

LE TRAITEMENT DES IMAGES SISMIQUES CONSIDERE COMME UNE
APPLICATION DU DIAGNOSTIC MEDICAL DANS UN CONTEXTE FLOUSEISMIC IMAGE PROCESSING CONSIDERED AS AN APPLICATION
OF MEDICAL DIAGNOSIS IN A FUZZY CONTEXT

P. BOIS

INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE - 1 à 4, avenue de Bois Préau, 92506 Rueil-Malmaison

RESUME

Le traitement des images sismiques et en particulier des coupes sismiques est essentiel à la recherche du pétrole dans le sous-sol car il permet de localiser les réservoirs contenant des hydrocarbures. Bien des méthodes de traitement ont été élaborées sans tenir compte du fait que les données sismiques sont souvent imprécises et même entachées d'erreurs. Nous exposons une méthode qui tient compte à la fois de l'imprécision des données, du bruit sismique qui peut occulter le vrai signal et du caractère subjectif de tout traitement sismique puisqu'il fait appel à l'expérience de l'interpréteur. Pour ce faire, nous avons conçu un algorithme pour traiter les images sismiques basé sur la reconnaissance des formes dans un contexte flou. Il s'agit de localiser les horizons sismiques "possibles" et d'élaborer par convolution des modèles géologiques également "possibles". En comparant ces modèles avec la coupe sismique originale, il est facile d'évaluer leur ressemblance en utilisant les "lois de composition des relations floues". Dans le cas de dissimilarités, il est proposé un diagnostic rappelant celui de la médecine et en fonction de ce dernier, il est prescrit des remèdes pour que ces structures ressemblent le plus possible à l'original. Ce processus itératif est repris tant que les différences de formes sont trop apparentes et arrêté dès qu'on juge de la bonne similitude entre ces structures. Les horizons sismiques qui s'en déduisent permettent de situer et de délimiter les réservoirs contenant des hydrocarbures.

SUMMARY

The processing of seismic images, and particularly of seismic sections, is essential in searching for oil in the subsoil because it is capable of locating reservoirs containing hydrocarbons. Many processing methods have been worked out without considering the fact that seismic data are often imprecise and even contain errors. This paper describes a method which takes into account both the imprecision of data, seismic noise which may occult the true signal, and the subjective nature of all seismic processing because it calls upon the experience of the interpreter. To do this, we have created an algorithm for seismic image processing, based on pattern recognition in a fuzzy context. The problem is to locate "possible" seismic horizons and, by convolution, to compile geological models that are also "possible". By comparing these models with the original seismic section, it is easy to assess their resemblance by using "composition of fuzzy relations". In the case of dissimilarities, a diagnosis is proposed which resembles a medical diagnosis, and this diagnosis is used to prescribe remedies so that these structures resemble the original one as closely as possible. This iterative process is continued as long as the differences in form are too apparent, and it is stopped as soon as the similarity between the structures is sufficient. The seismic horizons deduced in this way serve to situate and delimit reservoirs containing hydrocarbons.



LE TRAITEMENT DES IMAGES SISMIQUES CONSIDERE COMME UNE APPLICATION DU DIAGNOSTIC MEDICAL DANS UN CONTEXTE FLOU

SEISMIC IMAGE PROCESSING CONSIDERED AS AN APPLICATION OF MEDICAL DIAGNOSIS IN A FUZZY CONTEXT

P. BOIS

I - INTRODUCTION

Le traitement des images sismiques et en particulier des coupes sismiques représente une part importante du travail du sismicien qui explore le sous-sol à la recherche d'hydrocarbures. Ce traitement est très délicat car les documents sismiques sur lesquels il travaille sont souvent imprécis et bruités. De plus, ce traitement effectué par l'homme dépend d'un certain nombre de facteurs humains qui donnent à ce travail un caractère subjectif à ne pas négliger.

Les mathématiques classiques offrent le moyen privilégié d'analyser le raisonnement en procédant d'un formalisme et d'une logique rigoureuse et bien structurée. Lorsqu'il s'agit de phénomènes naturels, les mathématiques classiques ont souvent des difficultés à traiter des données imprécises, vagues comme c'est le cas pour les mesures sismiques.

De plus, elles ne peuvent pas prendre en considération le caractère subjectif qui joue un rôle si important dans le traitement sismique. Trop souvent, les sismiciens ont considéré les données sismiques comme exactes et leur ont appliqué des méthodes trop rigoureuses pour obtenir, en fin de compte, des résultats qui n'avaient aucun rapport avec la réalité géologique.

Par contre, la théorie des sous-ensembles flous introduite par Zadeh (1965) [1] est parfaitement bien adaptée pour analyser ce genre d'information car non seulement elle tient compte de la nature vague et imprécise des données sismiques, mais également du caractère subjectif du traitement sismique.

Dans cette étude, nous présentons une méthode de traitement d'images sismiques dont la philosophie s'apparente à celle du diagnostic médical dans un contexte flou.

II - INTRODUCTION A L'EXPLORATION SISMIQUE

Le but de la sismique est l'étude de la propagation des ondes dans le sous-sol. En effet, lorsqu'on provoque un ébranlement local du sol, le mouvement initial s'étend de proche en proche telle une pierre tombant à la surface de l'eau. Cet ébranlement était provoqué par une charge de dynamite. De nos jours, pour raisons de sécurité, on utilise des systèmes à chute de poids, à mélanges gazeux ou des systèmes vibrant comme le vibreur. Les ondes générées par un tel ébranlement se propagent dans le sol, s'y réfléchissent, s'y réfractent sur les couches de natures lithologiques différentes et sont enfin reçues par des géophones qui transforment l'énergie sismique en énergie électrique.

Les images sismiques ou "coupes sismiques" sont en quelque sorte des cartes représentant des sections du sous-sol par des plans verticaux. Sur ces coupes sont enregistrées les "traces sismiques" qui sont parallèles à l'axe des ordonnées et qui représentent la réponse du sous-sol à l'ébranlement, c'est-à-dire la suite des signaux correspondant à la succession des discontinuités du sous-sol. Le temps d'arrivée de chaque signal dépend de la profondeur de chaque discontinuité et de la vitesse de l'onde sismique dans les couches sous-jacentes. La reconnaissance des formations géologiques se fait suivant certains critères qui ne demandant que des impulsions de forme et d'amplitude comparables se trouvent à peu près en synchronisme sur la plupart des traces enregistrées. Du fait que les couches sont presque horizontales, les accidents géologiques sont représentés sur l'image par des alignements approximativement parallèles à l'axe des abscisses. Les traces, après avoir été échantillonnées sont transcrites sur des bandes magnétiques pour être traitées par des ordinateurs.

III - SIGNAL ET BRUIT EN SISMIQUE

Le mot "signal" dans un enregistrement sismique désigne tout événement qui fournit de l'information sur la nature du sous-sol. Tout ce qui n'apporte pas d'information sur la disposition et la nature des couches de terrain est du bruit. Le rapport signal sur bruit est égal à l'énergie d'un événement donné dans un secteur divisée par l'énergie totale du bruit dans ce même secteur.

On peut considérer :

- le bruit "cohérent" ou "organisé" s'il se présente sous la forme d'ondes corrélables sur une certaine distance comme c'est le cas pour les ondes de surface ou les multiples.
- le bruit aléatoire qui provient d'événements fortuits tels que des microséismes, du vent ou de l'appareillage. Ce bruit peut être atténué sur le terrain par un facteur de \sqrt{n} en additionnant n traces provenant de n tirs indépendants.

Au laboratoire, on peut effectuer des traitements pour convertir les données brutes stockées sur les bandes magnétiques en coupes sismiques. Ils mettent en évidence la disposition des différents réflecteurs le long du profil afin que les géologues puissent en faire l'interprétation. Parmi ces traitements, citons la couverture multiple, les corrections statiques et dynamiques, la déconvolution, les filtrages, la migration, etc.

IV - DIAGNOSTIC MEDICAL DANS UN CONTEXTE FLOU

IV.1 - Rappel de quelques notions de base de la théorie des sous-ensembles flous [2]

IV.1.1 - Concept d'appartenance floue

Un sous-ensemble flou \underline{A} d'un ensemble vulgaire E de référence est caractérisé par sa fonction d'appartenance $\mu_{\underline{A}}$ qui prend ses valeurs dans un ensemble vulgaire totale-ment ordonné M qu'on appelle "ensemble d'appartenance". Quand $M = \{0,1\}$, \underline{A} devient un ensemble vulgaire et $\mu_{\underline{A}}$ est sa fonction caractéristique. Dans ce qui suit, M est le segment $[0,1]$. Un sous-ensemble flou \underline{A} est une suite ordonnée de couples :

$$\underline{A} = \{x/\mu_{\underline{A}}(x)\}, \quad \forall x \in E, \quad (1)$$

où $\mu_{\underline{A}}(x)$ est le "degré d'appartenance de x dans \underline{A} ". La frontière de \underline{A} est mal définie ; $x \in \underline{A}$ n'est pas nécessairement "dans \underline{A} " (avec $\mu_{\underline{A}}(x) = 1$) ou "en dehors de \underline{A} " (avec $\mu_{\underline{A}}(x) = 0$), mais \underline{A} peut être un point de \underline{A} tel que $\mu_{\underline{A}}(x)$ prend sa valeur dans le segment $M = [0,1]$. Il y a ainsi une transition continue entre l'appartenance et la non-appartenance, ce qui fait que la théorie des sous-ensembles flous est une généralisation de celle des ensembles vulgaires. On peut représenter un sous-ensemble flou par :

$$\underline{A} = \{(x_2/0,1), (x_4/0,5), (x_5/0), (x_8/0,9)\}$$

avec $E = \{x_i\}_{i=1}^{10}$, par exemple.

Dans ces conditions, \underline{A} est donné par :

$$\underline{A} = \sum_i x_i/\mu_{\underline{A}}(x_i), \quad x_i \in E, \quad (2)$$

où l'opération $+$ tient lieu de somme logique (ou). Le choix des valeurs de $\mu_{\underline{A}}(x)$ n'est pas arbitraire. Il est effectué par la personne \underline{A} qui traite le problème en fonction du contexte de ce dernier, ce qui donne à ce choix un caractère subjectif à ne pas négliger.

IV.1.2 - Opérations simples dans la théorie des sous-ensembles flous

Soient $E = \{x\}$ l'ensemble de référence, \underline{A} et \underline{B} deux sous-ensembles flous dans E .

LE TRAITEMENT DES IMAGES SISMIQUES CONSIDERE COMME UNE APPLICATION DU DIAGNOSTIC MEDICAL DANS UN CONTEXTE FLOU

SEISMIC IMAGE PROCESSING CONSIDERED AS AN APPLICATION OF MEDICAL DIAGNOSIS IN FUZZY CONTEXT

P. BOIS

Selon Zadeh (1965) [1], l'inclusion ($\underline{A} \subset \underline{B}$) et l'égalité ($\underline{A} = \underline{B}$) sont définies par :

$$\underline{A} \subset \underline{B} \iff \mu_{\underline{A}}(x) \leq \mu_{\underline{B}}(x), \forall x \in E, \quad (3)$$

$$\underline{A} = \underline{B} \iff \mu_{\underline{A}}(x) = \mu_{\underline{B}}(x), \forall x \in E. \quad (4)$$

Un sous-ensemble flou $\overline{\underline{A}}$ est le complémentaire du sous-ensemble flou \underline{A} , si :

$$\mu_{\overline{\underline{A}}}(x) = 1 - \mu_{\underline{A}}(x), \forall x \in E. \quad (5)$$

L'union et l'intersection de deux sous-ensembles flous \underline{A} et \underline{B} dans E respectivement notées par $\underline{A} \cup \underline{B}$ et $\underline{A} \cap \underline{B}$ sont respectivement définies par :

$$\mu_{\underline{A} \cup \underline{B}}(x) = \max[\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(x)], \quad (6)$$

$$\mu_{\underline{A} \cap \underline{B}}(x) = \min[\mu_{\underline{A}}(x), \mu_{\underline{B}}(x)]. \quad (7)$$

IV.1.3 - Métrique floue

Les distances entre deux sous-ensembles flous \underline{A} et \underline{B} les plus communément utilisées dans la théorie des sous-ensembles flous sont :

• la distance euclidienne définie par :

$$d_E(\underline{A}, \underline{B}) = \left[\sum_{i=1}^n [(\mu_{\underline{A}}(x_i) - \mu_{\underline{B}}(x_i))^2]^{1/2}, \quad (8)$$

où $n = \text{Card}.E$.

Souvent, cette distance est normalisée en divisant par \sqrt{n} car :

$$0 \leq d_E(\underline{A}, \underline{B}) \leq \sqrt{n}.$$

• la distance de Hamming définie par :

$$d_H(\underline{A}, \underline{B}) = \sum_{i=1}^n |\mu_{\underline{A}}(x_i) - \mu_{\underline{B}}(x_i)|. \quad (9)$$

Cette distance est également normalisée en divisant par n car :

$$0 \leq d_H(\underline{A}, \underline{B}) \leq n.$$

IV.1.4 - Relations floues

Si $X = \{x_i\}$ et $Y = \{y_j\}$, la relation floue \underline{R} qui lie X à Y est une relation floue dans $X \times Y$ caractérisée par sa fonction d'appartenance $\mu_{\underline{R}}$ qui associe à chaque couple (x, y) son degré d'appartenance $\mu_{\underline{R}}(x, y)$ dans \underline{R} .

a) Composition de deux relations floues

- Composition max-min

Soient deux relations floues $\underline{R}_1 \subset X \times Y$ et $\underline{R}_2 \subset Y \times Z$, la composition floue $\underline{R}_1 \circ \underline{R}_2$, notée $\underline{R}_1 \circ \underline{R}_2$ est définie par :

$$\mu_{\underline{R}_1 \circ \underline{R}_2}(x, z) = \max_y [\min(\mu_{\underline{R}_1}(x, y), \mu_{\underline{R}_2}(y, z))], \quad (10)$$

où $x \in X, y \in Y$ et $z \in Z$.

- Composition max-produit

La composition max-produit de deux relations floues \underline{R}_1 et \underline{R}_2 est définie par :

$$\mu_{\underline{R}_1 \cdot \underline{R}_2}(x, z) = \max_y [\mu_{\underline{R}_1}(x, y) \cdot \mu_{\underline{R}_2}(y, z)]. \quad (11)$$

b) Relation de similitude

Une relation de similitude \underline{S} dans E est une relation floue qui est :

• réflexive : $\mu_{\underline{S}}(x, y) = 1, \text{ si } x = y \in E, \quad (12)$

• symétrique : $\mu_{\underline{S}}(x, y) = \mu_{\underline{S}}(y, x), \forall (x, y) \in E \times E, \quad (13)$

• transitive : $\mu_{\underline{S}}(x, z) \leq \max_y [\min(\mu_{\underline{S}}(x, y), \mu_{\underline{S}}(y, z))]. \quad (14)$

b) Relation de ressemblance

Une relation floue \underline{R} qui satisfait aux seules propriétés de réflexivité (12) et de symétrie (13) est appelée une "relation de ressemblance" ou de "proximité".

IV.2 - Diagnostic médical

IV.2.1 - Introduction du diagnostic médical

Comme nous l'avons signalé dans l'introduction, le traitement des coupes sismiques revient à élaborer des cartes du sous-sol. Pour leur réalisation, on procède d'abord par voie inverse en recherchant, à partir du document original, un modèle géologique \underline{G} qui se rapproche le plus possible de la géologie. Puis par voie directe, on élabore un document synthétique \underline{F} que l'on compare avec le document original \underline{J} . S'il y a ressemblance entre les deux documents synthétique et original, le problème est résolu sinon on applique alors une méthode s'apparentant à celle du diagnostic médical.

IV.2.2 - Généralités sur le diagnostic médical

Le diagnostic médical comporte trois phases importantes : la détermination des symptômes, la connaissance médicale du praticien et l'élaboration de l'ordonnance.

a) Détermination des symptômes

La détermination des symptômes n'est peut-être pas la phase la plus délicate du diagnostic médical car le praticien a maintenant à sa disposition une panoplie très étendue de moyens pour déceler les maladies. Citons les plus connus : les analyses, les radiographies, les échographies, les électrocardiogrammes, les encéphalogrammes, etc. Mais, néanmoins, cette information si précieuse au médecin reste imprécise, vague et sujette à son interprétation.

b) La connaissance médicale d'un praticien est beaucoup plus subtile à saisir. Certes, un professeur de faculté de médecine sera plus compétent devant un cas précis et délicat qu'un généraliste qui professe en campagne. En effet, au cours de l'exercice de sa profession, le professeur sera confronté à un nombre considérable de maladies qui correspondent à sa spécialité. Les connaissances, le savoir d'un praticien ne font pas tout dans le diagnostic. Il y a aussi une part d'impondérable, de chance qui nous fait dire qu'il n'y a pas de bons ou de mauvais médecins, mais des médecins qui trouvent ou qui ne trouvent pas. Aussi, cette phase présente-t-elle un caractère subjectif où le facteur humain joue un rôle prépondérant.

c) L'élaboration de l'ordonnance, c'est-à-dire la prescription de tel ou tel médicament nécessite d'abord un effort de synthèse important de la part du praticien. Il doit tenir compte des symptômes de la maladie de son patient, mais également de son tempérament, de son hérédité, de ses activités tant familiales que professionnelles. Ensuite, le praticien, en fonction de ses connaissances médicales, prescrira à son patient les médicaments qui lui sembleront les mieux adaptés pour combattre sa maladie.

Bien souvent, les remèdes proposés ne guérissent pas le malade et le médecin est alors obligé de prescrire de nouveaux remèdes en tenant compte de l'efficacité des précédents. Le processus utilisé par le médecin est alors itératif et consiste à faire de nouveaux examens et de prescrire de nouveaux remèdes. Le processus s'arrêtera quand le patient sera guéri.



LE TRAITEMENT DES IMAGES SISMIQUES CONSIDERE COMME UNE APPLICATION DU DIAGNOSTIC MEDICAL DANS UN CONTEXTE FLOU

SEISMIC IMAGE PROCESSING CONSIDERED AS AN APPLICATION OF MEDICAL DIAGNOSIS IN FUZZY CONTEXT

P. BOIS

IV.3 - Diagnostic médical dans un contexte flou

Comme nous l'avons déjà signalé, l'information que possède le médecin pour soigner son patient est souvent vague, confuse, approximative et voire imprécise. De plus, nous avons constaté que de nombreux facteurs humains interviennent dans l'établissement d'un diagnostic médical ce qui lui donne un caractère subjectif. Aussi, des biomathématiciens [3] ont pensé que la théorie des sous-ensembles flous s'adaptent bien pour concevoir un diagnostic médical tenant compte de l'imprécision et du caractère subjectif des données médicales. Au sens de la théorie des sous-ensembles flous, cela revient à considérer le diagnostic médical comme une suite de processus basés sur la composition de relations floues.

Pour une maladie donnée, les sous-ensembles flous \underline{S} et \underline{R} sont respectivement les sous-ensembles des symptômes et des remèdes. Ce que nous appelons "les connaissances médicales" d'un praticien est la relation floue qui relie \underline{S} à \underline{R} . En effet, au vue des symptômes, le médecin en fonction de ses connaissances médicales, de son expérience et de sa personnalité prescrit le ou les remèdes pour combattre la maladie. Le problème pour le médecin est de trouver une relation floue \underline{R} qui appliquée à \underline{S} donne les remèdes r ($r \in \underline{R}$) qui guériront son patient. En réalité, le médecin n'est en possession que d'un sous-ensemble flou \underline{S} de \underline{S} ($\underline{S} \subset \underline{S}$) et dans ces conditions, on a la relation floue :

$$\underline{B} = \underline{R} \circ \underline{S} \quad (15)$$

qui décrit l'évolution de la maladie lorsque les remèdes r agissent comme si \underline{B} était un sous-ensemble flou de \underline{R} .

Le médecin aura à déterminer :

- la relation \underline{R} en fonction de son expérience personnelle, de ses connaissances médicales et des symptômes que présente le malade,

- la fonction d'appartenance de \underline{B} $f_{\underline{B}}(r)$.

Ainsi, en possession de ces éléments, le médecin prescrira les remèdes pour guérir son patient.

V - INTERPRETATION DE COUPES SISMIQUES

Bien souvent, le travail du sismicien se réduit à une analyse qualitative des coupes sismiques, car il est difficile de faire des mesures quantitatives et exactes. En effet, le sismicien est fréquemment appelé à interpréter, c'est-à-dire, séparer, comparer. Il a à déceler des ressemblances entre signaux, à corrélérer des événements, à tenir compte de petits détails, de nuances, de tout ce que constitue le caractère d'une réflexion sismique. Dans l'interprétation, le sismicien a à effectuer ce travail long, fastidieux et délicat du "pointé des réflexions" et également à prendre de nombreuses décisions pour localiser les accidents géologiques.

Pour interpréter une coupe sismique, on procède généralement de la façon suivante.

On pointe d'abord la coupe sismique en déterminant au mieux les horizons sismiques et ceci, en respectant un certain nombre de critères mettant en évidence la cohérence entre les événements sismiques. On doit également tenir compte que cette opération dépend d'un grand nombre de facteurs humains et que de ce fait l'information qui en résulte est subjective. Pour être accessible à l'ordinateur, cette information doit être codée. Pour ce faire, nous avons à construire un vocabulaire qui peut être composé d'adjectifs comme petit, moyen, grand, etc. corrigés par des adverbes comme presque, très, assez, etc. et enfin suivis de substantifs tirés d'un dictionnaire de géologie comme sable, argile, craie, etc. Chacun de ces termes est codé. Ainsi, une "couche d'argile assez grande" aura pour code 128 si l'argile

a pour code 1, l'adverbe assez 2 et l'adjectif grand 8. Même dans cet exemple très simple, le caractère subjectif est pris en compte par la présence des adverbes. Une fois la coupe géologique pointée, l'interpréteur stocke dans la mémoire d'un ordinateur l'information objective provenant directement du pointé ainsi que l'information subjective préalablement codée comme nous venons de l'indiquer.

Le sismicien et le géologue qui travaillent de concert sont en possession d'un ensemble flou composé d'un modèle géologique \underline{G} à partir duquel, par convolution, ils peuvent reconstituer des coupes synthétiques \underline{F} . Elles constituent à leur tour des ensembles flous avec chacune leur fonction d'appartenance.

Deux cas peuvent se présenter :

- . il y a ressemblance physique entre la coupe originale \underline{K} et la coupe synthétique \underline{F} ; c'est-à-dire que l'aspect des deux coupes quant à leur forme présente de nombreuses similitudes. Cette ressemblance géométrique n'est pas un concept flou et peut être mesurée par des outils statistiques comme la cohérence, la corrélation ou le critère du maximum de ressemblance.

- . il y a ressemblance des deux coupes \underline{K} et \underline{F} dans le contexte flou. D'abord, on considère la coupe originale \underline{K} comme un sous-ensemble flou dont les éléments : horizons, réflexions, multiples, etc. sont des événements possédant chacun leur fonction d'appartenance propre déterminée subjectivement par l'interpréteur. Ensuite, on doit choisir un processus pour mesurer cette ressemblance, soit en utilisant un opérateur de composition max-min (10), soit en calculant des distances euclidiennes (8) ou de Hamming (9). Enfin, il reste à interpréter les résultats qui proviennent de cette étude de ressemblance pour décider de la validité de la coupe synthétique qui vient d'être ébauchée.

Si un événement flou de la coupe synthétique \underline{F} a une ressemblance supérieure à 0,5 à l'événement correspondant de la coupe originale \underline{K} , on décide de le considérer comme ressemblant. Si un horizon de la coupe synthétique \underline{F} a tous ses éléments ressemblant à ceux correspondant à la coupe originale \underline{K} , les deux horizons sont alors ressemblants. De même, les coupes synthétique \underline{F} et originale \underline{K} seront ressemblantes si tous leurs horizons sont ressemblants et on décide alors que cette coupe synthétique \underline{F} est valable et correspond à la réalité géologique du sous-sol. On peut à partir des fonctions d'appartenance des différents événements flous constituant la coupe synthétique \underline{F} donner un facteur de ressemblance en appliquant un opérateur max-min (10), c'est-à-dire un facteur qui mesure le degré de validité du modèle géologique \underline{G} trouvé.

Si un certain nombre d'éléments flous constituant le modèle géologique \underline{G} proposé ont des ressemblances inférieures à 0,5, il y a lieu d'utiliser un processus qui s'apparente au diagnostic médical.

Dans ce cas, il arrive que des coupes synthétiques \underline{F} ne ressemblent que partiellement à la coupe originale \underline{K} : un horizon peut avoir disparu et posséder une fonction d'appartenance presque nulle ou, au contraire, un événement sismique apparaît avec une fonction d'appartenance relativement grande alors qu'il n'existe pas sur la coupe originale \underline{K} . On assimile alors la coupe synthétique à un patient qui est examiné par un médecin. Les différences ou anomalies s entre la coupe synthétique \underline{F} et la coupe originale \underline{K} sont à comparer aux symptômes dans un diagnostic médical, symptômes qui appartiennent à l'ensemble flou des symptômes \underline{S} . Ces anomalies s sont décelées sur des événements sismiques e qui constituent la coupe originale \underline{K} . Comme pour le médecin, l'interpréteur doit trouver une relation floue \underline{R} qui lui permette de faire subir un certain nombre de transformations r au



LE TRAITEMENT DES IMAGES SISMIQUES CONSIDERE COMME UNE APPLICATION DU DIAGNOSTIC MEDICAL DANS UN CONTEXTE FLOU

SEISMIC IMAGE PROCESSING CONSIDERED AS AN APPLICATION OF MEDICAL DIAGNOSIS IN A FUZZY CONTEXT

P. BOIS

modèle géologique \mathcal{G} pour obtenir une meilleure ressemblance entre coupes originale \mathcal{K} et synthétique \mathcal{F} . Le médecin procède de la même façon lorsqu'il prescrit des remèdes à ses malades. L'ensemble des transformations r est un ensemble flou $\underline{\mathcal{R}}$.

Considérons un sous-ensemble flou $\underline{\mathcal{S}}$ de \mathcal{S} ($\underline{\mathcal{S}} \subset \mathcal{S}$) et la relation floue $\underline{\mathcal{R}}$ qui permet de corriger le modèle géologique \mathcal{G} pour obtenir une meilleure ressemblance entre coupes \mathcal{K} et \mathcal{F} :

$$\underline{\mathcal{B}} = \underline{\mathcal{R}} \circ \underline{\mathcal{S}} \quad (16)$$

Cette relation décrit l'influence des transformations r sur le modèle géologique \mathcal{G} comme si $\underline{\mathcal{B}}$ était un sous-ensemble de $\underline{\mathcal{R}}$. On peut constater qu'il y a une parfaite similitude entre la relation (15) qui est celle du diagnostic médical et la relation (16) qui est celle de l'interprétation sismique.

L'interpréteur, comme le médecin, déterminera la relation $\underline{\mathcal{R}}$ en fonction de ses compétences, de son expérience, de son entraînement et des anomalies entre les deux coupes. Il aura également à définir la fonction d'appartenance de $\underline{\mathcal{B}}$ qui est donnée par :

$$f_{\underline{\mathcal{B}}}(r) = \max_{s \in \underline{\mathcal{S}}} [f_{\mathcal{K}}(s) \wedge f_{\underline{\mathcal{R}}}(s,r)], \quad r \in \underline{\mathcal{R}}. \quad (17)$$

En possession de la relation floue $\underline{\mathcal{R}}$ et au vue des différences entre coupes originale \mathcal{K} et synthétique \mathcal{F} , l'interpréteur apportera les corrections au modèle géologique \mathcal{G} pour que les différences s s'atténuent. Si le résultat obtenu n'est pas jugé satisfaisant, le sismicien devra modifier la relation $\underline{\mathcal{R}}$ en tenant compte de nouvelles différences entre coupes. Ce processus itératif n'est arrêté que lorsque l'interpréteur constate une bonne ressemblance entre coupes \mathcal{F} et \mathcal{K} . Le modèle géologique \mathcal{G} qui en résulte alors est considéré comme celui qui correspond à la réalité géologique.

VI - EXEMPLE

Cet exemple est tiré d'une étude faite en Mer Méditerranée. La coupe sismique (fig. 1) est constituée de huit horizons perturbés par trois failles. Ces horizons ont été pointés de part et d'autre de ces failles pour analyser leur continuité au moyen de notre méthode d'interprétation. Sur les figures 2 et 3, nous présentons les améliorations apportées sur les pointés des horizons sismiques quand notre processus d'interprétation passe de deux à cinq itérations.

Nous pouvons constater sur la figure 2 que les 2ème, 3ème, 6ème et 7ème horizons ont des ressemblances assez faibles (0,3-0,5) surtout sur le front de la première faille. Au contraire, une fois la faille atteinte, les ressemblances sont bonnes (0,7-0,9) sauf pour le 6ème horizon (0,3). La cinquième itération (fig. 3) montre une amélioration sensible pour les 2ème, 3ème et 7ème horizons tandis que le 6ème horizon conserve une ressemblance faible (0,3).

VII - CONCLUSION

Bien que le champ d'application de la théorie des sous-ensembles flous est immense, il peut être étendu utilement à la sismique et en particulier à l'interprétation des coupes sismiques. La méthode que nous avons exposée s'apparente au diagnostic médical dans un contexte flou. Elle a été programmée en Fortran 77 et le programme a été appliqué à de nombreuses études pour donner toujours de bons résultats.

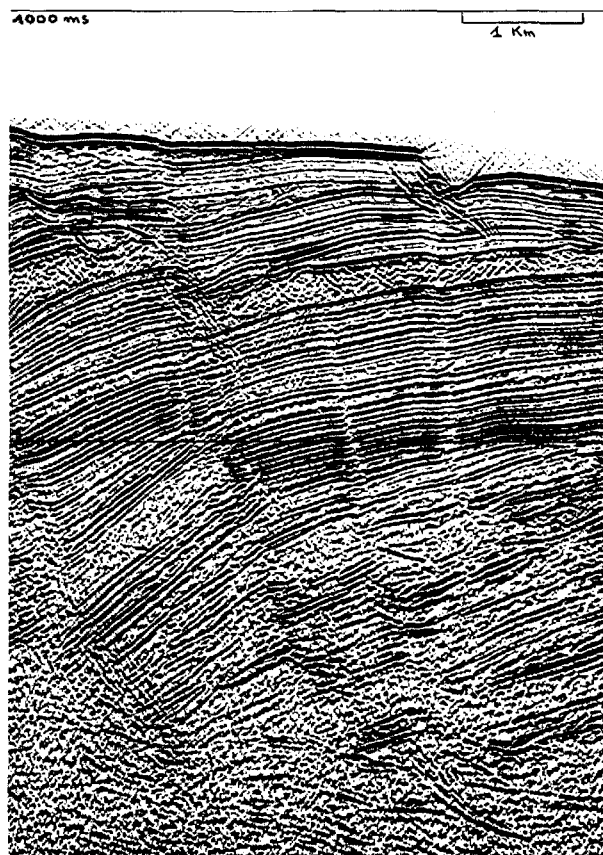


Fig. 1 - Coupe originale

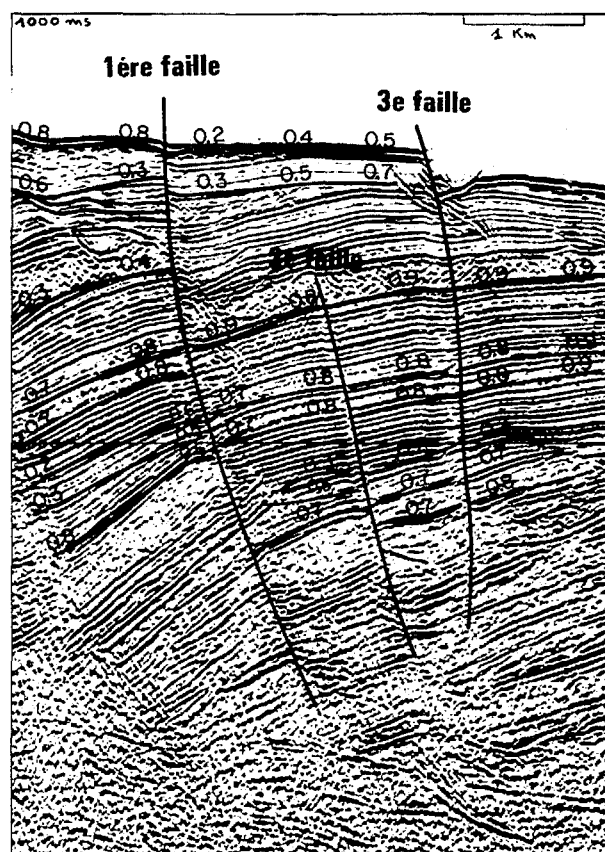


Fig. 2 - Seconde itération

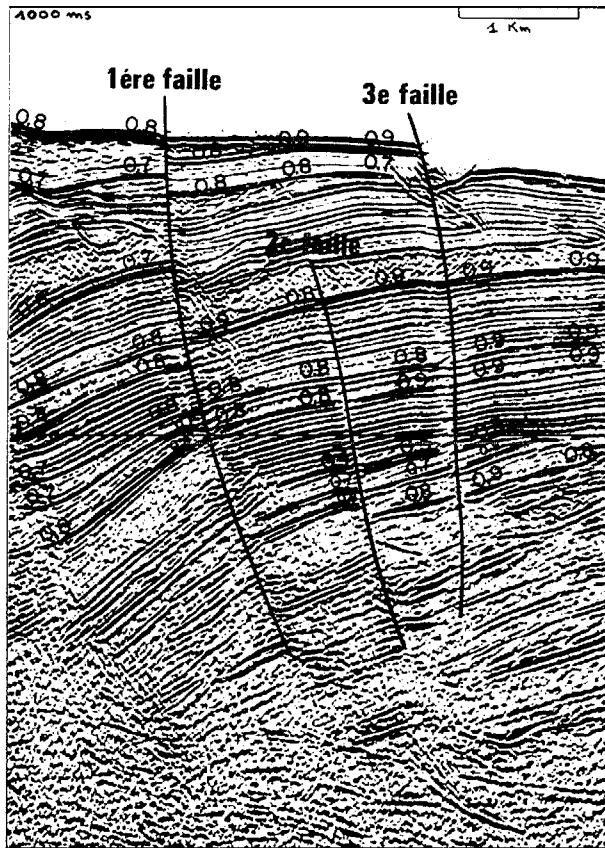


Fig. 3 - Cinquième itération

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ZADEH, L.A., Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 1965.
- [2] KAUFMANN, A., Introduction à la théorie des sous-ensembles flous à l'usage des ingénieurs, Tome 1, Eléments théoriques de base, 1973.
- [3] SANCHEZ, E., Medical diagnosis and composite fuzzy relations, Advances in Fuzzy Set Theory and Applications, North-Holland, pp. 437-444, 1979.