

# Interpretation des Images Sismiques: Approche par Fusion Coopérative.

Lionel VALET<sup>1</sup>, Gilles MAURIS<sup>1</sup>, Philippe BOLON<sup>1</sup>, Naamen KESKES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>LAMII / CESALP, Université de Savoie,  
41 avenue de la plaine, BP 806, 74 016 Annecy Cedex, FRANCE

<sup>2</sup>ELF Aquitaine, Avenue Larribau,  
64 018 Pau Cedex, FRANCE

{valet,mauris,bolon}@esia.univ-savoie.fr,  
Naamen.Keskes@elf-p.fr

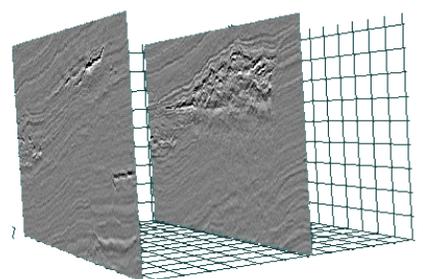
**Résumé** – L’interprétation des images sismiques dans le cadre de la prospection pétrolière, est une opération complexe qui nécessite de la part des experts, une connaissance importante. Afin de les aider, une méthode semi-automatique basée sur la fusion d’informations est proposée. Elle permet de traiter un nombre important de données sismiques. La théorie des sous-ensembles flous a été retenue pour modéliser les connaissances exprimées de manière symbolique par les interprètes et les coupler avec les valeurs numériques des attributs issus de l’image. L’interface logicielle réalisée dans le cadre de cette étude permet, de plus, une coopérativité entre l’utilisateur et la machine grâce à cet aspect symbolique. Cette méthode permet ainsi de reproduire rapidement des segmentations de régions complexes.

**Abstract** – Seismic image interpretation, aimed at detecting some interesting oil reservoirs, is a complex problem which requires time and knowledge from geophysicists. To help them in this prospecting, a semi-automatic system based on fuzzy subset theory is proposed. This theory has been retained to modelize interpreter’s knowledge formulated in a symbolic way and to fused it with numeric values of the seismic attributes. The graphic user interface realized is devoted to a cooperation between the user and the system whereas the numerical aspect is implicitly managed. Thanks to the developed software, the method allows to quickly reproduce segmentation of complex regions.

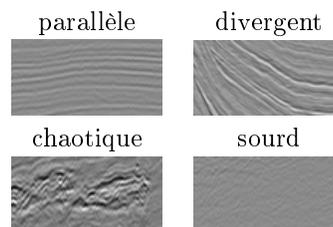
## 1 Le problème

L’étude des blocs sismiques tridimensionnels par les géologues et les géophysiciens a pour objectif la découverte de réservoirs de pétrole ou de gaz à explorer dans les années à venir. Ce processus est un maillon de la longue chaîne de traitement pour l’exploration. Cette interprétation des données sismiques afin de comprendre l’organisation du sous-sol, demande beaucoup de temps et d’expérience. La figure 1(a) présente un bloc sismique tridimensionnel. Ces blocs se composent de différentes structures sismiques (failles, horizons, faciès<sup>1</sup>, ...). La figure 1(b) présente quelques exemples de faciès recherchés (fig.1(b)). Ils se différencient les uns des autres notamment par la texture qui les compose. Cet article présente la mise en place d’une méthode semi-automatique basée sur la théorie des sous-ensembles flous pour l’aide à la détection de ces faciès sismiques.

La section suivante décrit l’approche par fusion coopérative mise en oeuvre dans le cadre de cette application. La section 3 présente l’interface logicielle développée afin de réaliser la coopération entre les interprètes et le système ainsi que les résultats obtenus.



(a) Bloc sismique 3D



(b) Faciès sismiques

<sup>1</sup> régions typiques dues aux caractéristiques internes des réflexions des ondes acoustiques générées pour l’acquisition des blocs sismiques

FIG. 1.: Exemple de bloc et de faciès sismiques

## 2 Interprétation coopérative des blocs sismiques

La méthode proposée repose sur une fusion coopérative d'attributs sismiques. L'approche fusion [1] vise à obtenir un système dont le comportement est proche de celui des interprètes. En effet, ils décrivent les faciès sismiques par des règles liant des notions d'énergie et d'organisation locale dans les images. Ces attributs sont obtenus à partir de calculs tridimensionnels sur les blocs sismiques [2]. La théorie des sous-ensembles flous est utilisée dans cette application pour combiner ces deux grandeurs car elle est adaptée pour le codage des règles exprimées sous forme linguistique par les interprètes [3, 4]. Voici un exemple de règles décrivant un faciès chaotique:

:

SI l'isotropie EST grande ET SI l'énergie EST grande  
ALORS le voxel APPARTIENT A une région chaotique.

:

L'aspect coopératif recherché dans ce système a pour but de faire intervenir les interprètes dans la détection de faciès. Leur rôle va être d'initialiser le système grâce à leur connaissance. Les résultats en sortie du procédé sont accompagnés d'une mesure de qualité qui va permettre d'ajuster le réglage initial de façon interactive. Cette coopération Homme/Machine permet d'impliquer les interprètes dans le procédé de manière à les aider et non de les remplacer.

La méthode floue utilisée fait intervenir un certain nombre de paramètres. Ils sont regroupés en deux types: les paramètres fixes et les paramètres ajustables. Les paramètres fixes sont la règle d'inférence, les opérateurs de combinaison et de projection et la méthode de défuzzification. Le choix de ces paramètres est largement décrit dans [5]. Ils ont été déterminés dans le but de modéliser le comportement des interprètes. Ils sont donc non modifiables par l'utilisateur. Le choix des autres paramètres (nombre de mots, significations des mots, base de règles) fait l'objet de cet article. Ces paramètres sont initialisés puis ajustés par les interprètes. Pour cela, le système de fusion fournit une mesure de qualité de la détection réalisée. Cette mesure ajoutée aux propres critères qualitatifs des interprètes va leur permettre d'ajuster de façon interactive les paramètres du système de fusion.

L'évaluation de la qualité du résultat s'effectue grâce à une mesure de distance entre le résultat obtenu et les régions de références fournies par les interprètes. Ces références correspondant au coeur des régions recherchées, représentent des zones clairement identifiées par les interprètes. Le contour n'est pas celui de la région finale. Donc, des mesures d'inclusion sont adéquates pour évaluer la détection.  $\Delta(Ref, A)$  est une mesure de l'inclusion de l'image de référence  $Ref$  avec l'image résultat notée  $A$ :

$$\Delta(Ref, A) = \frac{Card(R_A \cap R_{Ref})}{Card(R_{Ref})} \quad (1)$$

$R_A$  représente les régions détectées dans l'image  $A$  tandis que  $R_{Ref}$  représente les régions de référence.

Une dernière étape, proposée aux interprètes, consiste à rechercher autour du réglage réalisé précédemment, un affinement encore plus optimum au sens d'un critère quantitatif préétabli. Cette étape a pour but de rechercher l'existence d'un meilleur ajustement automatique proche de celui fixé par les interprètes.

## 3 Mise en oeuvre & résultats

Afin de mettre en oeuvre cette méthode coopérative, il est indispensable de développer une interface graphique permettant facilement d'impliquer les interprètes dans le processus. Ce développement logiciel porte le nom de projet POCASS pour "POINTé et CALibrage de Sections Sismiques". L'étape de pointé permet d'initialiser le système: l'interprète pointe, à l'aide de la souris, des régions de référence qui permettront d'évaluer la qualité du résultat et il remplit la base de règles décrivant ainsi les faciès qu'il recherche. La deuxième étape consiste à ajuster les significations des termes linguistiques de manière interactive. Un tableau unique permet de réaliser l'ensemble de ces actions. En effet, les interprètes manipulent aisément le fait qu'une énergie soit "forte" mais ils ne sont pas capables de dire à quel intervalle numérique correspond la signification du mot "fort". Ceci est en fait relatif au bloc étudié et à la méthode de calcul qui permet d'obtenir les attributs. Ce calcul n'est pas du ressort du géologue mais du traicteur d'images, ce qui justifie le besoin de calibrer graphiquement les significations pour traduire le ressenti des experts.

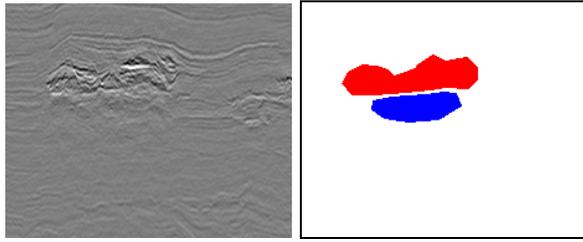
### 3.1 POCASS

L'interface réalisée dispose dans une première fenêtre de l'ensemble des fonctions nécessaires à la visualisation et à la manipulation de blocs sismiques. Une seconde fenêtre (Fig. 2) a en charge la gestion des faciès recherchés. L'interprète peut facilement ajouter, supprimer ou modifier des pointés de faciès. Enfin, une fenêtre est dédiée au codage de connaissance de l'interprète. Elle permet dans une même zone, d'ajuster graphiquement à la fois la signification des fonctions d'appartenance et la saisie des règles.

La figure 3 illustre le principe de construction de ce tableau. Par un clic sur la souris, l'interprète a la possibilité de déplacer le quadrillage du tableau et par construction, de modifier directement les fonctions d'appartenance. Par un simple clic, il peut également sélectionner des règles.

Une fois ces opérations effectuées, l'interprète peut lancer l'exécution de la fusion. En fonction de sa propre évaluation du résultat et de l'indice de qualité calculé, l'interprète va interagir avec le système en modifiant en temps réel le réglage des paramètres de la fusion. Par ce système, il est en contact avec la partie symbolique du flou, partie qui manipule les mêmes notions que lui. A contrario, l'aspect numérique et calculatoire est masqué par l'interface.

Enfin, pour s'aider dans cet ajustement interactif, l'expert a la possibilité de tracer dans le tableau des règles, les nuages de points correspondant aux images, dans l'espace



(a) Section sismique (b) Visualisation des régions de référence



(c) Fenêtre de gestion des faciès

FIG. 2.: Gestion des faciès recherchés.

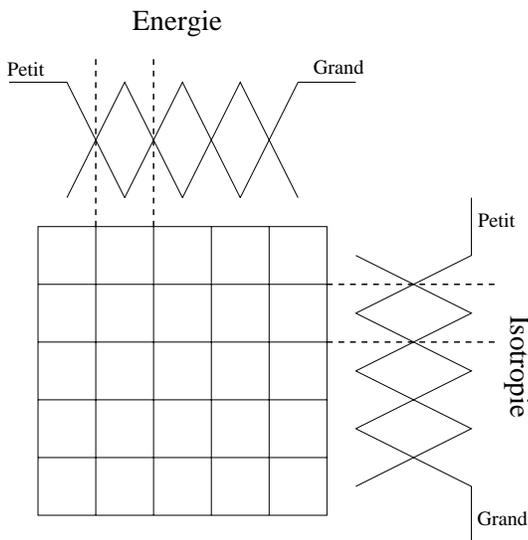
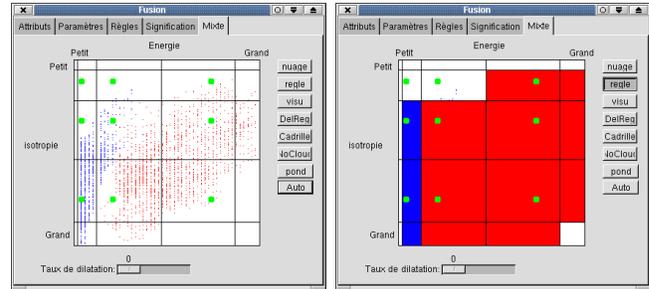


FIG. 3.: Principe de construction du tableau permettant l'acquisition des règles et des réglages des significations floues.

des attributs, des régions qu'il a pointées précédemment (Fig. 4). L'ajustement des significations linguistiques consiste ensuite à isoler au mieux ces nuages à l'aide du cadrillage.



(a) Tracé des nuages de points correspondant aux faciès recherchés.

(b) Sélection des règles

FIG. 4.: Tableau d'acquisition des règles et de réglage des significations floues.

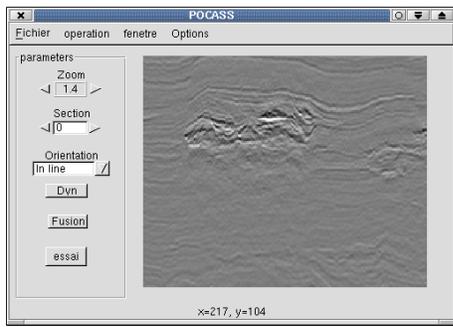
### 3.2 Illustration du processus de fusion

La figure 5 présente quelques résultats obtenus par cette approche coopérative en utilisant le logiciel réalisé: l'image 5(b) est la première détection obtenue après que l'interprète ait initialisé le système. Les faciès chaotiques en noir présentent des discontinuités dans la détection tandis que le faciès sourd en gris déborde très largement vers le bas de l'image. L'image 5(c) est l'image finale après ajustement interactif des significations linguistiques. L'amélioration est nettement visible et la mesure de qualité a beaucoup augmenté.

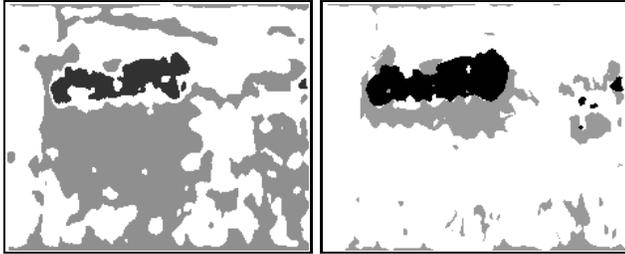
### 3.3 Affinage automatique

Une dernière étape est proposée aux interprètes. Elle consiste à rechercher autour du réglage qu'ils ont réalisé, un affinage automatique des paramètres. En effet, l'interprète a réglé la signification des mots avec une certaine imprécision due à la résolution graphique du logiciel. L'idée consiste à conserver ce réglage et de considérer que le réglage optimal au sens d'un certain critère objectif, se trouve à proximité. La recherche va donc s'effectuer autour du réglage donné par l'interprète dans un intervalle déterminé par avance. La figure 6 illustre ce principe d'ajustement automatique des paramètres autour du réglage de l'interprète. Le critère objectif utilisé est la mesure de qualité définie et utilisée précédemment (Eq. 1).

La figure 7 présente la détection optimisée après le réglage de l'expert qui donnait la figure 5(c). Le faciès chaotique en noir comporte moins de trous et de fausses détections. Le faciès sourd a une meilleure enveloppe. L'espace entre ces deux faciès adjacents a aussi été réduit. Le gain est peu important (de l'ordre de 3%) mais il peut le devenir lors de la propagation du calcul à l'ensemble du bloc sismique tridimensionnel. Cette étape d'affinage automa-



(a) Section sismique visualisée avec PO-CASS



(b) Détection après initialisation:  $\Delta(Ref, A) = 78\%$

(c) Détection après ajustement:  $\Delta(Ref, A) = 95\%$

FIG. 5: Résultat de détection de faciès: les pourcentages représentent les taux de recouvrement entre les références et les détections obtenues

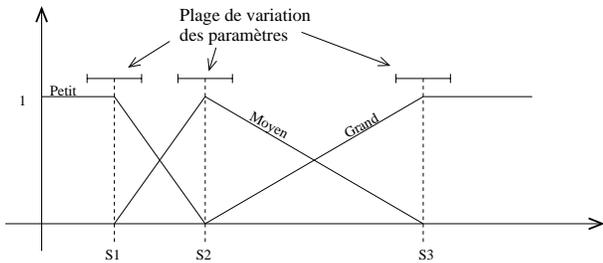


FIG. 6: Ajustement automatique des paramètres autour du réglage de l'interprète.

tique n'est pas obligatoire et elle dépend de l'objectif de l'interprète. Là encore il y a une interaction entre le système et l'interprète. Le système propose un certain nombre d'outils et l'interprète décide de leurs utilisations, de leurs réglages en intégrant d'autres connaissances telles la forme et la taille des régions.

## 4 Conclusion

Cet article présente une méthode de détection semi-automatique de faciès sismiques basée sur la fusion floue d'attributs. Une interface graphique permet de mettre en oeuvre l'aspect coopératif entre le système et l'interprète en masquant l'aspect calculatoire du flou et en permettant un réglage convivial des paramètres liés à l'aspect

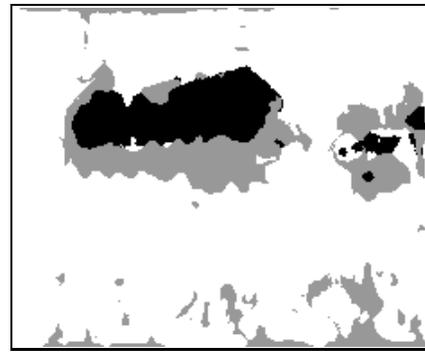


FIG. 7: Détection obtenue après affinage automatique des significations floues. La mesure de l'inclusion donne une qualité de 98%.

symbolique des connaissances. Une mesure de qualité permet d'évaluer la détection obtenue et d'aider l'expert dans l'ajustement des paramètres. Une dernière étape consiste à rechercher un réglage plus optimum autour du réglage réalisé par l'interprète et suivant un certain critère de qualité.

Les résultats obtenus sur des premiers faciès sont satisfaisants. Des essais sur des faciès plus évolués et avec l'aide d'un plus grand nombre d'interprètes sont en cours de réalisation. De même, d'autres mesures de qualité sont actuellement étudiées. En effet, l'affinage automatique des paramètres est très dépendant de cette mesure qui doit donc refléter au mieux l'évaluation réalisée par les interprètes.

## Références

- [1] B. V. Dasarthy. Sensor fusion potential exploitation-innovative architectures and illustrative applications. *Proceeding of the IEEE*, 85(1):24-38, 1997.
- [2] S. Guillon. *Filtrage Adaptatif non linéaire appliqué au renforcement et à la segmentation d'images*. PhD thesis, Université de Bordeaux I, FRANCE, 13 Novembre 1997.
- [3] I. Bloch and H. Maître. On some features of fuzzy set theory for data fusion. In *INCOM, 9th Symposium on Information Control in Manufacturing*, volume 3, Nancy-Metz, France, June 24-26 1998.
- [4] D. Dubois, L. Foulloy, S. Galichet, and H. Prade. Performing approximate reasoning with words? In *Computing with words in Information/Intelligent systems 1*, pages 24-49. Springer verlag, 1999.
- [5] L. Valet, G. Mauris, Ph. Bolon, and N. Keskes. Seismic image segmentation by fuzzy fusion of attributes. In *Instrumentation and Measurement Technology Conference IMTC2000*, pages 360-364, Maryland, USA, May 2000.