
 Soumis le : 25/06/2016

Forme révisée acceptée le : 17/01/2017

Auteur correspondant : abdelhakim_benali@yahoo.fr

Nature & Technology

Fluid flow simulation through a naturally fractured reservoir with Matlab & Eclipse software

Abdelhakim BENALI^a, Abdelmoumen BACETTI^b, Abdelkader BELKHERROUBI^a, Hocine HARHAD^a, Souad FASLA-LOUHIBI^c,

^a PED – Petroleum Engineering & Développement Division/Sonatrach Inc. Hydra, Algeria.

^b Sonatrach/Association IZAREN, HassiMessaoud, Algeria.

^c LaRTFM, Mechanical Engineering Department, Polytechnical School, Oran, Algeria.

Résumé :

Dans le domaine pétrolier, comprendre les paramètres susceptibles d'optimiser et de développer le champ à hydrocarbures sont très important afin d'optimiser les rendements économiques d'une compagnie pétrolière. D'ailleurs, les gisements les plus rentables économiquement sont les gisements les plus facilement accessibles et les plus simples à exploiter. Cette simplicité est basée principalement sur une meilleure compréhension du réservoir pétrolier. Dans ce contexte, parmi les principales tâches de l'ingénieur réservoir est d'en optimiser la production. Par ailleurs, il fait appel à des outils fiables, d'abord pour visualiser le sous-sol afin d'identifier l'emplacement des réservoirs potentiels puis pour décrire la structure géométrique d'un réservoir afin de prévoir son comportement dynamique au moyen des logiciels de simulation numérique. Le cœur des travaux présentés dans cet article concerne une meilleure compréhension du réservoir. Et pour ce faire, nous sommes placés devant le défi d'exploiter un outil jugé utile, afin de construire un modèle représentatif de la réalité du sous-sol à partir des données disponibles. En nous basant sur la boîte à outils Matlab Reservoir Simulation Toolbox (MRST), nous avons élaboré un outil scientifique permettant d'estimer les réserves en hydrocarbures et de simuler le modèle de réservoir, pour ensuite prédire la façon dont les fluides circulent à travers ce modèle.

Mots-clés : Milieu poreux, Estimation volumétrique, Simulation numérique, Matlab, toolboxMRST.

Abstract:

In the petroleum industry, understand the relationship among the parameters that optimize and develop the oil field is very important to optimize the economic returns of Petroleum Company. As well, the most economically profitable fields are the most easily accessible and simple to exploit. This simplicity is based mainly on a better understanding of the process in anisotropic rocks and their influence on the elastic modelling and characterization of naturally fractured reservoirs. In this context, among the main tasks of the reservoir engineer is to optimize production. Furthermore, it called on reliable tools, first to visualize the sub-surface in order to identify the location of potential reservoirs and to describe the geometric structure of a reservoir to predict dynamic behavior using software numerical simulation. The crux of the work presented in this article concerns a better understanding of the reservoir. And to do this, we are faced with the challenge to exploit a deemed useful tool in order to construct a representative model of the sub-surface reality from the available data. Based on the toolbox MRST (Matlab Reservoir Simulation Toolbox), we developed a scientific tool for estimating hydrocarbon reserves and to simulate the reservoir model and then predict how fluids flow through this model.

Keywords: Porous media, volumetric estimation, Numerical simulation, Matlab, MRST toolbox

1. Introduction:

La mise en place d'une exploitation pétrolière représente un investissement très lourd. Les compagnies pétrolières chargées d'évaluer l'intérêt d'un gisement

pétrolier doivent donc être capables de prévoir le plus précisément possible la quantité d'hydrocarbures qu'elles pourront récupérer. Cependant, les logiciels de simulation de réservoir constituent un rôle important pour l'industrie pétrolière. Le simulateur d'écoulements qui consiste à résoudre un système d'équation différentielle contient implicitement toute la physique-mathématique utilisée pour décrire les écoulements en milieux poreux [1].

Les lois gouvernant les écoulements des fluides à travers un milieu poreux sont principalement la loi de conservation de la masse, la loi de conservation de l'énergie et la loi de darcy. Ces équations sont fortement non linéaires et le système final obtenu est très complexe, cette complexité rends très difficile une étude mathématique sur les inconnues et leur comportement, et aussi sur l'existence de solutions pour ces équations. Les principales inconnues sont les saturations et les pressions en chacune des phases [2, 3].

Pratiquement, seule la porosité ϕ et la K perméabilité sont supposées connues et toutes les autres grandeurs se réécrivent en fonction des saturations et des pressions grâce à différents modèles [4]. Dans la littérature récente, la simulation d'un réservoir consiste à mettre en place un modèle du comportement physique des fluides, en développant des théories pour l'expliquer. De ce fait, le modèle mathématique est élaboré en associant les équations déjà citées auparavant. On développe ensuite les méthodes numériques suggérées pour chercher des solutions approchées d'équations aux dérivées partielles, en se basant sur une représentation discrète du réservoir.

Le calcul de cette solution approchée s'appuie sur une discrétisation spatiale et temporelle des différentes équations puis nécessite un programme informatique spécifique. [5-7]. Compte tenu de l'état de l'art en matière de simulation numérique des réservoirs pétroliers que l'on vient d'évoquer, il existe une multitude de logiciels dédiés à la simulation dynamique du réservoir, en traduisant le modèle physique en lois régissant les écoulements des fluides et permettant ainsi de les simuler pour déterminer la production (Saturation et pression) [8-10].

2. Boite à outils MRST (Matlab Reservoir Simulation Toolbox) :

Au cours de la dernière décennie, plusieurs études menées par le laboratoire SINTEF (Le laboratoire norvégien de mathématiques appliquées) dans le cadre de l'amélioration et la validation de nouveaux modèles et algorithmes en vue d'obtenir une boîte à outils appréciable, permettant à d'autres chercheurs de tirer parti des fonctionnalités de MRST afin de parvenir à un but purement scientifique [11,13].

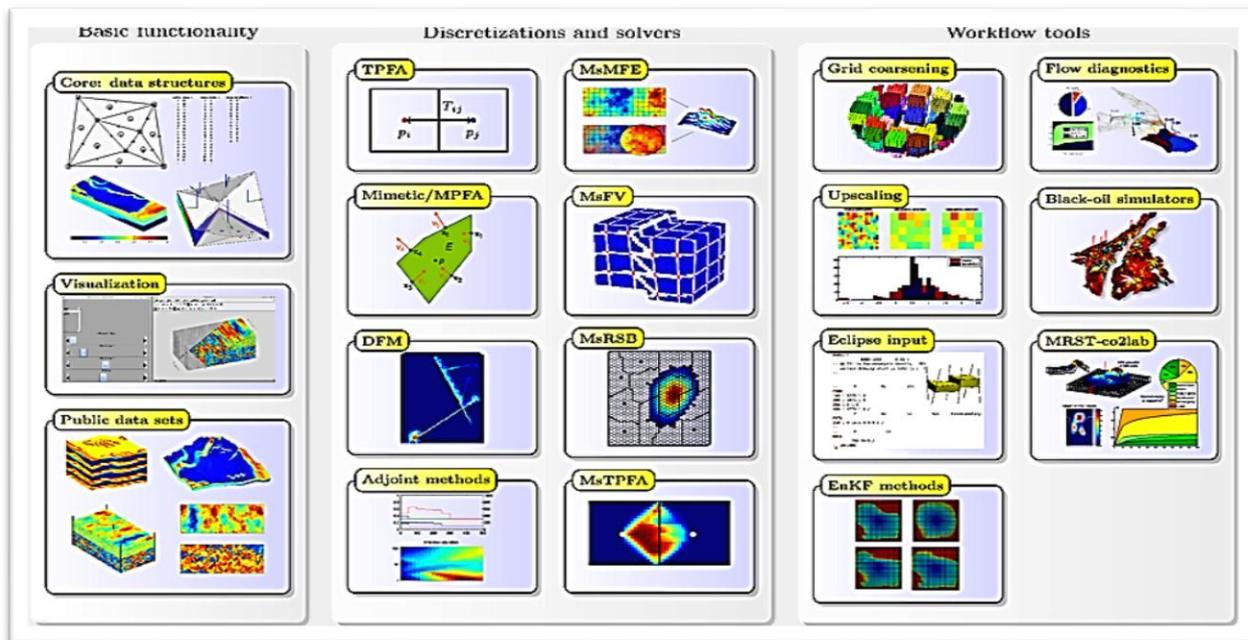


Figure 1 : Principaux fonctionnalités et modules intégrés dans la boîte à outils MRST [11,13]

Pour une bonne compréhension du problème d'écoulement des fluides à travers les milieux poreux, nous avons jugé utile d'utiliser le toolbox MRST qui offre suffisamment de souplesse et même ses fonctionnalités

sous l'environnement MATLAB ne demandent pas une formation approfondie en informatique sur lequel nous avons envisagé par rapport à notre objectif d'avoir une meilleure connaissance et compréhension de ce qui se passe à l'intérieur des logiciels de simulations des

réservoirs, et surtout l'avantage qu'offre le toolBox en matière de la liberté de l'utilisation.

MRST est une boîte à outil à code source ouvert (open source) développé par le laboratoire de recherche norvégien SINTEF. Cet outil destiné pour le domaine pétrolier, a été initié en utilisant l'environnement de programmation MATLAB, il contient un ensemble des algorithmes qui permettent la lecture, représentation, traitement et visualisation des données insérées, ainsi que des modules pour générer des modèles de grilles, des modèles de fluides, et fixer les conditions aux limites nécessaires à la simulation tel qu'il est montré dans la figure 1 [11].

La nouveauté qui résulte de notre travail, également une contribution à l'élaboration d'une interface graphique sous l'environnement MATLAB permettant de mieux utiliser les modules intégrés dans la boîte à outils MRST afin de simuler le modèle dynamique. Ensuite nous avons élaboré un programme de calcul propre avec MATLAB permettant de calculer les réserves d'hydrocarbures en utilisant la méthode volumétrique.

Cette interface graphique permet également d'importer les données de réservoir en termes de géométrie et de caractéristiques pétro-physiques à partir des outputs du logiciel PETREL afin de les exploiter dans la simulation dynamique sous MATLAB.

3. Méthodologie de travail

Le but de cette partie est de présenter la démarche qui constitue notre fil conducteur afin d'illustrer au travers

l'utilisation de la boîte à outils MRST l'importance de faire apparaître le but assigné à ce travail.

Notre travail consiste principalement à mener une comparaison des résultats obtenus par MRST et un autre logiciel de simulation commercial afin de mettre en valeur et enrichir de mieux la boîte à outils, vu que SINTEF a publié le code source MRST en accès libre au grand public afin de développer ses fonctionnalités et ses modules [12]. Afin de procéder à la simulation, il faudrait tout d'abord construire le modèle géologique du réservoir. Une fois le modèle volumique discret est établi par PETREL, nous exportons la grille au format GrdEcl, afin de l'utiliser dans notre interface graphique MATLAB comme support de calculs puisqu'il nous représente le volume à l'intérieur du réservoir.

Il nous semble obligatoire avant toute simulation, de remplir le modèle géologique par les propriétés pétro-physiques en se basant sur des méthodes géostatistiques, qui intègrent les données de puits, les données sismiques et les connaissances géologiques sur le réservoir. En finalité nous obtenons plusieurs modèles de propriétés dans le volume discrétisé (faciès, porosité, saturation, nettogross, perméabilité, etc.). A ce stade, la connaissance de ces propriétés pétro-physiques dites données statiques invariable dans le temps, est une étape capitale dans toute simulation numérique. Combinée avec la connaissance géologique, elle permet d'obtenir un modèle basée principalement sur des données dynamiques variables dans le temps, qui dépendent des caractéristiques des fluides utilisées.

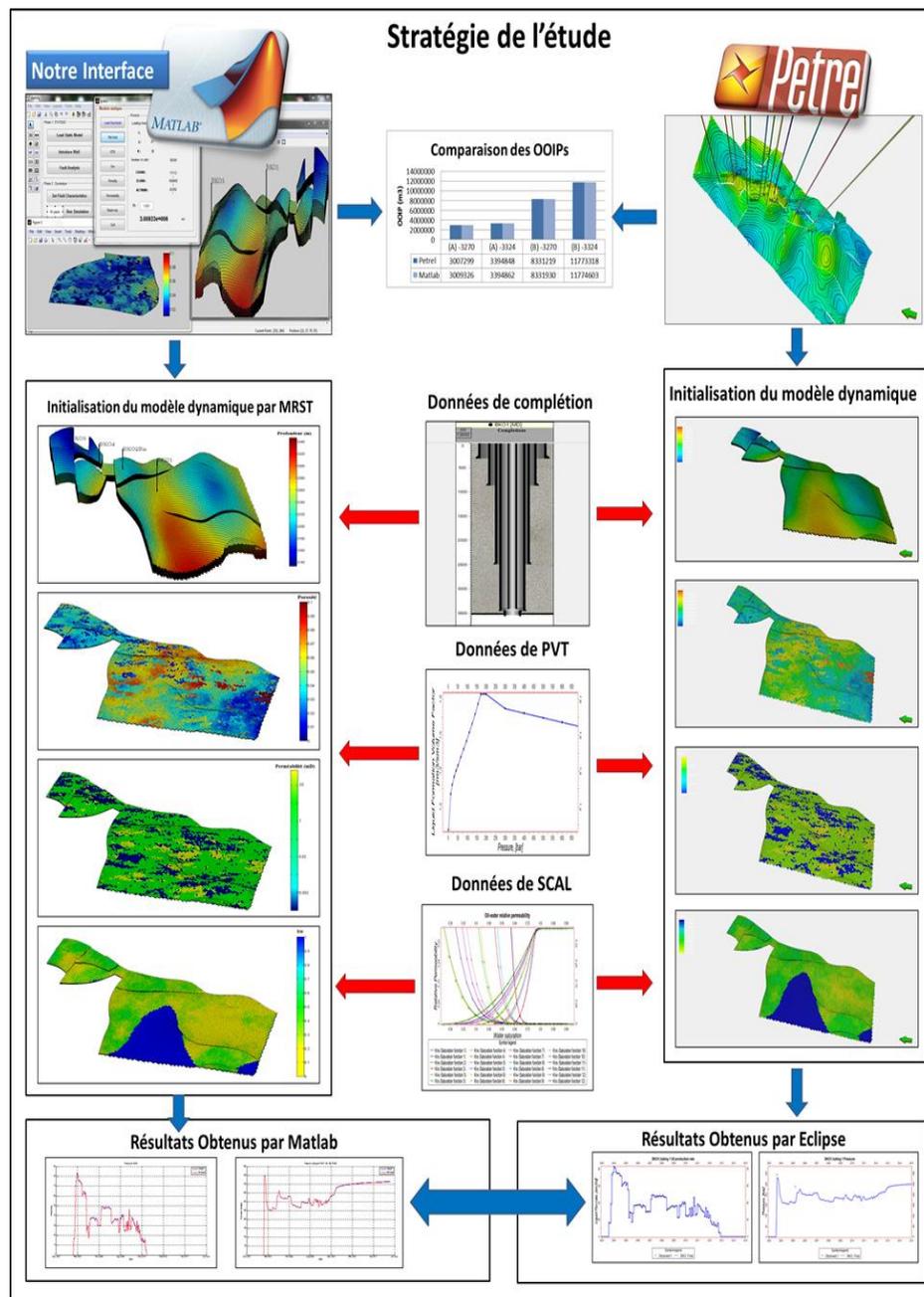


Figure 2 : Organigramme adopté dans cette étude de comparaison entre les deux logiciels MRST & Eclipse

Les principales étapes telles qu'il est présenté sur la figure 1, et dans le but de faire une comparaison des simulations entre les deux logiciels, nous commençons par la première étape qui consiste à calculer les réserves, afin de ramener les deux logiciels aux mêmes conditions pour entamer la simulation dynamique. Nous allons procéder à étudier et analyser les données nécessaires à l'initialisation du modèle dynamique, tel que les données PVT, SCAL, et les données de complétion des puits. Pour ensuite obtenir

les résultats de simulations des deux simulateurs. L'idée est alors de comparer les résultats obtenus, cependant, les courbes de saturations et de pressions sont l'objet de cette comparaison.

4. Vue d'ensemble de l'interface graphique :

L'avantage d'utiliser MRST est que tout le monde peut contribuer à son amélioration en y intégrant de nouvelles fonctionnalités non encore implémentées. Cela en fait donc un logiciel en rapide et constante évolution. Le but de cette section est de présenter notre contribution à l'élaboration d'une interface graphique (GUI - Guide User Interface) sous l'environnement MATLAB, ce qui simplifie la manipulation du logiciel et permettant aussi de mieux utiliser les modules intégrés de la boîte à outils MRST, afin de calculer les réserves de l'huile en place et

de simuler par la suite le modèle dynamique. La figure suivante présente quelques-uns de ces graphiques.

L'interface graphique se compose visuellement de plusieurs boutons permettant en premier lieu de charger le modèle statique issu de PETREL, ensuite de remplir la grille géométrique avec les propriétés pétro-physique (Porosité, Perméabilité, Saturation et NTG). La figure (4) décrit brièvement une vue d'ensemble de l'interface graphique et le rôle de chaque bouton.

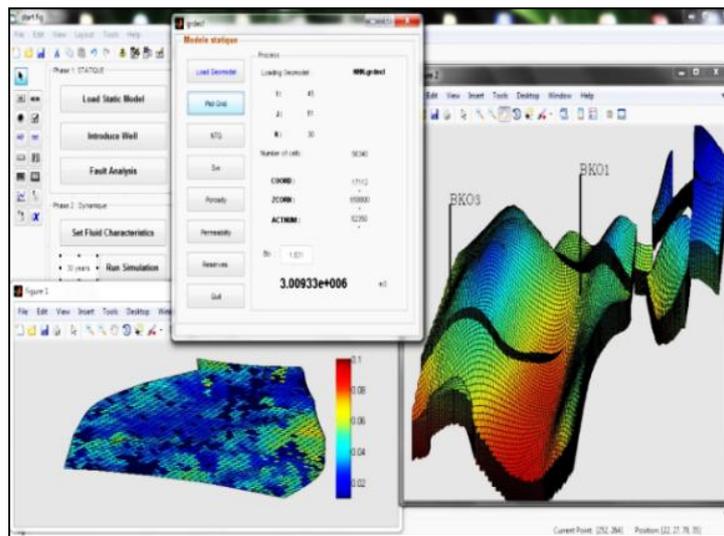


Figure 3 : Quelques graphiques de l'interface élaborée à base de toolbox MRST MATLAB

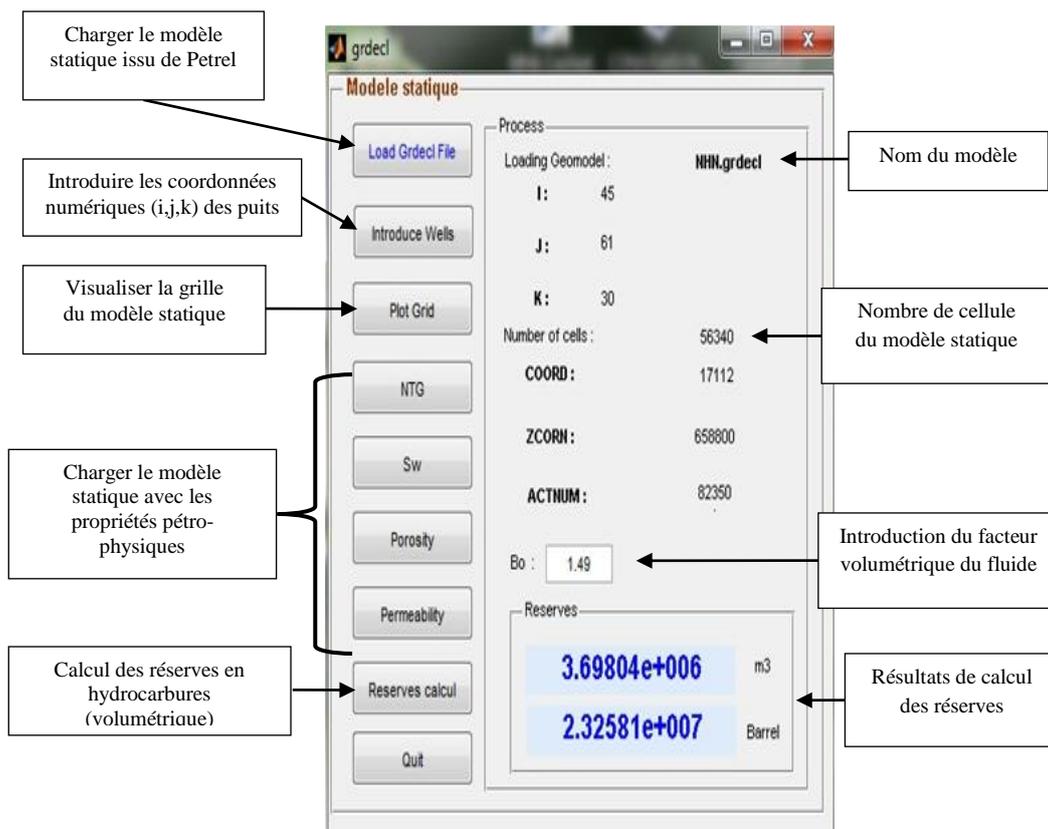


Figure 4: description de l'Interface graphique sous l'environnement MATLAB

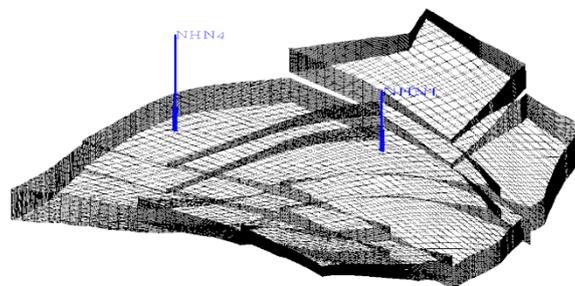


Figure 5 : Modèle de la grille géologique obtenu par l'interface graphique MRST

Après avoir construit les modèles géologiques (A, B, C et D) avec le logiciel PETREL, nous les exportons au format Grdecl afin de les visualiser en utilisant les deux fonctions *processGRDECL.m* (Process Eclipse grid data file) et *computeGeometry.m* (Generate MRST grid structure) [12]. Le modèle du réservoir (A) est composé d'un nombre total de mailles de 45 x 61 x 30 soit 82 350, dont 56 340 cellules actives, sa grille géologique obtenue est visualisée dans la figure (5). L'estimation des accumulations de la roche réservoir en créant une interface graphique avec le GUI Matlab (Guide User Interface) est originale ce qui nous permet à l'issu de

l'importation des données pétro-physiques (Figure 6) et en se basant sur le volume de chaque cellule calculé à partir de la grille géométrique, ainsi le facteur volumétrique de calculer les réserves en hydrocarbure selon l'équation suivante :

$$STOIP = \frac{V_R \times NTG \times \Phi \times S_o}{B_o} \quad (1)$$

Avec :

V_R : Volume de la roche ; NTG : Net-To-Gross ;
 Φ : Porosité ; S_o : Saturation à l'huile.

La valeur de facteurs volumétriques utilisé lors de calcul $B_o = 1.831$ à la pression de bulle. Après avoir calculé les réserves en hydrocarbures avec notre programme de calcul, il est nécessaire de recalculer les réserves en

utilisant le logiciel PETREL afin de simuler le modèle de réservoir dans les mêmes conditions avec les deux logiciels MATLAB et ECLIPSE.

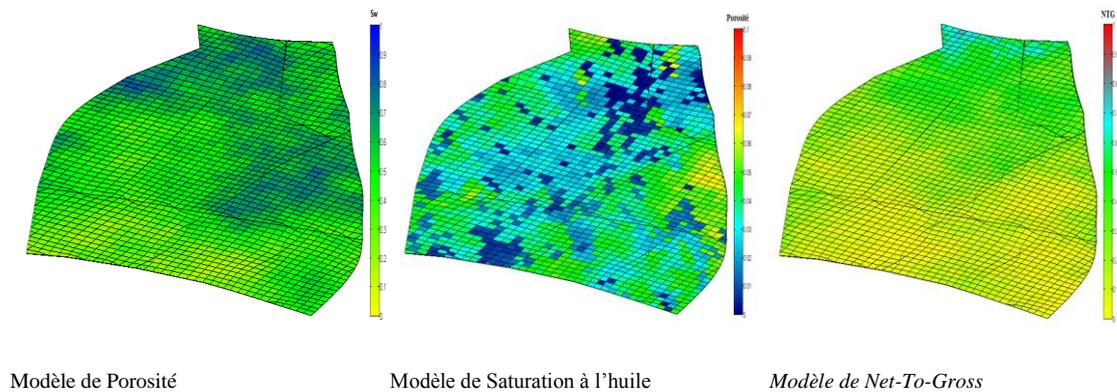


Figure 6 : Différents propriétés pétro-physiques obtenues par l'interface graphique MRST

Tableau 1 :

Comparaison des résultats issus de PETREL et MRST

Réservoirs	A		B		C		D	
	Petrel	MRST	Petrel	MRST	Petrel	MRST	Petrel	MRST
STOIP (m ³)	3 007 299	3 009 326	3 394 848	3 394 862	8 331 219	8 331 930	11 773 318	11 774 603
Différence (m ³)	2027		14		711		1285	
Ecart (%)	0.0674		0.0004		0.0085		0.0109	

STOIP: The stock tank oil initially in place

5. Résultats et discussions :

Les résultats obtenus en matière de calcul des réserves en hydrocarbures des deux logiciels MRST et PETREL pour les quatre réservoirs sont présentés dans le tableau (1) et la figure (7). Les réserves en hydrocarbures calculés pour les quatre réservoirs (A, B, C et D) avec les deux logiciels montrent des écarts relatifs très faibles (Tableau 1), ce qui signifie qu'à partir de ces résultats quasiment identiques, on peut procéder à la simulation dynamique du réservoir (A), du fait que du point de vue pratique, ce dernier contient moins de cellules, ce qui

nous permet par la suite de simuler plus rapidement le modèle dynamique via les deux logiciels.

Les données d'ingénierie de réservoir disponibles permettent de caractériser de manière satisfaisante le fluide et le réservoir du gisement (A) et de générer les données nécessaires à la simulation dynamique (Initialisation des données). Le modèle de fluide utilisé dans le modèle simulé par ECLIPSE a été considéré pour le cas de simulation par MRST.

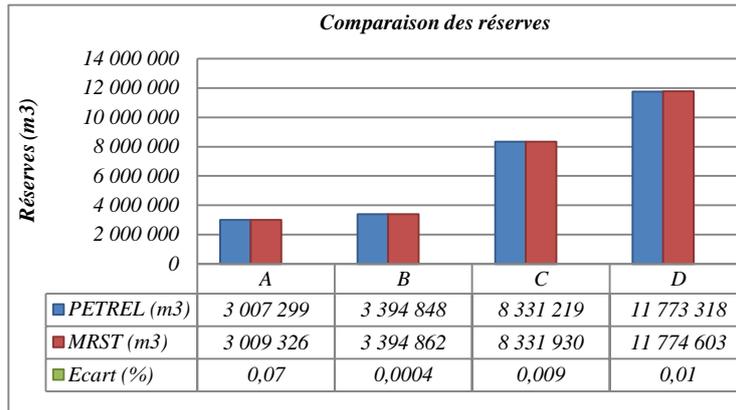


Figure 7 : Comparaison des réserves des quatre réservoirs calculées avec PETREL et MRST

Les résultats de la simulation en les comparants à celles obtenus par ECLIPSE sont représentés dans les figures (8) et (9).

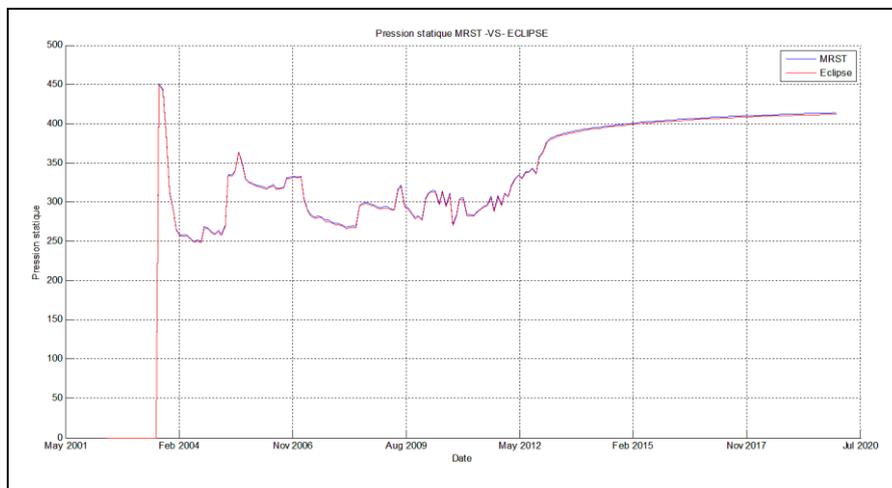


Figure 8 : Profils de pression obtenus par les deux simulateurs MRST & Eclipse

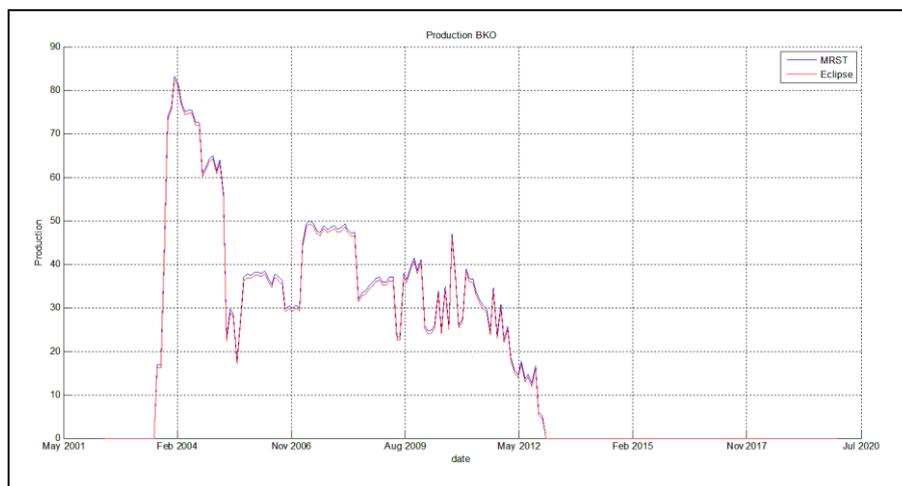


Figure 9 : Profils de production obtenus par les deux simulateurs MRST & Eclipse

On remarque que les courbes obtenues par les deux simulateurs sont similaires, ce qui signifie que les solveurs qui possèdent MRST donnent des résultats satisfaisants. Cependant, la modélisation et la simulation en utilisant la boîte à outils MRST offre une vision plus claire sur les paramètres qui jouent un rôle important dans la résolution des équations permettant de décrire entièrement les écoulements dans les milieux poreux.

6. Conclusion :

Les travaux menés lors de cet article ont permis d'ajouter un module de calcul des réserves en hydrocarbure dans le Toolbox MRST et de donner une vision graphique basée sur les différentes fonctionnalités incluses dans les modules. L'utilisation de l'interface graphique élaborée par nos soins a rendu le logiciel plus agréable à l'utilisation.

Les résultats obtenus à l'issue de cette étude témoignent de l'importance qu'offre l'interface graphique qui semble être claire en matière de principales bases de la simulation dynamique des réservoirs pétroliers.

Finalement, nous espérons que les résultats obtenus lors de ce travail pourront contribuer à une meilleure compréhension. Nous espérons également que ce travail sera d'une aide appréciable à ceux qui veulent poursuivre et approfondir cette étude.

Remerciement :

Nous remercions Monsieur Knut-Andreas Lie, chef du Laboratoire des mathématiques appliquées (SINTEF) pour sa collaboration et sa mise en ligne de notre travail sur le site de MRST :

<http://www.sintef.no/projectweb/mrst/gallery/>

Référence :

- [1] R. Kruel Romeu. « Ecoulement en milieux poreux hétérogènes: Prise de moyenne de perméabilité en régimes permanent et transitoire », Thèse de doctorat, Université de PARIS VI. 1994.
- [2] B. Atfeh, « Méthode des lignes de courant appliquée à la modélisation des bassins », Thèse de Doctorat, Université de Provence, Aix-Marseille I. 2006.
- [3] A. Duboin, « Écoulements de fluides complexes en présence d'interfaces dans des systèmes micro-fluidiques », Thèse de Doctorat, l'Université Pierre et Marie Curie. 2013.
- [4] R. Derfoul, « Intégration des données de sismique 4D dans les modèles de réservoir: recalage d'images fondé sur l'élasticité non linéaire », Thèse de doctorat, Académie de Rouen. 2014.
- [5] E. FETEL, « Quantification des incertitudes liées aux simulations d'écoulement dans un réservoir pétrolier à l'aide de surfaces de

réponse non linéaires ». Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2007.

- [6] S. Lopez, « Modélisation de réservoirs chenalisés méandriques : une approche génétique et stochastique », Thèse de Doctorat, Ecole des mines de Paris. 2013.
- [7] S. BIR, « Ecoulement au travers les milieux poreux : Approche stochastique », Mémoire de Magistère. Université Mouloud MAMMERI, Tizi-Ouzou. 2012.
- [8] N. Sefrioui Chaibainou, « Etude numérique de l'adsorption et de la désorption de particules colloïdales en milieu poreux : Influence de la topographie de surface et des interactions physico-chimiques », Thèse de doctorat, Université de Bordeaux. 2012.
- [10] K. A. Lie, Olav Møyner, Halvor MøllNilsen, Xavier Raynaud, Bård Skaflestad. « MRST-AD – an Open-Source Framework for Rapid Prototyping and Evaluation of Reservoir Simulation Problems » SPE 173317-MS. 2015.
- [11] The MATLAB Reservoir Simulation toolbox (MRST); <http://www.sintef.no/projectweb/mrst/>. (2016).
- [12] « An Introduction to Reservoir Simulation Using MATLAB: User Guide for the Matlab Reservoir Simulation Toolbox (MRST) », May 27, 2014, SINTEF ICT, Department of Applied Mathematics Oslo, Norway.