éléments structurants de formes et de tailles diverses pour en sélectionner les plus efficaces.

Ces outils ont été appliqués dans un premier temps sur les images prétraitées à la manière des sismologues, mais les résultats n'étaient pas à la hauteur de nos attentes. En effet la courbe était grossière et approximative. Voici nos résultats sur les figures qui suivent :

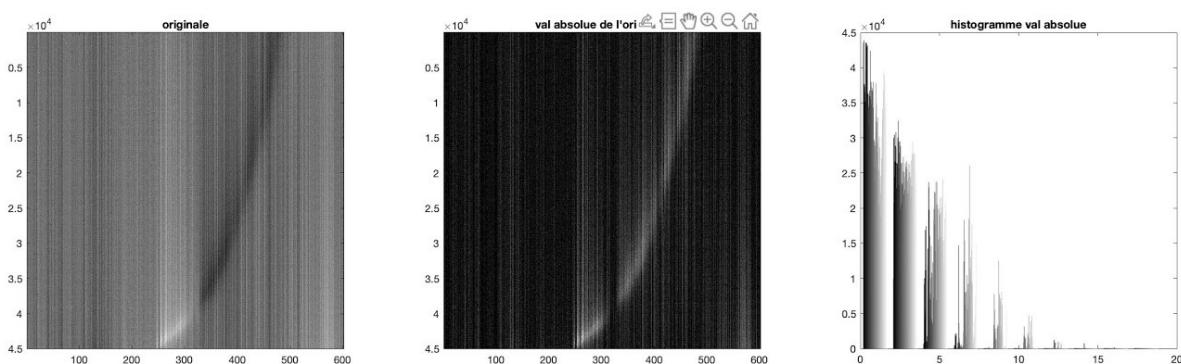


Figure 34: De gauche à droite : prétraitement des sismologues, valeur absolue de cette image, son histogramme

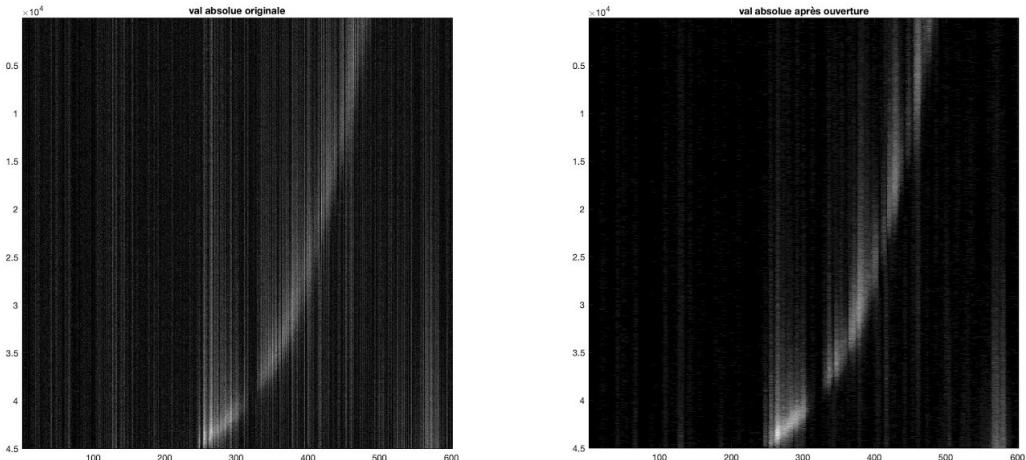


Figure 35: (gauche) Valeur absolue de l'image prétraitée, (droite) ouverture de l'image de gauche

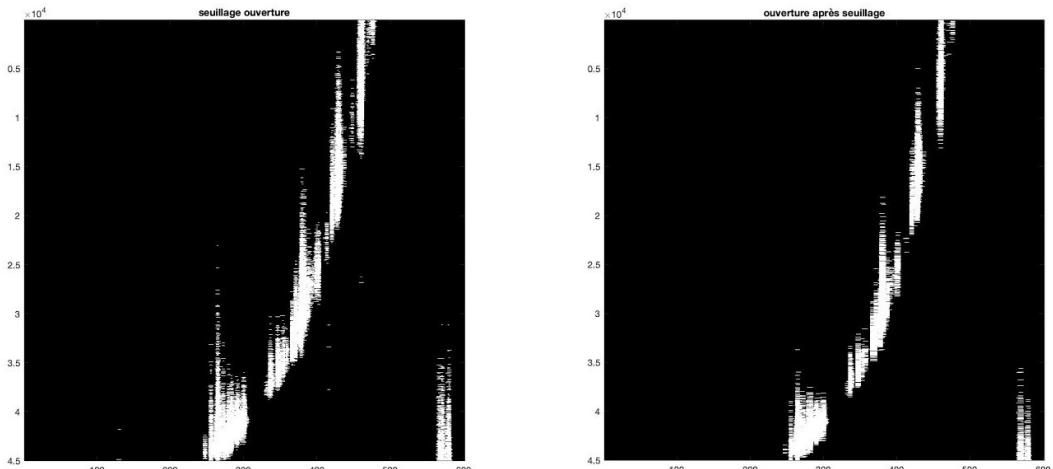


Figure 36: (gauche)Seuillage (binarisation) → ouverture, (droite) ouverture → seuillage

Nous avons alors appliqué ces mêmes outils à nos images prétraitées, mais les résultats obtenus n'étaient pas tous satisfaisants. En effet, si un outil était intéressant pour une simulation, il ne l'était pas forcément pour une autre.

Dans notre cas, nous voulons un unique algorithme qui soit utilisable pour toute simulation, donc les morphologies mathématiques ne nous ont pas paru satisfaisantes.

Nous avons peut être mal choisi les éléments structurants, ou encore pas appliqué assez d'itérations d'ouverture/fermeture sur les images, mais nous avons tout de même mis de côté les morphologies mathématiques, pour se concentrer sur une autre méthode très intéressante que nous avons découverte.

5.2 Maxima/minima locaux

Si on observe attentivement les images prétraitées : qu'est-ce qui dans l'image fait que nous arrivons à reconnaître le tracé de la courbe tandis que ce n'est pas un véritable objet capturé par la caméra ?

Nous avons donc essayé une autre approche pour la détection en utilisant la définition même des "contours" : les différences très brusques d'intensité. En effet, sur les images fournies les tracés se distinguent du fond à cause des pixels très sombres ou très claires qui longent la courbe.

L'idée est donc très simple : l'algorithme recherche les minima et les maxima d'intensité dans chacune des colonnes des images prétraitées, on récupère les coordonnées (x,y) de ces points et on les place par-dessus leurs images respectives.

Ci-dessous les résultats obtenus pour nos méthodes de prétraitements retenues.

Détection des maxima/minima sur les images filtrées sur les lignes :

Nous avons appliqué notre "outil" à l'image dont on a enlevé le bruit $\varepsilon(x)$ et également à l'image dont on a soustrait le fond.

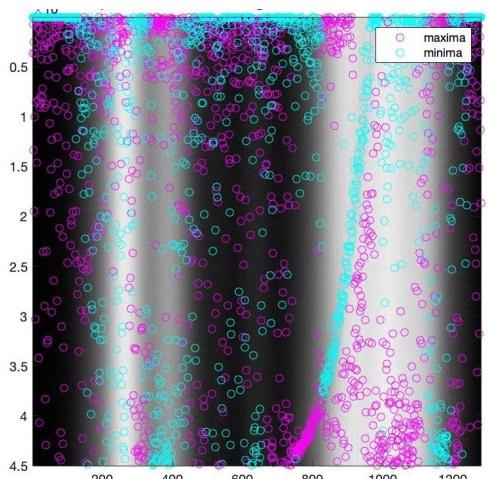


Figure 37: Détection de minima/maxima sur l'image sans le bruit, expérience n°1

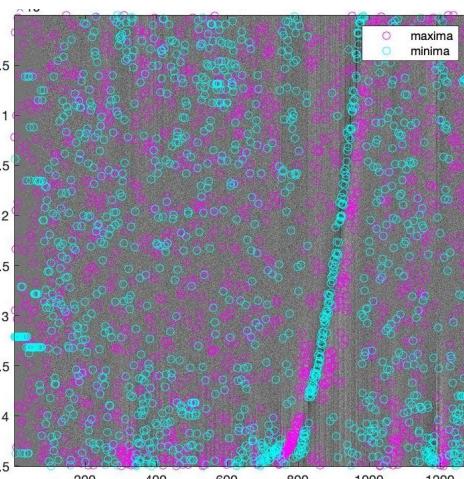


Figure 38: Détection de minima/maxima sur l'image sans le bruit, expérience n°1

Les maxima et minima pour ces images sont assez présents sur la courbe d'intérêt. Les deux images paraissent toutes deux intéressantes, mais la suite de la détection de la courbe va se faire sur l'image de droite. Ci-dessous les résultats obtenus pour deux autres images fournies :

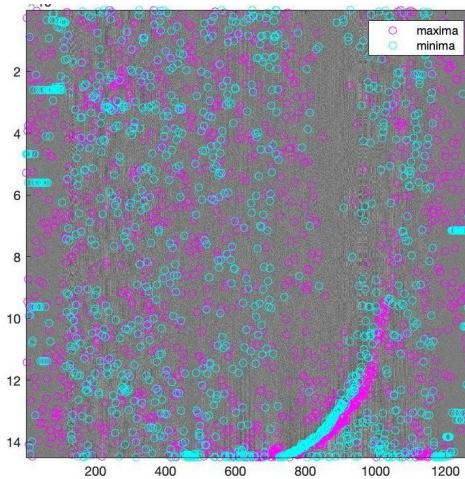


Figure 39: Détection de minima/maxima sur l'image sans fond, expérience n°2

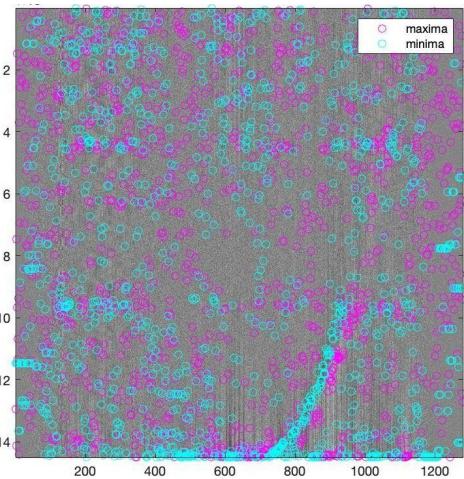


Figure 40: Détection de minima/maxima sur l'image sans fond, expérience n°3

Nous remarquons que certains points mettent en évidence la courbe qui nous intéresse. Les points qui se trouvent en dehors de la zone d'intérêt peuvent être considérés comme le bruit dans le sens que nous chercherons à les supprimer et ne garder que les points qui forment la courbe.

Détection des maxima/minima sur les images filtrées sur les colonnes :

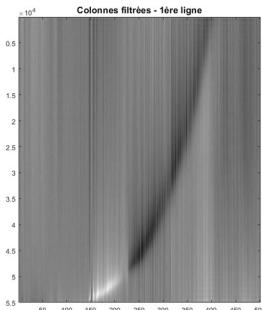


Figure 41: Détection minima/maxima de l'expérience n°1

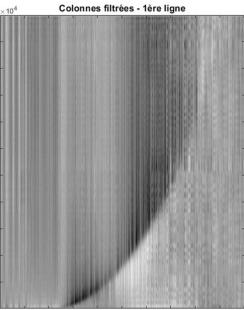
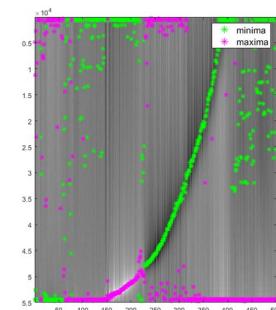


Figure 42: Détection minima/maxima de l'expérience n°2

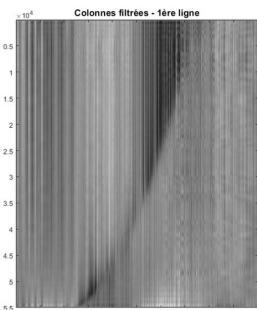


Figure 43: Détection minima/maxima de l'expérience n°3

Les résultats de ces expériences nous ont paru très intéressants et exploitables. C'est pour cette raison que nous nous sommes concentrés par la suite sur l'amélioration de cet "outil", à savoir : la suppression des points "bruit".

5.2.1 Tri des minima/maxima

Après avoir réalisé la « détection » par l'intermédiaire des minima/maxima, nous avons eu l'idée de visualiser la courbe des maxima et des minima pour voir ce que nous pourrions faire afin de supprimer les points indésirables. Ci-dessous la visualisation pour une des expériences, obtenue à partir d'une image avec les colonnes filtrées :

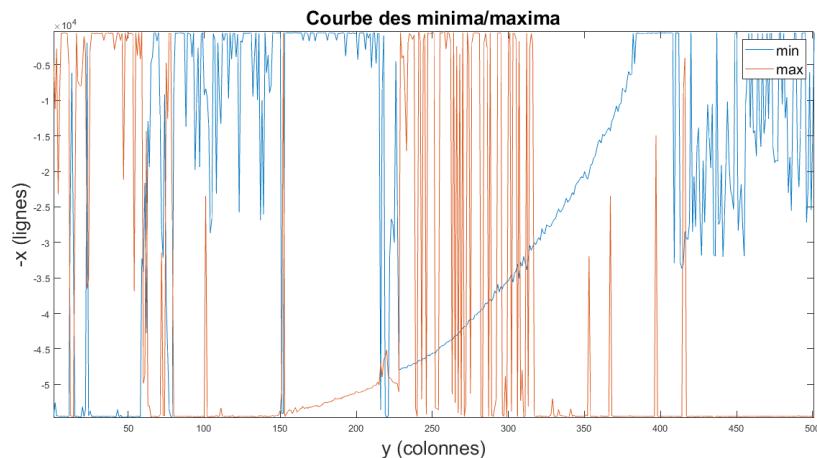


Figure 44: Courbes des minima/maxima pour une image avec les colonnes filtrées d'une des expériences

Sur cette image nous pouvons bien distinguer la courbe d'intérêt des autres points dont nous n'avons pas besoin.

Nous avons pu essayer un filtre passe-bas pour lisser les courbes :

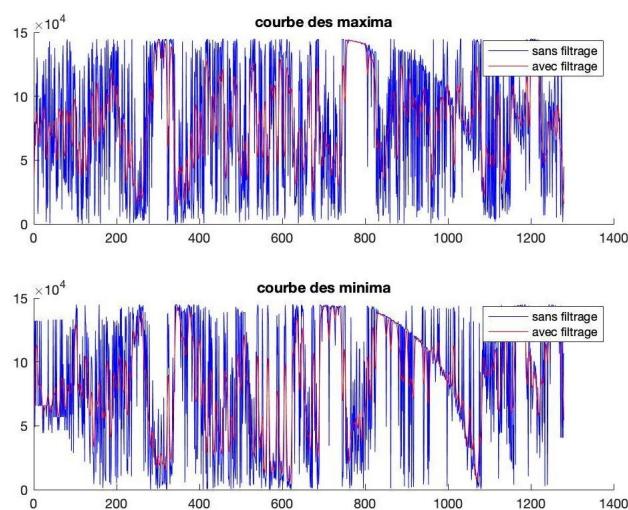


Figure 45: Filtrage des minima/maxima : en bleu - courbes initiales, en rouge - courbes filtrées (image prétraitée de la Fig. 40)

Cependant, les résultats n'étaient pas tout à fait satisfaisants, on n'arrive pas vraiment à suivre la courbe. Nous avons essayé plusieurs ordres et fréquences de coupure du filtre, qui hélas ne résolvait pas notre problème. Étant donné qu'il y a trop de variations sur la position des maxima et minima dans les colonnes, nous pensons que le fait de lisser les valeurs sur ces prétraitements ne va pas faire ressortir la courbe d'intérêt.

Arrivées à cette étape nous avons essayé quelques manipulations différentes pour séparer les points utiles du tracé des points indésirables, mais les résultats obtenus n'étaient pas satisfaisants.

6 Bilan du projet

C'est un projet dont nous partons de zéro, qui nous a permis de trouver des solutions par nous-mêmes. Il a été intéressant de faire nos propres recherches et tests, et même si nous n'avons pas trouvé une solution finale à notre problème, nous pensons que nos résultats sont encourageants.

Nous avons combiné à la fois traitement du signal et d'images, en raison des dimensions particulières des données, ce qui nous a permis de mettre en pratique les divers outils que nous avons appris durant notre formation.

De plus, nous avons constaté qu'il n'était pas facile de trouver une solution du premier coup, et qu'il fallait passer par des tests dont les résultats ne sont pas toujours satisfaisants pour évoluer dans nos recherches.

Bibliographie

- Alisson GOUNON, Rapport de stage « Effets de l'hétérogénéité des failles sur la rupture sismique », Master 1 Sciences de la Terre, des Planètes et de l'Environnement, Toulouse, UPS/IRAP, 2017-2018