



”ملف: ندوة ”تداعيات هبوط أسعار النفط على البلدان المصدرة

الدوحة - 7 تشرين الثاني/ نوفمبر 2015

دور التطور التكنولوجي في تنويع مصادر الطاقة والأسعار

منذر ماخوس

ملف ندوة "تداعيات هبوط أسعار النفط على البلدان المصدرة":

دور التطور التكنولوجي في تنويع مصادر الطاقة والأسعار - منذر ماخوس

سلسلة: ملفات

جميع الحقوق محفوظة للمركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات © 2016

المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات مؤسسة بحثية عربية للعلوم الاجتماعية والعلوم الاجتماعية التطبيقية والتاريخ الإقليمي والقضايا الجيوستراتيجية. وإضافة إلى كونه مركز أبحاث فهو يولي اهتماماً لدراسة السياسات ونقدها وتقديم البدائل، سواء كانت سياسات عربية أو سياسات دولية تجاه المنطقة العربية، وسواء كانت سياسات حكومية، أو سياسات مؤسسات وأحزاب وهيئات.

يعالج المركز قضايا المجتمعات والدول العربية بأدوات العلوم الاجتماعية والاقتصادية والتاريخية، وبمقاربات ومنهجيات تكاملية عابرة للتخصصات. وينطلق من افتراض وجود أمن قومي وإنساني عربي، ومن وجود سمات ومصالح مشتركة، وإمكانية تطوير اقتصاد عربي، ويعمل على صوغ هذه الخطط وتحقيقتها، كما يطرحها كبرامج وخطط من خلال عمله البحثي ومجمل إنتاجه.

المركز العربي للأبحاث ودراسة السياسات

شارع رقم: 826 - منطقة 66

الدفنة

ص.ب: 10277

الدوحة، قطر

هاتف: +974 44199777 | فاكس: +974 44831651

org.dohainstitute.www

- 1 أولاً: المنهجيات العامة لعمليات استكشاف الحقول البترولية
- 1 1. الآلية الأولى
- 2 2. الآلية الثانية
- 2 ثانيًا: تحسين نسبة الاكتشافات البترولية وتطويرها
- 2 1. ثورة تقنية في مجال المسح الزلزالي في الأحواض البترولية
- 3 2. تطور شامل في البحوث الجيو كيميائية وتقنياتها
- 3 3. تطوير تقنيات المحاكاة الجيولوجية للحقول البترولية
- 4 4. تطوير نظريات جيولوجية جديدة
- 4 5. تطوير تقنيات الحفر الأفقي
- 6 6. تطوير آليات جديدة لتجاوز العقبات الجيولوجية المنشئية للإنتاج من حقول صعبة المنال
- 5
- 5 ثالثًا: البترول غير التقليدي
- 6 رابعًا: تطوير تكنولوجيا لرفع نسبة استخراج البترول
- 8 خامسًا: انعكاس تطور تقنيات الاستكشاف والانتاج البترولي على الأسعار
- سادسًا: التحول من استعمال عقلائي لاحتياطات البترول الحفري نحو تطوير مصادر للطاقة البديلة والمتجددة
- 9
- سابعًا: منظومة حلقة دورية لأسعار النفط والغاز ودور محدود للطاقات البديلة في الأسعار
- 12 في المستقبل المنظور.

دور التطور التكنولوجي في تنويع مصادر الطاقة والأسعار

منذر ماخوس¹

التقدم التكنولوجي المذهل الذي حدث خاصة خلال العقد الأخير كان واحدًا من أهم العوامل المحددة لأسعار النفط والغاز، عبر خفض تكلفة التنقيب والإنتاج على حد سواء، وكذلك في الدفع لتطوير مصادر جديدة للطاقة، سواء ضمن الإطار التقليدي أو في أطر جديدة نوعيًا.

أولاً: المنهجيات العامة لعمليات استكشاف الحقول البترولية

يتمّ اعتماد آليتين لتقييم حجم الاحتياطيات التي يمكن اكتشافها وتطويرها:

1. الآلية الأولى

تعتمد منهجية معالجة كافة الوثائق والمعطيات المتاحة حول حوض بترولي ما، من أجل تحديد المواقع الحاوية على تشكيلات وتجمعات بترولية لا تزال غير معروفة، ليتمّ تخطيطها والحفر فيها لتحديد حجم المكامن والاحتياطي الموجود فيها بثقة مراعيًا عوامل الخطأ أو عدم الدقة. وتحتاج هذه المنهجية وقتًا طويلاً، وهي مكلفة وتمارسها العديد من الشركات.

¹ خبير في استكشاف النفط والغاز وإنتاجها واقتصادياتها

2. الآلية الثانية

تقوم على أساس التحليل الإحصائي، وهي أسرع وأقل عناءً، إذ يتمّ حصر وتوثيق لكافة المخازن والاحتياطات المكتشفة في كافة الحقول المعروفة، ومعالجتها على أساس التحليل الإحصائي، وبما يسمح بتقدير كافة الكميات المفترض وجودها والقابلة للاكتشاف. على هذا الأساس، تقدّر الهيئة الجيولوجية للولايات المتحدة ²United States Geological Survey (USGS) وجود ما لا يقل عن 150 مليار طن من البترول التقليدي، وهو ما يتعيّن اكتشافه لاحقاً، وهذا ما يعادل 40 سنة أخرى إضافية من البترول المتبقي للبشرية.

ثانياً: تحسين نسبة الاكتشافات البترولية وتطويرها

1. ثورة تقنية في مجال المسح الزلزالي في الأحواض البترولية

أتاحت التطورات المذهلة في العلوم الجيوفيزيائية والمعلوماتية والمسح السيسمولوجي 2D و3D، تصويراً أو مسحاً متعدد الأبعاد وعالي الدقة للطبقات الأرضية، وحتى للسوائل الكامنة فيها، والخصائص الجيودينامية للطبقات والسوائل المتموضعة فيها. أتاح كل هذا إمكانية تحديد مواقع حفر آبار الاستكشاف والإنتاج على حد سواء بدقة عالية غير مسبوقة، وبما يؤدي حتماً إلى رفع نسبة الآبار المنتجة، وتقليص نسب المجازفة والآبار الجافة. ومنذ نحو عقدين من الزمن، كانت نسبة النجاحات في حفر الآبار الإيجابية والمنتجة نحو 10/3 بصفة عامة، بينما تتجاوز هذه النسبة اليوم 10/6 وتصل في بعض الحالات إلى 10/8 بحسب الشركات ومناطق التنقيب والمحيط الجيولوجي. ومن السهولة بمكان هنا تقدير انعكاس كل ذلك على مردودية الاستثمار وتخفيض تكلفة الإنتاج³.

² United States Geological Survey (USGS), World Petroleum, Washington, 2005.

³ Monzer Makhous, *Marché pétrolier mondial et développement des pays arabes : des prémisses aux cataclysmes socio-politiques* (Under publication, 2016).

وفي أفق آخر، تقوم الشركات البترولية اليوم بتطوير مسح جيوفيزيائي تطبيقي وحفر آبار على أعماق تتجاوز ضعف الأعماق التقليدية، وفي شروط جيولوجية بالغة التعقيد. بما في ذلك التنقيب في الجرف القاري (off shore)، وخاصة التنقيب في أعماق بحرية كبيرة.

إضافة إلى ذلك، فإنّ المسح الجيوفيزيائي والسيسمولوجي تحديداً (Seismic survey) للتشكيلات الجيولوجية الواعدة لم يعد يقتصر على التصوير الكيفي، وإنما الكمي أيضاً. بمعنى أنه يتيح أيضاً تحديداً دقيقاً لخواص المكامن (Reservoir) في ما يتعلق بالمسامية (Porosity)، أو النفاذية (Permeability)، وأيضاً الخواص الفيزيائية الكمية للسوائل وحركتها داخل التركيبات الجيولوجية. واليوم يتم تطوير تقنيات ما يسمى بـ (passive seismic) التي تتيح ليس كشف التركيبات الجيولوجية الواعدة فحسب، وإنما أيضاً التجمعات البترولية السائلة أو الغازية ذاتها.

2. تطور شامل في البحوث الجيو كيميائية وتقنياتها

بأفق تحديد الهيدروكربونات وتشكيلها في ما يتعلق بتاريخ تشكلها (Generation) أو حجمها وكذلك هجرتها (Migration) واستقرارها في المكامن. (Trapping)

3. تطوير تقنيات المحاكاة الجيولوجية للحقول البترولية

هنا أيضاً حدث تطور مذهل في العقود الأخيرة في وضع نماذج محاكاة تتناول المسائل التالية:

- تاريخ تطور الحوض الرسوبي.
- مواصفات المخزون Reservoir.
- مواصفات السوائل الكامنة في الحوض (بترو، غاز، مياه).
- إعادة رسم التاريخ الجيوكيمياوي لتشكّل تجمعات البترول والغاز، سواء من ناحية الكم أو من ناحية هجرة الهيدروكربونات وإعادة تموضعها في مكامن جديدة.

• إنتاج برمجيات (software) تسمح بإعادة تصوير وتحديد لكل المعطيات الأساسية السابقة وغيرها، وتطبيقها على أحواض أخرى جديدة، بما يسمح بمضاعفة مردودية التنقيب والإنتاج، وتقليل نسبة المخاطرة والآبار الجافة إلى أقصى الحدود.

4. تطوير نظريات جيولوجية جديدة

تتناول مناطق جغرافية وجيولوجية كانت تعدّ إلى وقت قريب خارج أي اهتمام أو دائرة للبحث البترولي. فعلى سبيل المثال هناك مناطق جبلية في سلسلة جبال زاغروس (Zagros) وفي مناطق جبلية في إيران لم تكن تعدّ يوماً مناطق مؤهلة لوجود حقول بترولية فيها. لكنّ تقييم ما يسمّى بالمنظومات البترولية (Petroleum Systems) يشير إلى مؤشرات على درجة عالية للغاية لاحتمال وجود تشكيلات بترولية فيها. ومنذ سنوات يعمل كونسيرتيوم من شركات بترولية مثل: (Statoil, Shell, Repsol-YPE, Norsk Hydro, Eni) بالاشتراك مع شركة النفط الإيرانية (NIOC) للتنقيب عن البترول في هذه المنطقة، فيما يدير معهد البترول الفرنسي (IFP) مشروعاً مماثلاً في جبال زاغروس (Zagros).

5. تطوير تقنيات الحفر الأفقي

الحفر الشائع والأرخص كثيراً هو الحفر الشاقولي (Vertical Drilling). وهو الذي يسمح باختراق طبقات الأرض بما فيها المخازن النفطية بثقب قطره بضعة سنتيمترات، وبما يعني تحديد عمليات امتصاص البترول التي تقتصر على الطبقات أو التشكيلات المتجانسة من حيث النفاذية (Permeability) على وجه الخصوص. وبما أنّ معظم الخزانات البترولية هي على درجات متفاوتة من عدم التجانس لمواصفات الخزان، فإنّ التقنيات الجديدة للحفر الأفقي (horizontal)، خاصة في حدود الطبقات الخازنة، تسمح باختراق الخزان على مسافات كبيرة وبأضعاف مضاعفة مقارنة بالحفر الشاقولي. وهذا ما يسمح بتجاوز كبير لمحدودية إنتاج البئر المذكورة، إذ يتمّ تجاوز إشكالية استخلاص (extraction) في المكامن ذات التجانس الضعيف في مواصفات النفاذية فيها. وبالحصيلة، فإنّ مردودية الاستخراج في حال الآبار الأفقية، والتي تقتصر على حدود المكامن، تتجاوز كثيراً مردودية الإنتاج وتكلفته قياساً بالآبار التقليدية، إذ يعادل إنتاج بئر أفقية أضعاف إنتاج بئر شاقولي،

ويمكن أن يعوّض عن حفر آبار إضافية أخرى شاقولية. لكنّ تكلفة الحفر الشاقولي أكبر كثيرًا من تكلفة البئر التقليدية. وفي النهاية تتم المفاضلة على أساس التكلفة والمردود في كلا الحالتين بين الحفرين الأفقي والشاقولي.

6. تطوير آليات جديدة لتجاوز العقبات الجيولوجية المنشئية للإنتاج من حقول صعبة المنال

سمح التقدم التكنولوجي الذي لا يزال يتطور بوتائر متزايدة بتجاوز الإنتاج، من طبقات كانت تصل إلى حدود عمق 3000 م بالعموم إلى طبقات تقع على أعماق تتجاوز 6000 م. كما أنه أصبح اليوم ممكنًا إنتاج هيدروكربونات تحتوي على نسب عالية من الحمض (Acide) أو من كبريت الهيدروجين (H₂S) وبمردودية اقتصادية معقولة، وهو الأمر الذي كان غير ممكن إلى وقت قريب.

ثالثًا: البترول غير التقليدي

كما هو معروف توجد كميات هائلة من البترول غير التقليدي الذي يتمّ اختزاله غالبًا بالبترول الصخري، سواء كان زيتًا عالي الكثافة وضعيف اللزوجة أو الشيست البيتومي أو الرمال البيتومية، وكلها أشكال مختلفة من بترول خام أو غاز. وهي تحتاج إلى طرائق تقنية خاصة ومكلفة من أجل تحويلها إلى نפט سائل ذي كثافة معقولة وقابل للإنتاج، أو إلى غاز طبيعي في حالات أخرى.

ومنذ نحو عقد أو عقدين من الزمن، لم تكن هذه التشكيلات قابلة للاستثمار والتسويق، بسبب غلاء تكلفة إنتاجها ضمن التقنيات التكنولوجية المتاحة في ذلك الوقت قياسًا على البترول التقليدي وأسعاره السائدة آنذاك، بحيث أنّ مردودية إنتاج مثل هذه التشكيلات البيتومية كانت خارج أي قدرة تنافسية وفقًا لمعادلة السوق.

في مطلع هذا القرن أو قبله بقليل، وفي فترة الصعود الكبير لأسعار النفط، بدأت تظهر مؤشرات تنافسية للتجمعات البترولية الصخرية، الأمر الذي دفع بسرعة إلى تطوير تكنولوجيات جديدة لمعالجتها وإنتاج النفط منها. لكنّ هذا المسار بدأ يأخذ حديًا اتجاهًا آخر، ليس من المحتمل أن يكون لهذه الاحتياطات الهائلة من النفط الصخري دور ذو قيمة في معادلة الأسعار ضمن المعادلات الحالية، ولكن إلى حين.

وبالمناسبة، فإن كميات النفط الثقيل والأشكال الأخرى المختلفة من النفط الصخري في فنزويلا والرمال الإسفلتية في كندا والتشكيلات البيتومية في الولايات المتحدة هي ذات حجم أسطوري. ويمكن أن ينتج منها نفط تقليدي يعادل عملياً كل الاحتياطات النفطية المعروفة اليوم في الشرق الأوسط. وفي الأفق المنظور فإن نحو 600 مليار برميل من هذا النوع من النفط يمكن إنتاجها من حيث المبدأ، أي ما يعادل 15% من الاحتياطي العالمي المعروف اليوم من البترول التقليدي⁴، وهذا ما يعادل نحو 20 - 25 عامًا إضافياً من البترول المتاح على أساس وتائر الاستهلاك الحالية.

رابعاً: تطوير تكنولوجيا لرفع نسبة استخراج البترول

بدأ تطوير هذه التقنيات تقريباً منذ بدء عمليات إنتاج البترول، أي منذ قرن تقريباً. لكن السنوات الـ 15 الأخيرة شهدت تطورات عملاقة في رفع نسبة الاستخلاص (Extraction). فعلى سبيل المثال لا الحصر فإن تطبيق مثل هذه التقنيات الجديدة في حقل (Duri) في إندونيسيا سمح برفع نسبة الإنتاج من 7% . 5 في مرحلة الانطلاق، إلى 16% نتيجة ضخ مياه في الحقل، وصولاً إلى 55% بعد حقن التشكيلات الخازنة بالبخر الساخن⁵. وبصفة عامة فنحن لا ننتج سوى نحو 30% من البترول الموجود في الحقول، خاصة عندما يتعلق الأمر بشركات صغيرة أو محدودة الخبرة والوسائل مثل العديد من الشركات الوطنية⁶. ودائماً في إطار رفع نسبة البترول القابل للاستخراج، يتم تطوير مطرد لمجموعة كبيرة من التقنيات المعقدة، والتي هي نتاج تطبيق متكامل للعلوم الأساسية من فيزياء وكيمياء وبيولوجيا وجيولوجيا ورياضيات، تهدف إلى توصيف دقيق لخصائص المخزون (Reservoir)، واستعمال (Quantitative Seismic) وتقنية (Modelling) لمحاكاة تاريخ تشكيل الحوض البترولي وتطوره ومنظومات (Traps) بوجه خاص، وكذلك برامج أو نماذج معلوماتية تطبيقية (software)، وأخيراً منظومات للمراقبة والإشراف (Monitoring Systems) لمجمل عمليات الإنتاج وحركة

⁴ Institut français du pétrole (French Petroleum Institut) internet site, 2006.

⁵ Ibid.

⁶ Monzer Makhous, *Pétrole et développement dans le monde arabe : Des révolutions en Chain* (Paris : L'Harmattan, 2011).

السوائل داخل المكنن. كل هذا من أجل توصيف دقيق للتغيرات داخل المكنن (Reservoir) عبر زمن الإنتاج، وبما يسمح باستثمار نموذجي للمكنن النفطي. ويمكن عرض التقنيات الأساسية التي تم تطويرها حتى اليوم بصفتها علمًا متكاملًا وقائمًا بذاته على النحو التالي:

- التقنيات الهيدروليكية وتقنيات التشقيق. (Fracturing).
- التقنيات الحرارية.
- ضخ البخار.
- ضخ المياه.
- تقنيات الحرق الموضعي (combustion).
- تقنيات معالجات فيزيائية - كيميائية - متكاملة.
- حقن (injection) المكنن بمواد كيميائية (Tensioactive) مذابة في مياه حقن (reservoir).
- حقن مياه مشبعة بالبوليميرات (polymers).
- معالجة الخزان بالمواد الأساسية القلوية (Alcalines).
- معالجة الخزان بالمستحلبات ذات السطوح الحساسة (microemulsion).
- معالجة الخزان بمزيج من البوليميرات والمستحلبات.
- معالجة بالأحماض (Acides) المذابة في مياه الحقن.
- معالجة بمركبات كحولية (isopropylics) قابلة للذوبان في الزيت الخام.
- معالجة بمحاليل كربوناتية.
- حقن بالغاز أو الهواء صمن شروط ضغط عالٍ أو عادي.
- حقن بالآزوت.
- حقن بثاني أكسيد الكربون CO2.
- حقن بغاز الهيدروجين.
- حقن بغاز مشبع بعناصر ذات خواص سطحية (specific agents).
- معالجة بمواد مينرالوجية.

- معالجة بمخاليط (Bio - tenso - active).
 - حقن بمحاليل مشبعة بمواد ميكروبية أو ميكروبيولوجية.
 - زراعة مستعمرات ميكروجرثومية أو ميكروفلورية.
- تُستعمل كل هذه التقنيات ضمن شروط مراقبة مستمرة، ومتعددة الأبعاد تصل إلى 5D بواسطة تجهيزات فيزيائية يتم توزيعها في حقل الإنتاج، وبما يضمن مراقبة شاملة لكل عمليات الإنتاج والتحويلات التي تحدث في الخزان خلالها. وضمن عمليات المراقبة نفسها، تتم إعادة المسح الجيو فيزيائي (Seismic 3D) بوتائر تسمح بمعرفة تطور المخزون ووتائر إنتاج السوائل أو الغاز على المدى الزمني لاستغلال الحقل. كل هذا يسمح بتحديد الخزان ودرجة تجانسه، خاصة ما يتعلق بالمسامية والنفاذية (Porosity and permeability)، والتي تعود إلى شروط تشكيله بالأساس وإلى التطورات اللاحقة خلال عمره الجيولوجي. واستطرادًا، يتم حفر آبار إضافية تغطي كل المناطق التي لا تزال تحتوي على نפט أو غاز في شكل جيوب معزولة.

خامسًا: انعكاس تطور تقنيات الاستكشاف والإنتاج البترولي على الأسعار

من الواضح في الحصيلة، أنّ كل التقنيات الجديدة تسمح ليس فقط باكتشاف حقول كثيرة جديدة، وبما لم يكن متاحًا بالدرجة نفسها لدى اعتماد التقنيات الكلاسيكية، ومن ثمّ زيادة مهمة في كمية العرض في السوق، وإنّما أيضًا بإنتاج كميات أكبر كثيرًا في الحقول المكتشفة أصلًا وبتكلفة أقل كثيرًا.

النتيجة حاسمة: كل ذلك يؤدي إلى انخفاض الأسعار. لكن يجب هنا الأخذ في الحسبان أنّ التقنيات الجديدة التي أتاحتها التقدم التكنولوجي في صناعة النفط والغاز ليست ذات طابع شمولي، كما أنها ليست متاحة بالدرجة نفسها لكافة الفاعلين في هذه الصناعة. فالكثير من هذه التقنيات لا يزال حكرًا على الشركات الكبرى والشركات المتطورة تقنيًا، والتي تقوم باستثمارات كبيرة في مخابر الأبحاث ذات المستويات العلمية الفائقة. كما أنّ نتائج هذه الأبحاث واختبارها في الحقول هي على درجة عالية من السرية، ولا تقل عن مستوى سرية الأبحاث والإنجازات المتقدمة في صناعة الأسلحة المتطورة والصناعات النووية أو المعلوماتية والاتصالات. كل ذلك بأفق تهمين هذه الاكتشافات والمحافظة على قدرة تنافسية عالية في السوق. وعلى وجه الخصوص فالكثير من

الشركات الصغيرة أو المتوسطة والكثير من الشركات الوطنية لا تزال بعيدة عن امتلاك مثل هذه التقنيات أو التحكم فيها، وبما لا يبرر بتعميم الآثار السلبية بصفة آلية على أسعار النفط في أسواق الاستهلاك، وهذه في النهاية مسألة وقت، وهي نسبية.

سادساً: التحول من استعمال عقلائي لاحتياطات البترول الحفري نحو تطوير مصادر للطاقة البديلة والمتجددة

هناك رابط مباشر بين نضوب النفط الحفري ومتطلبات حصر ثاني أكسيد الكربون CO₂ وتجميعه وتخزينه على نطاق واسع. فهذه المسألة إضافة إلى مسألة استنفاد كميات كبيرة من الاحتياطات البترولية تفرض العودة بقوة إلى استعمال الفحم مصدرًا للطاقة ووقودًا على وجه الخصوص في وسائل النقل البري، ومن أجل التصدي لتحديات التغيير المناخي وبما يفرض على أوروبا، على سبيل المثال لا الحصر، تخفيض نسبة إنتاج غاز CO₂ أو انبعاثه إلى 10% في المتوسط كل 10 سنوات مقبلة، وذلك لحصر الانبعاث الحراري في حدود درجتين سلسيوس (2 C°) على مدى القرن الحالي⁷.

وما لم يتم إيجاد حلّ جدي لمسألة انبعاث غاز CO₂، فإنّ الطاقة النووية تفرض نفسها بديلاً أساسياً للطاقة ذات الأصل الأحفوري أو العضوي. هذه الطاقة النووية ستكون بداية، وهي اليوم كذلك فقط من أجل إنتاج الكهرباء، (ولندع الصناعة النووية العسكرية جانباً)، وبعدها وبالتدريج وعبر الطاقة الكهربائية والهيدروجين من أجل تلبية معظم الحاجات الطاقوية الأخرى. سيناريو من هذا النوع يفترض أنّ هذا النموذج سوف يتيح تغطية نحو 60% من الحاجات الطاقوية الأساسية في أوروبا في حدود 2100، وذلك عبر الطاقة الكهربائية والهيدروجين⁸. ودائمًا وفقًا لهذه المقاربة، فإنّ المحركات الحرارية سوف تفسح الطريق للمحركات الهيدروجينية

⁷ Institut français du pétrole (French Petroleum Institut) internet site, 2007.

⁸ Ibid.

وتقنيات البطاريات. أما القطارات بما في ذلك القطارات فائقة السرعة (TGV) فإنها ستظل تستعمل الطاقة الكهربائية، بينما يبقى الكيروسين حكرًا على النقل الجوي بالطائرات.

وفي الوقت نفسه، وعلى مستوى العالم، تظل الطاقة النووية تطرح تحديات كبيرة: النضوب بالتدريج لمخزون اليورانيوم، ومسألة تخزين النفايات النووية، ومسائل الأمن والسلامة، وتعميم استعمال الطاقة النووية والحد من استعمالاتها العسكرية والتحكم في مخاطر وقوع أسلحة نووية بأيدي جماعات إرهابية.

وفي نهاية المطاف، فإن صعوبات حصر غاز CO2 وتجميعه وتخزينه، وكذلك إيجاد حلول حاسمة لإشكاليات تعميم استعمال الطاقة النووية، خاصة في ما يتعلق بإجراءات الأمن والسلامة، سوف يدفع كل ذلك وبقوة من أجل تطوير المفاعلات الحرارية الشمسية، والتي تختلف جذريًا سواء من ناحية المبدأ أو كمية الطاقة التي يمكن إنتاجها عن الألواح الشمسية ذات المبدأ (Photovoltaic)، بحيث ستكون واحدة من أهم مصادر الطاقة في المستقبل.

منذ سنوات طويلة، يتم رصد استثمارات خيالية خاصة في الولايات المتحدة وألمانيا في الأبحاث، وبناء نماذج صناعية تقوم بتركيز أشعة الشمس بواسطة عدسات ضوئية عملاقة لاستعمالها في مجمعات لتحويل المياه إلى بخار يقوم بتوليد الكهرباء بواسطة مجمعات عملاقة، وبطاقة إنتاج كهربائي تتجاوز بمئات المرات وأكثر كل المولدات الكلاسيكية التي تعمل بمبدأ الألواح الشمسية. فهناك تقديرات بأن مثل هذه المفاعلات الحرارية الكهربائية يمكن، لدى وضعها قيد الإنتاج في الصحراء الجزائرية، أن تنتج في حدود 20% من حاجات الطاقة الكهربائية لمجمل أوروبا.⁹ ومن المفارقات وحسن الطالع أن مناطق إنتاج الكهرباء وفق هذه التقنية سيكون لعوامل جغرافية، ضمن نفس المناطق الأساسية لإنتاج النفط والغاز اليوم، أي في المناطق ذات العدد الأكبر من الأيام المشمسة خلال العام، أي في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية وفي مقدمتها الشرق الأوسط وشمال أفريقيا. وربما في ذلك حكمة من الله.

⁹ Ibid. 2005.

وفي كل الأحوال فسوف يزداد الطلب على النفط والغاز بوتائر ثابتة وباستمرار، بينما تتجه الأمور على قاعدة الاحتياطات المعروفة، والتي لا تزال ممكنة الاكتشاف، في اتجاه ما يسمى نقطة الحد الأعظمي الممكن للإنتاج (PIC)، خلال فترة قد تقصر أو تطول قليلاً. وفي كل الأحوال هي أطول مما يعتقد اليوم، لأنه لا تزال توجد مساحة شاسعة واعدة للاكتشاف. أما في الأفق التاريخي على وفق المقاييس الزمنية للبشرية، فمرحلة نقطة الحد الأعظمي الممكن للإنتاج قادمة لا محالة، وفي فترة لا تتجاوز ربما القرن، وهذا لا شيء بحسب المقاييس الزمنية لوجود الإنسان. هناك تقديرات لمرحلة نقطة الحد الأعظمي الممكن للإنتاج تصل إلى حدود 2030 - 2040¹⁰. لكن نقطة الحد الأعظمي الممكن للإنتاج لن تكون في شكل ذروة هرم، وإنما في صورة مسطح (Plateau) يستمر فيه الإنتاج شبه ثابت، ولفترة طويلة بعد بلوغه الحد الأعظمي، وقبل أن يعود للانخفاض في اتجاه نضوب الاحتياطي. سوف تكون الطاقة المنتجة من الكتل الحيوية (Biomasses) ذات دور أساسي، بينما يستمر استعمال الطاقة الحفرية (كبروسين خاصة) في الصناعات التحويلية وفي النقل الجوي.

لكن سوف يكون مستوى استهلاك هذا النوع من الطاقة الملوثة منسجماً مع مستوى جمع غاز CO2 وتخزينه. وسوف يتصاعد إنتاج الطاقة الحرارية الشمسية واستهلاكها وكذلك الطاقة المنتجة من الرياح، وبأفق تعويض تدريجي للطاقات التقليدية. وسوف يستمر استعمال المحركات التقليدية لمدة طويلة، لكن باستعمال وقود حيوي (Biofuel). أما المحركات العاملة على أساس الطاقة الهيدروجينية (Hybrid) وكذلك المحركات الكهربائية، فسوف يتم تصميمها في الحياة والصناعة بالتدريج.

والخلاصة، علماً أنه لن يكون بالإمكان حلّ كل الإشكاليات التقنية، فإنه يجب تأكيد ضرورة إحداث تغيير في السلوك وفي نمط الحياة. كل هذا يدعو إلى الاعتقاد أنّ صناع القرار سوف يتحملون مسؤولياتهم في الموازنة بين الصعوبات على المدى القصير، وتحديات المستقبل البعيد.

من بالغ الأهمية ألاّ يتمّ اعتماد خيارات مفردة ومعزولة، وإنما يجب اعتماد خيارات متكاملة. وفي الواقع فإنه من بالغ الأهمية في المرحلة الانتقالية التحول من مصادر قديمة للطاقة إلى مصادر أخرى جديدة. وأياً كان

¹⁰ United States Geological Survey (USGS), World Petroleum, Washington, 2005.

زمن الوصول إلى السطح الأعظمي للطاقة الإنتاجية (Production Plateau)، فإنه يتعيّن من الآن اعتماد خيار تنويع مكونات الباقية الطاقوية وتعددتها. وهذا يعني تحديداً الاستمرار في استكشاف النفط وإنتاجه من أجل استعمال مستدام في وسائل النقل خاصة الجوي منها، ذلك أنّه لا بديل قريب أو شامل للنفط، وفي الوقت نفسه الذي يتعين تسريع تطوير الطاقات البديلة والمتجددة، في ظروف اعتماد منهجية صارمة لاستهلاك رشيد للطاقة. وهذا ما يمكن تسميته تحولاً طاقياً تحت السيطرة.

يكفي أن نورد حقيقة مذهلة في هذا السياق، وهي أننا استهلكنا خلال مدى قرن من الزمن نحو نصف ما أنتجته الطبيعة من محروقات على مدى نحو 600 مليون عام، أي منذ بدأ تشكّل الصخور الرسوبية من تاريخ الكرة الأرضية¹¹.

سابعاً: منظومة حلّية دورية لأسعار النفط والغاز ودور محدود للطاقات البديلة في الأسعار في المستقبل المنظور.

إنّ الانخفاض الحالي لأسعار النفط والغاز لن يطول. وهو الناتج عن عوامل متعددة منها أساسيات السوق ومعادلة العرض والطلب، أو بفعل دور التطورات التكنولوجية في تقنيات الاستكشاف والإنتاج، أو بفعل العوامل الجيوسياسية. وقد أدى وسيؤدي، إلى حين وبالضرورة، إلى تقلص كبير في الاستثمارات، سواء في قطاعات التنقيب والإنتاج أو في تطوير الطاقات البديلة والمستدامة. والسبب الأساسي هنا هو انخفاض الأسعار ومردودية الإنتاج.

وفي الحصيلة، فإنّ كل هذا سوف يؤدي، خلال أمد قصير لبضع سنوات أخرى، إلى انخفاض في مستوى مجمل الإنتاج، والخلل في معادلة العرض والطلب. لكن في الاتجاه المعاكس هذه المرة، وبما يؤدي حتماً إلى

¹¹ Makhous, *Pétrole et développement*.

عودة تصاعد الأسعار.¹² إذًا، تتطور أسعار الطاقة الهيدروكربونية على وفق منظومة حلقيّة دورية (Cyclic)، تتكرر حتى تصل إلى مرحلة السطح الأعظمي للطاقة الإنتاجية.

وعلى الجانب الآخر، فليس من المتوقع أن يكون لتطوير مصادر الطاقة البديلة دور مهم في أسعار البترول في المستقبل المنظور، بسبب معادلة التوازن بين وتائر تطوير المصادر البديلة تلك وتوائر التغيير في الإنتاج الذي لا يزال يقوم على أساس كمون مهمّ من الاحتياطات القديمة والجديدة. لكن، في المدى البعيد وعندما نصل إلى مرحلة السطح الأعظمي للطاقة الإنتاجية، فسوف يتحدد عندها سعر برميل النفط الخام بتكلفة إنتاج البرميل المعادل من الطاقات البديلة الجديدة.

¹² Makhous, *Marché pétrolier*.