

Le projet de Weyburn - Midale (Saskatchewan, Canada)

La Rédaction¹.

Une histoire et des chiffres

Weyburn et Midale sont deux champs pétroliers voisins, respectivement exploités par Cenovus Energy et Apache, localisés dans le sud-est du Saskatchewan et dont le réservoir est constitué par les carbonates fracturés du Mississipien (*Midale Beds*). Ces deux champs produisent avec EOR² par injection combinée d'eau et de CO₂. Le CO₂ est acheminé par pipeline depuis l'usine de gazéification du charbon de Beulah (*Dakota Gasification Company*), située dans le Dakota du Nord (États-Unis) (Fig. 1).

Sur le plan de la R&D, un premier projet, dénommé Weyburn, sous l'égide de l'AIE³, coordonné par le Petroleum Technical Research Center (PTRC) et soutenu par le 5^{ème} PCRD de l'Union européenne⁴, a duré de 2000 à 2004. Il a porté sur une zone de 200 x 200 km du bassin sédimentaire de Williston, centrée sur le champ de Weyburn. Il a été suivi d'un second projet, Weyburn-Midale, sur la période 2005-2009 (étendu à 2011), également coordonné par le PTRC et auquel la Commission européenne s'est intégrée pour certains aspects, le BRGM à titre personnel également. L'ensemble des deux projets a été évalué à 80 millions de dollars canadiens et le coût de la phase 1 s'est établi à 16, 38 millions de dollars canadiens en cash et 23 millions en nature.

La production de pétrole dans les champs de Weyburn et de Midale a commencé en 1954. Il a fallu attendre



Figure 1. Localisation du champ de Weyburn, de l'usine de Beulah et du pipeline d'acheminement du CO₂ (document Cenovus Energy).

1988 pour que la Pan Canadian (devenue ensuite EnCana et aujourd'hui Cenovus Energy) décide de mettre en place un projet d'EOR en utilisant le CO₂ capté et liquéfié à l'usine de Beulah, puis acheminé à l'usine de Weyburn par un pipeline de 320 km de long, dont la construction commence à cette date.

Encore 10 ans seront nécessaires pour qu'en 1999 une équipe internationale de recherche se mette en place et que la collecte des données de base commence. En 2000, c'est le démarrage du projet de recherche associant le gouvernement, l'industrie et les scientifiques. La construction du pipeline est terminée et Cenovus Energy commence à injecter 5 000 t/j de CO₂ à 95% CO₂.

En 2004, la phase 1 du projet de recherche est terminée et le planning de la phase 2 commence. En 2005, Apache rejoint le projet et commence à injecter 1 300 t/j de CO₂ à des fins d'EOR dans le champ voisin de Midale. En 2006, la phase 2 du projet de recherche est lancée. À l'époque Cenovus Energy injecte 7 000 t/j de CO₂ et Apache 1 800 t/j. En règle générale, il faut 8 000 pieds cubes (226,5 m³) de CO₂ pour extraire un baril supplémentaire d'huile.

Pour les besoins de l'EOR, on injecte simultanément mais séparément⁵ de l'eau par des injecteurs verticaux qui atteignent le réservoir principal, calcaire et sableux (« Vuggy zone ») et du CO₂ par des injecteurs horizontaux dans la mince zone de dolomie cristalline (« Marly zone ») sus-jacente (Fig. 2). C'est l'eau qui chasse le pétrole de la « Vuggy zone », tandis que le CO₂ intervient au niveau de la « Marly zone ». Quand le CO₂ entre en contact avec le pétrole à haute pression, il agit essentiellement comme un solvant diminuant la viscosité du pétrole, ce qui lui permet de s'écouler plus facilement du réservoir. Une partie importante du CO₂ injecté est pompée

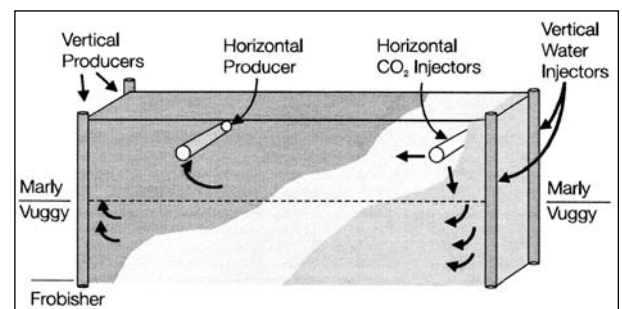


Figure 2. Le principe de l'EOR à Weyburn (document Cenovus Energy).

1. Remerciements à Yves-Michel Lenindre (BRGM) pour son aide dans l'élaboration de ce texte.

2. Enhanced Oil Recovery.

3. Programme de R&D sur les gaz à effet de serre de l'Agence Internationale de l'Énergie (IEA GHG).

4. Partenaires européens : British Geological Survey (BGS), BRGM, Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Quintessa Ltd.

5. Méthode SSWG : Simultaneous but Separate Water and Gas. On utilise aussi la méthode MVWAG (Marly Vuggy Water Alternate Gas), injection alternée d'eau et de gaz, lorsque les Vuggy et Marly Zones sont toutes deux épaisses.

avec l'huile et l'eau, séparée ensuite, puis réinjectée. À la fin de la période d'EOR, pratiquement tout le CO₂ injecté et recyclé est stocké de façon permanente.

Les principales données concernant les champs de Weyburn et Midale sont données dans le tableau 1.

Phase 1 de R&D 2000-2004⁶

L'objectif de l'opération d'EOR était d'accroître la production de pétrole pour plus de 30 ans, mais aucune étude ni surveillance menées scientifiquement n'avaient été réalisées avant que ne démarre le projet 2000-2004, dont l'objectif était de prédire et de vérifier l'aptitude d'un réservoir pétrolier à stocker du CO₂ de façon sûre et économique.

La recherche 2000-2004, qui correspondait à une phase 1, a porté sur quatre thématiques principales :

- caractérisation géologique du site ;
- prévision, suivi et contrôle des mouvements de CO₂ ;
- prévisions de capacité de stockage de CO₂ et détermination des limites économiques ;
- évaluation à long terme du risque.

Outre le fait que ce programme de recherche constitue une première mondiale, avec des travaux très documentés et vérifiés scientifiquement, le bilan des études et mesures souligne que le contexte géologique est très adapté au stockage à long terme de CO₂. Les résultats de cette première phase ont donné lieu à un document final téléchargeable sur le site internet du PTRC⁸ diffusé à l'occasion de la 7^{ème} Conférence sur les technologies de

contrôle des gaz à effet de serre de Vancouver en septembre 2004.

Au niveau de la caractérisation géologique du site, les données anciennes ou nouvellement acquises (géologie, géophysique, hydrogéologie) ont permis d'établir un modèle géologique robuste, permettant une vision claire des horizons de protection du site et des régimes hydrologiques. Pour le suivi du site, on a utilisé une panoplie de méthodes (modélisation du réservoir, modélisation géochimique, échantillonnage des fluides, traçages, mesures de pression de réservoir, éventail de méthodes géophysiques). Les reconnaissances sismiques ont clairement montré leur intérêt pour suivre l'invasion du CO₂ dans le réservoir, même pour des volumes relativement modestes ; d'où l'intérêt de ces méthodes pour la détection des fuites. Les échantillonnages de fluides ont également apporté des informations utiles quant au mouvement du CO₂ dans le réservoir, ce qui n'a pas été le cas pour les traçages.

On notera qu'à 400 km à l'ouest du champ de Weyburn, sur le flanc ouest du bassin de Williston, des occurrences naturelles de CO₂ (avec N₂ et He) existent, essentiellement au sein des carbonates dévoniens entre 1 675 et 2 050 m sous la surface : elles seraient liées à des intrusions tertiaires voisines. Des sondages peu profonds dans le Mésozoïque sus-jacent n'ont trouvé que des traces de CO₂, ce qui tendrait à dire que depuis 50 Ma, il n'y a pas eu de fuite vers la surface à partir des réservoirs dévoniens.

La thématique 3 s'est appuyée sur des modèles de gisement, d'abord à maille fine, puis en augmentant progressivement la taille des mailles jusqu'au découpage en 75 schémas d'injection, base du plan d'EOR de Weyburn. Les résultats sont cohérents avec les chiffres de production de pétrole de l'exploitant et les prévisions de stockage de CO₂. Sur le plan économique, un modèle de stockage a permis de déterminer les limites de rentabilité de l'injection de CO₂. Il apparaît aussi que des traitements par gels spécifiques dans les meilleurs puits sont susceptibles d'accroître de 10% la récupération de pétrole à partir de ces puits et, par voie de conséquence, l'augmentation du volume de CO₂ stocké.

Des simulations numériques déterministes et probabilistes ont été réalisées sur le dernier modèle géologique du projet pour estimer le risque à 5 000 ans. D'après les calculs, près de 27% du CO₂ stocké pourrait migrer en dehors de la grille des 75 schémas, dont 18% environ dans l'aquifère sous-jacent et 8-9% latéralement au-delà des limites de la zone d'EOR. La migration dans la couverture sus-jacente ne concernerait que 0,2% du CO₂ stocké.

Champ	Caractéristiques ⁷
Weyburn	<ul style="list-style-type: none"> - Taille : 70 milles² (181,3 km²) - Type d'huile : medium sour crude (brut à > 0,5% de soufre) - Huile originale en place : 1,4 milliard de barils (184,2 Mt) - Récupération d'huile avant la mise en place de l'EOR : 370 millions de barils (48,7 Mt) - Récupération supplémentaire d'huile due à l'EOR : 155 millions de barils (20,4 Mt) - CO₂ stocké : > 30 Mt brutes ; > 26 Mt nettes
Midale	<ul style="list-style-type: none"> - Taille 40 milles² - Type d'huile : medium sour crude - Huile originale en place : 515 millions de barils (67,8 Mt) - Récupération d'huile avant la mise en place de l'EOR : 154 millions de barils (20,3 Mt) - Récupération supplémentaire d'huile due à l'EOR : 67 millions de barils (8,8 Mt) - CO₂ stocké : > 10 Mt brutes ; > 8,5 Mt nettes

Tableau 1. Caractéristiques des champs de Weyburn et Midale (source : Cenovus Energy).

6. IEA GHG Weyburn CO₂ Monitoring and Storage Project.

7. Moyenne mondiale de 7,6 barils/t. La fourchette mondiale se situe entre 9,3 et 7 barils/t.

8. www.ptrc.ca

Phase finale de R&D 2005-2011

L'objectif de cette phase, dont le retard initial a conduit à la prolonger de 2009 à 2011, est de poursuivre l'analyse de détail conduite sur Weyburn et Midale, en intégrant une approche technique et non technique, de façon à élaborer un manuel de bonnes pratiques pouvant servir de guide pour toutes les opérations futures de stockage de CO₂. Le coût de cette phase (en cash et en nature) est évalué à 40 millions de dollars.

Les composantes techniques englobent la caractérisation du site, la surveillance et le contrôle, le bon état du puits et l'évaluation de la performance. Du côté des volets non techniques, l'accent est mis sur les aspects réglementaires, la communication en direction du public et le contexte d'entreprise.

En reprenant les quatre domaines thématiques de la phase 1, cette phase 2 met l'accent sur les points suivants :

- caractérisation géologique du site : meilleure compréhension du rôle des failles et fractures, des effets des pratiques d'injection de CO₂ sur l'intégrité du réservoir, des contrôles sur la dissolution du sel sous le réservoir pour améliorer la compréhension de la fracturation des roches dans l'environnement du champ de Weyburn ;
- prédiction, suivi et contrôle des mouvements de CO₂ : vérification des prévisions de la phase 1 par des explorations plus fines, des sondages sélectifs, des compléments de carottage, de logging, de sismique et de géochimie ;
- prévisions de capacité de stockage de CO₂ et détermination des limites économiques : niveau de succès des essais, performance dans le temps du modèle à 75 dispositifs établi, approche de la double porosité du réservoir ;
- évaluation à long terme du risque : meilleure compré-

hension de la dégradation des matériaux de scellement dans les forages, achèvement d'une évaluation complète du risque à long terme.

Les partenaires de cette phase finale de recherche regroupent des sociétés industrielles et des institutionnels :

- Industrie : Apache Canada, Aramco Services Company, Cenovus Energy, Chevron, Dakota Gasification Company, OMV, Nexen Inc., Research Institute of Innovative Technology for the Earth (RITE), SaskPower, Schlumberger, Shell Canada Limited ;
- Institutionnels : IEA GHG R&D Programme, Natural Resources Canada, United States Department of Energy, Saskatchewan Industry and Resources, Alberta Energy Research Institute.

Conclusion

Le projet de Weyburn-Midale est clairement un projet majeur à l'échelle mondiale, s'appliquant à une opération industrielle économique d'EOR sur laquelle une grande diversité d'études ont été menées et de nombreuses méthodologies appliquées. L'objectif de la phase 2 du projet est bien de compléter et de préciser les analyses de la phase 1 et de parvenir à un guide de bonnes pratiques à vocation mondiale. Les résultats de la phase 1 évoquent la possibilité de fuites de CO₂ vers le bas ou latéralement. Mais il faut souligner que la migration naturelle du CO₂, dont la vitesse est très lente, est suivie par sismique 4D et que le piège hydrodynamique et les couvertures successives sont autant d'obstacles à cette migration. Il n'en reste pas moins que la surveillance de la migration de CO₂ reste nécessaire pour l'évaluation des risques à long terme de ces opérations de stockage.

Pilote de démonstration de Total pour le captage et le stockage géologique de CO₂ à Lacq

La Rédaction¹.

Généralités

L'objectif du pilote de Lacq, un projet lancé officiellement par Total le 8 février 2007, est de tester la chaîne complète du processus de captage et de stockage du CO₂, depuis l'installation émettrice, une des 5 chaudières de vapeur de la centrale utilités de l'usine de Lacq, jusqu'à l'injection et le stockage souterrain dans le gisement de gaz dépleted de Rouse (Fig. 1). C'est une première en France.

Parmi les trois filières envisageables pour le captage de CO₂ (précombustion, postcombustion et oxycombustion, voir article ce numéro), c'est celle de l'oxycombustion qui a été retenue. Une des chaudières de la centrale de l'usine a été convertie en une chaudière à oxycombustion de 30 MWth. Le CO₂, capté, dépoussiéré et déshydraté, est comprimé à près de 30 bars avant d'être transporté en phase gazeuse sur 27 km par le gazoduc qui, depuis 30 ans, achemine le gaz naturel du champ de Rouse vers

1. Remerciements à Marc Lescanne et Nicolas Aimard pour leur aide dans l'élaboration de ce texte.