ماذا يعنى حقا التخزين الجيولوجي لـ CO_2 ؟

الإستخدام المسؤول
للوقود الأحفوري

إزالة المصدر الرئيسي
لغازات الإحتباس الحراري

إعادة الكربون
إلى باطن الأرض

منح الوقت اللازم لتطوير مصادر
الطاقة دون التأثير على البيئة

الشبكة الأوروبية للتميز CO_2 GeoNet

المحتويات

تغير المناخ واحتياج التخزين الجيولوجي لـ CO_2 4

1- أين وكم يمكن أن نخزن الـ CO2 في باطن الأرض ؟ 6

2- كيف يمكننا نقل وحقن كميات كبيرة من CO_2 ؟ 8

3- ماذا يحدث لـ CO2 مرة في مكمن التخزين؟ 10

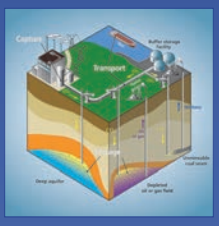
4- هل يمكن لـ CO_2 أن يتسرب من المكمن ، وإذا كان الأمر كذلك ، فما هي العواقب ؟ 12

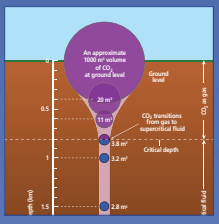
5- كيف يمكننا مراقبة موقع التخزين في الأعماق وعلى السطح؟ 14

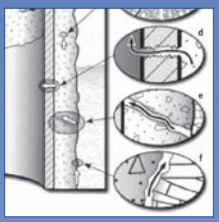
6- ما هي معايير السلامة الواجب فرضها وإحترامها ؟ 16

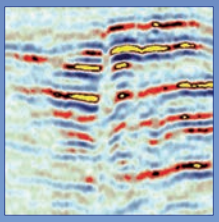
المصطلحات 18

ما هو CO_2GeoNet ؟ 19









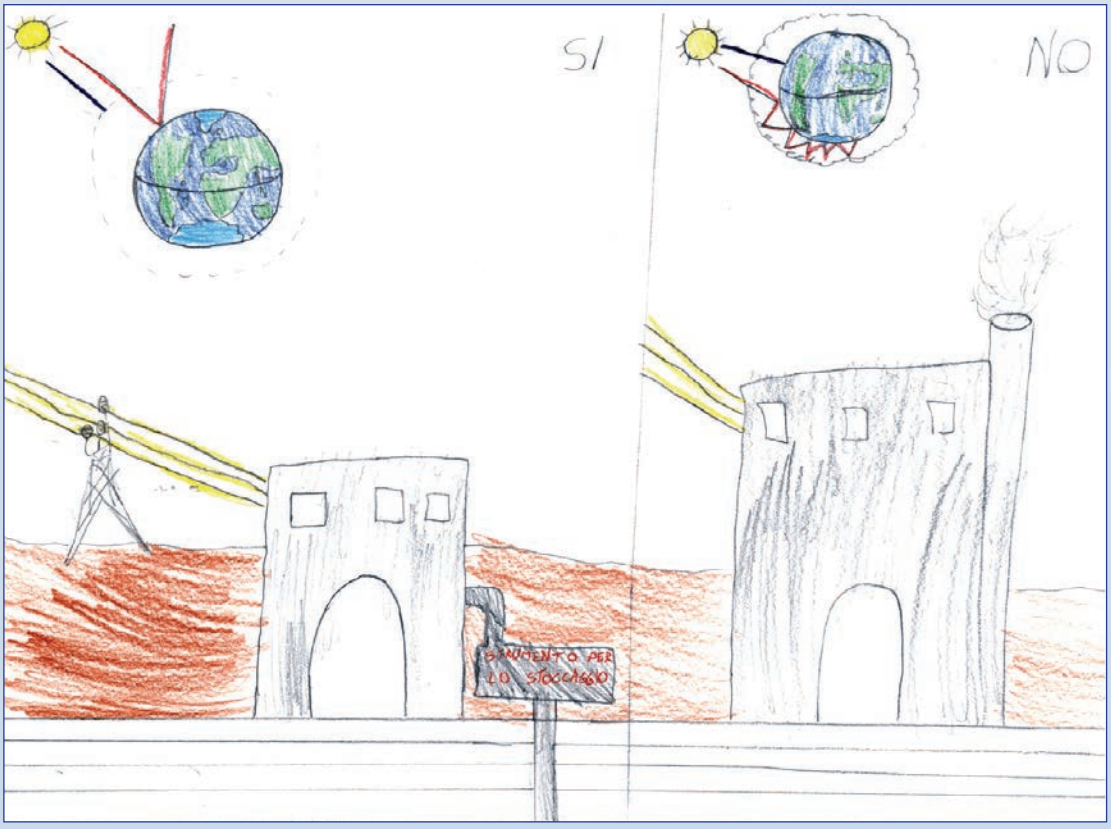
أنتج هذا الكتيب بفضل مساهمات:

روب أرتز ، ستانلي بيوبن ، تجريك بنديكتوس ، إيزابيل زيرنتشوسكي- لورويا ، هوبير فابريول ، ماري جاستين ، أوزغور جودوجان ، غاري كيربي ، سلفاتوري لومباردي ، فرانس ماي ، جوناثان بيرس ، سيرجيو بيرسوجلايا ، نيك رايلي ، مهران سهرابي ، روينا ستيد ، ساموبل فرشيلي ، أولغا فيزنكا – كافاديس.

تمت الترجمة إلى اللغة العربية من قبل السيد / محمد أحمد عقيل ، من جامعة الملك فهد للبترول والمعادن (الظهران ، المملكة العربية السعودية) وتمت مراجعة النص من قبل السيدةفوزية اصفران و السيد محمدازروال ، من مكتب البحوث الجيولوجية والتعدين

رؤية المستقبل

لامزيد من تدخين المداخن
تنقل خط الأنابيب الـ CO_2 وتضعه في باطن الأرض
هذا جيد لكوكبنا
من أجل أطفالنا



Sapienza URS ©

ماسيمو، العمر *10* سنوات، روما – ايطاليا

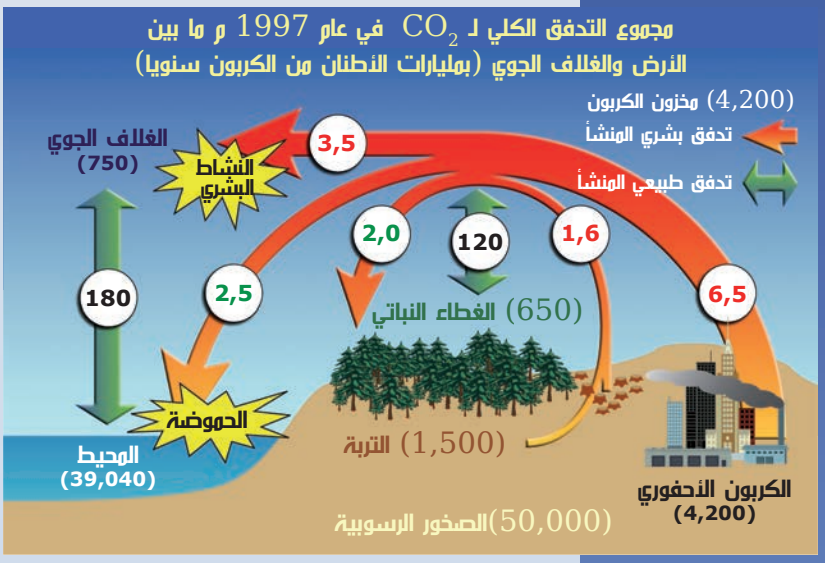
من أجل أطفالنا
يعتبر التخزين الجيولوجي لـ CO_2 منطقيا

تغير المناخ واحتياج التخزين الجيولوجي لـ CO_2

يطلق البشر كميات كبيرة من الـ CO_2 إلى الغلاف الجوي

من المتعارف عليه الآن أن الأنشطة البشرية مزعجة لدورة الكربون في كوكبنا. فقبل الثورة الصناعية والعودة لما يقارب العشرة آلاف سنة مضت، نتج عن هذه الدورة المتوازنة الرائعة، المتضمنة في التبادل الطبيعي للكربون بين كل من الغلاف الصخري والغلاف الحيوي والمحيطات والغلاف الجوي، مدى منخفض من تركيزات الـ CO_2 في الغلاف الجوي (حوالي 280 جزء من المليون، أي 0,028 %). لكن، خلال الـ 250 سنة الماضية، ساهم الاستخدام المكثف للوقود الأحفوري (فحم - نفط - غاز) لإنتاج الطاقة ولأغراض التدفئة والصناعة والمواصلات، في زيادة كمية من الـ CO_2 المنبعثة إلى الغلاف الجوي (شكل 1). تم استيعاب تقريبا نصف هذه الزيادة البشرية بالنباتات و ذوبانها في المحيطات، متسببا في حموضة المحيطات وما يصاحبها من تأثيرات سلبية محتملة على النباتات والحيوانات البحرية. يتجمع ما تبقى ضمن الغلاف الجوي حيث يساهم في تغيير المناخ، لأن الـ CO_2 يعتبر من غازات الإحتباس الحراري التي تحبس بعض من حرارة الشمس متسببة في ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض. حل جذري فوري محتاج لوقف تركيز الـ CO_2 الحالي في الهواء والبالغ 387 جزء من المليون (والذي يزيد أصلا بنسبة 38 % مقارنة بمستويات ما قبل عصر الصناعة) من ارتفاع يتجاوز المستوى الحرج ل 450 جزء من المليون في العقود القادمة. يتفق الخبراء على مستوى العالم على أنه من فوق هذا الحد قد لا يكون ممكن تجنب عواقب الأكثر خطورة.

شكل 1
إنبعاثات الـ CO_2 العالمية المرتبطة بأنشطة الانسان، وبكميات تصل إلى 30 مليار طن (30 جيجا طن) في السنة المقابلة إلى 8,1 جيجا طن من الكربون : 6,5 جيجا طن من حرق الوقود الاحفوري و 1,6 جيجا طن من إزالة الغابات والممارسات الزراعية.

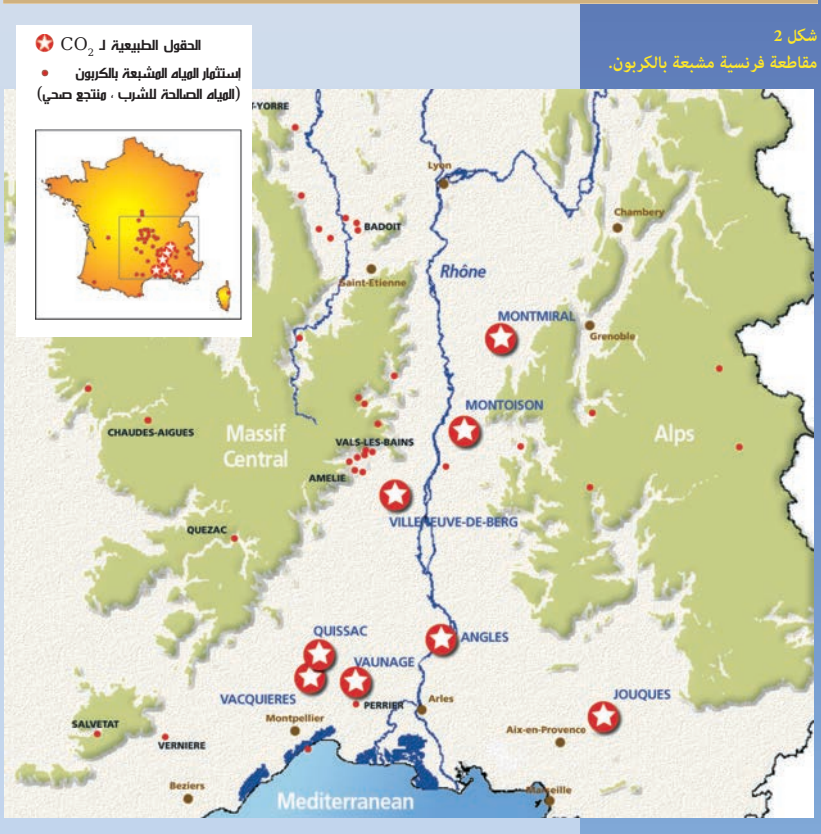


BRGM im@ge ©

إعادة الكربون إلى باطن الأرض

إعتمد عالمنا بشدة على الوقود الأحفوري منذ بداية العصر الصناعي في خمسينيات القرن الثامن عشر الميلادي، لذا ليس من المستغرب أن يستغرق، تحويل مجتمعنا إلى مجتمع يعتمد على مصادر طاقة دون التأثير على المناخ، وقتا وأن يكلف مالا. ما نحتاجه هو حل على المدى القصير يساعد في تقليل إعتمادنا على الوقود الأحفوري من خلال إستخدامه بطريقة لا تسبب تلوثا كخطوة أولى، مما يتيح لنا الوقت المطلوب لتطوير تقنيات وإنشاء بنية تحتية لمستقبل يعتمد على طاقة متجددة. يعتمد حل كهذا على إنشاء دائرة مغلقة في نظام إنتاج الطاقة، حيث يعود الكربون - المستخرج أصلا من من باطن الأرض على شكل غاز، نفط وفحم - مرة أخرى إلها على شكل CO_2 . ومما يثير الإهتمام، أن التخزين الأرضي لـ CO_2 ليس إختراع بشري بل يعتبر تماما ظاهرة طبيعية واسعة الانتشار التي اظهرتها *مكامن الـ CO_2 التي تكونت قبل آلاف إلى ملايين السنين. وكمثال على هذه الظاهرة توجد في جنوب شرق فرنسا ثمانية مكامن طبيعية لـ CO_2 أكتشفت خلال عمليات إستكشاف النفط في ستينيات القرن العشرين الميلادي (شكل 2). أثبتت هذه المواقع الطبيعية والعديد غيرها في جميع أنحاء العالم أن التكوينات الجيولوجية قادرة على تخزين الـ CO_2 بشكل فعال وآمن لمدة زمنية طويلة جدا.

شكل 2
مقاطعة فرنسية مشبعة بالكربون.



BRGM im@ge ©

قبض وتخزين CO_2 : طريق تعديل واعد

ضمن مجموعة التدابير التي يجب تطبيقها عاجلا لتخفيف من تغير المناخ وحموضة المحيطات، يمكن لعملية قبض الـ CO_2 وتخزينه (CCS*) أن تلعب دور حاسم في ذلك حيث يمكنها المساهمة في

أنظر المصطلحات في النهاية.

تخفيض الـ CO_2 بنحو 33 % المطلوبة بحلول عام 2050 م. تتضمن عملية قبض وتخزين الـ CO_2 المحصل من محطات الكهرباء التي تعمل بالفحم والغاز ومن المرافق الصناعية (مصانع الصلب، مصانع الأسمنت، مصافي النفط، إلخ) ونقلها بواسطة خط أنابيب أو سفينة إلى موقع التخزين، ومن ثم حقنها بواسطة بئر *(Well) داخل تكوين جيولوجي ملائم لغرض تخزين طويل الأجل (شكل 3). نظرا للنمو السكاني في العالم و ارتفاع طلب الطاقة في الدول النامية ،و حاليا عدم وجود مصادر طاقة بديلة ونظيفة على نطاق واسع، فلا مفر من الإستخدام المتواصل للوقود الأحفوري على الأجل القصير. بالتوازي مع عملية جمع CO_2 وتخزينه (CCS)، يمكن للإنسانية أن تتقدم في إيجاد وسيلة تحترم البيئة و في نفس الوقت خلق جسر للاقتصاد العالمي على أساس إنتاج الطاقة المستدامة .

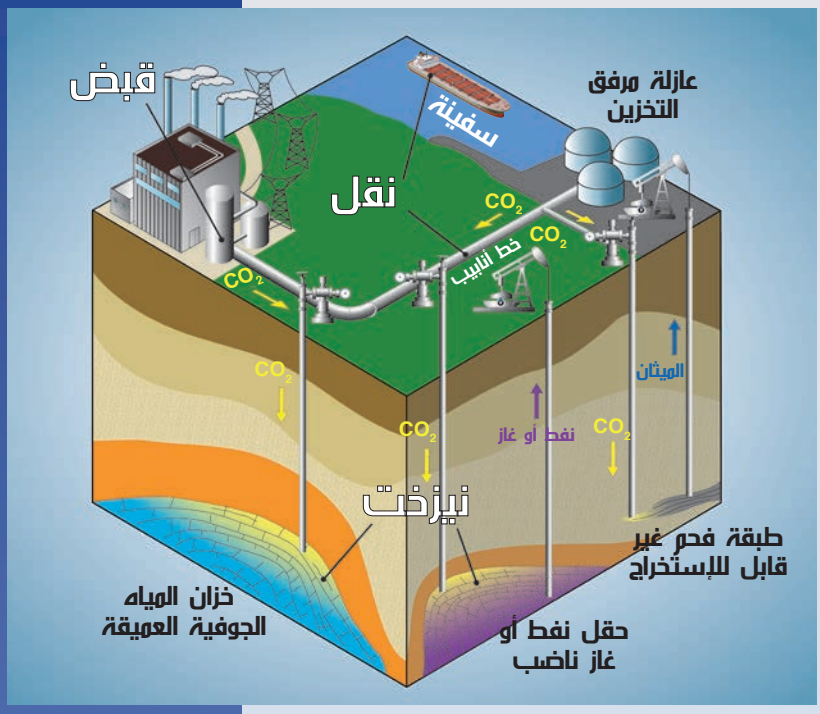
إزدهار التنمية العالمية لعملية تجميع الـ CO_2 وتخزينه

أجريت برامج رئيسية للبحث لجمع الـ CO_2 و تخزينه منذ تسعينيات القرن العشرين ميلادي أوروبا، الولايات المتحدة الأمريكية، كندا، أستراليا واليابان، . تم تحصيل الكثير من المعرفة من خلال المشاريع الإيضاحية العالمية الأولى على نطاق واسع، حيث تم حقن الـ CO_2 إلى أعماق الأرض لعدة سنوات: مشروع سليبنر في النرويج (حوالي 1 مليون طن لكل عام منذ عام 1996 م) (شكل 4)، مشروع ويبرن في كندا (حوالي 1,8 مليون طن لكل عام منذ عام 2000 م)، ومشروع عين صالح في الجزائر (حوالي 1 مليون طن لكل عام منذ عام 2004 م). كان التعاون الدولي مهما خاصة في مجال أبحاث تخزين الـ CO_2 ، المدعوم من (IEAGHG* و CSLF*)، في هذه المواقع وغيرها لزيادة فهمنا ولتطوير مجتمع علمي عالمي الذي يتناول هذه المسألة.

يعتبر تقرير (IPCC*) الخاص بقبض الـ CO_2 وتخزينه لعام 2005 م مثال ممتاز حيث يصف الوضع الراهن من المعرفة والعوائق التي يجب التغلب عليها لسماح انتشار واسع لهذه التقنية. يتواجد بالفعل حاليا الخبرة التقنية المتمكنة، ويتجه العالم بثقة الآن نحو امرحلة البيان العملي. بالإضافة إلى التطور التقني، يجري وضع الهياكل التشريعية والتنظيمية والإقتصادية والسياسية، كما يجري تقييم النظرة الاجتماعية ودعمها. في أوروبا، الهدف هو الحصول على ما يربو الـ 12 مشروعا للبيان العملي واسعة النطاق لغاية عام 2015 م للمساعدة في الإنتشار التجاري على نطاق واسع بحلول عام 2020 م. ولهذا الغرض، أصدرت اللجنةالأوروبية في يناير من عام 2008 م، حزمة " حركة المناخ والطاقة المتجددة "، والتي تقترح قرارا رسميا بخصوص التخزين الجيولوجي لـ CO_2 وتدابير أخرى لتنمية وإستخدام آمن لعملية جمع و تخزين الـ CO_2 .

الأسئلة الرئيسية في عملية التخزين الجيولوجي لـ CO_2

تم إنشاء الشبكة الأوروبية للتميز CO_2 GeoNet تحت رعاية اللجنةالأوروبية وتتألف من مجموعة معاهد بحوث قادرة على حفاظ أوروبا لتكون في طليعة البحث العلمي على نطاق واسع. أحد

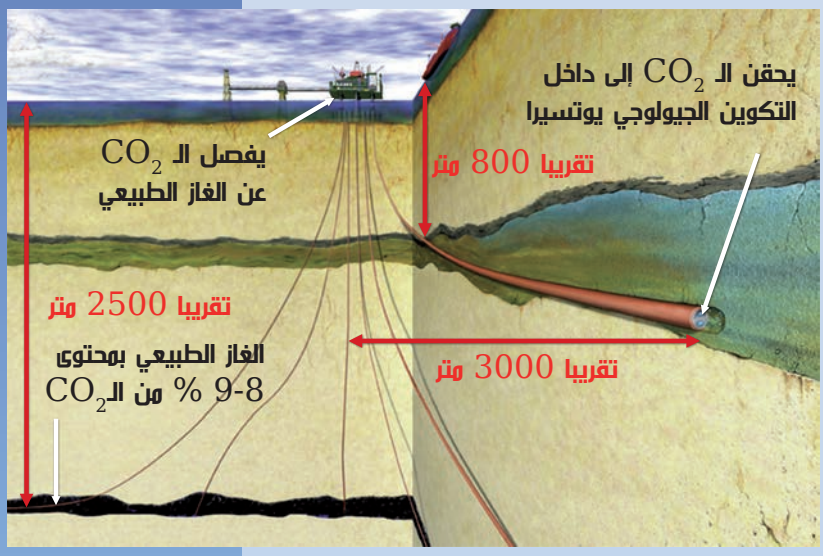


BRGM im@gé ©

شكل 3
في محطات توليد الطاقة، يتم قبض الـ CO_2 بفصله عن الغازات الأخرى. ثم يتم ضغطه ونقله عبر خط أنابيب أو سفينة إلى موقع التخزين الجيولوجي الخاص به : خزانات المياه الجوفية العميقة المالحة، وحقول النفط والغاز الناضبة، وطبقات الفحم الغير القابل للإستخراج.

أهداف الـ CO_2 GeoNet هو تبادل المعلومات العلمية الواضحة من الناحية التقنية للتخزين الجيولوجي لـ CO_2. ولتشجيع الحوارحول الجوانب الاساسية لهذه التكنولوجيا ذات أهمية حيوية، أعد باحثو الـ CO_2 GeoNet الأجوبة الأساسية للعديد من الأسئلة المتداولة. في الصفحات التالية، ستجد تفسيرات لأسئلة مثل كيف يمكن اتمام التخزين الجيولوجي لـ CO_2، وتحت أية ظروف يمكن ذلك، وما هي المعايير المطلوبة لتنفيذها بشكل آمن وفعال.

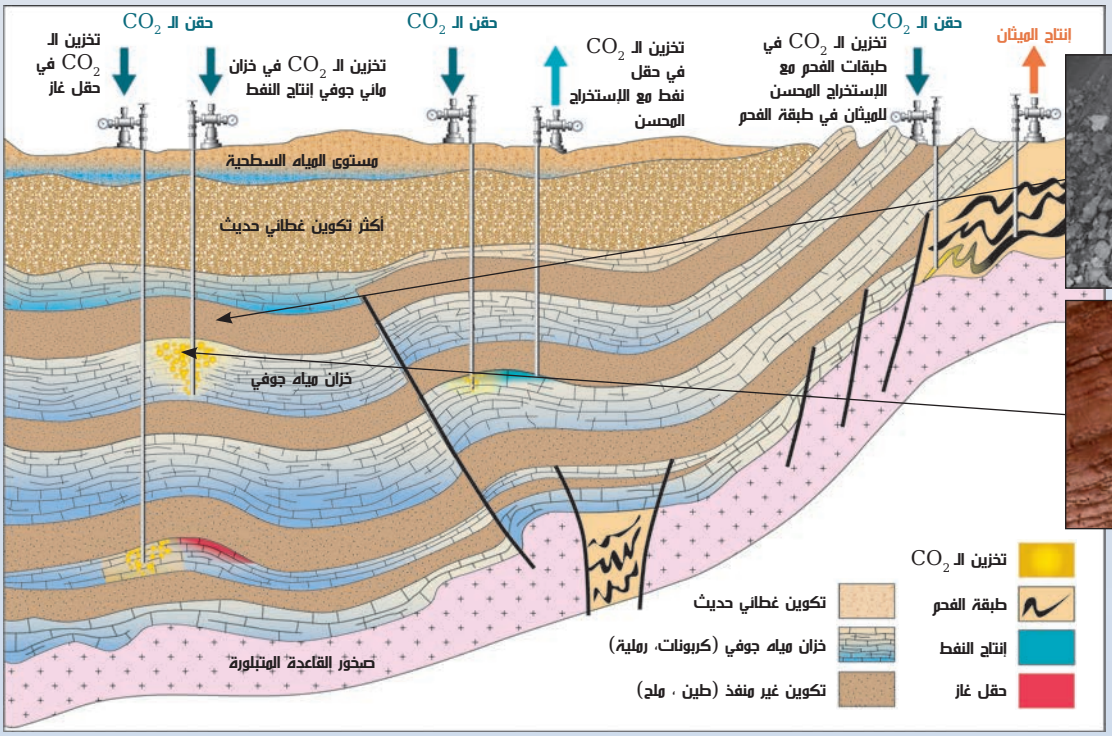
شكل 4
مقطع-عرضي عمودي لموقع سليبنر - النرويج. يحتوى الغاز الطبيعي، المستخرج من عمق 2500 متر، على عدة في المئة من الـ CO_2 والتي يجب التخلص منها لتتماشى مع المعايير التجارية. بدلا من إطلاقه في الغلاف الجوي، يحقن الـ CO_2 المقبوض على عمق 1000 مترا تقريبا في المياه الجوفية الرملية * يوتسيرا.

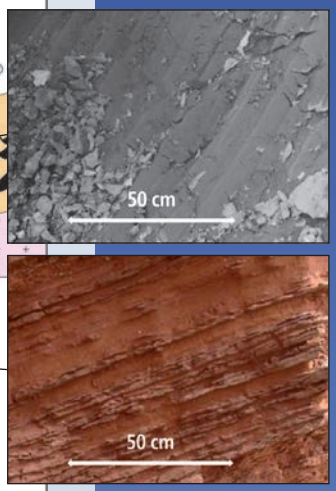


StatoilHydro ©

أين وكم يمكن أن نخزن الـ CO_2 في باطن الأرض ؟

لا يمكن حقن CO_2 في مجرد أي مكان داخل الأرض، يجب أولا تحديد التكوينات الصخرية الملائمة لإحتواءه . توجد مكامن ذات إحتمالية للتخزين الجيولوجي لـ CO_2 في جميع أنحاء العالم كما توفر السعة الكافية لتساهم بشكل كبير في التخفيض من تغير المناخ الذي يسببه النشاط البشري.





BRGM image ©

شكل 1
يتم حقن CO_2 في صخور الطبقات الجيولوجية العميقة ذات المسامية والنفاذية (أنظر الحجر الرملي المبين في داخل الطبقة السفلى)، تعلوها الصخور الغير منفذة/كتيمة (أنظر صخور في داخل الطبقة العلوية) التي تمنع الـ CO_2 من التسرب الى السطح. تتضمن خيارات التخزين الرئيسية ما يلي : 1- مكامن النفط والغاز الناضبة بعمليات تحسين الاسترداد حيثما أمكن ذلك، 2- الطبقات الخازنة للمياه الجوفية والتي مياه مالحة غير صالحة للاستهلاك البشري، 3- طبقات الفحم العميقة الغير القابل للإستخراج والمرتبطة بعمليات تحسين استرداد الميثان.

توجد ثلاثة خيارات رئيسية لتخزين الـ CO_2 (شكل 2):

1- حقول النفط والغاز الطبيعي الناضبة – وهي معروفة بشكل جيد نتيجة لعمليات إستكشاف وإستثمار المواد الهيدروكربونية، والتي تقدم فرص فورية لتخزين الـ CO_2 .

2- خزانات المياه الجوفية المالحة – والتي تقدم إمكانية كبيرة للتخزين، ولكنها عامة ليست معروفة إلى حد كبير .

3- طبقات الفحم غير القابل للإستخراج – وتعد خيارا للمستقبل، عندما يتم حل مشكلة كيفية حقن كميات كبيرة من الـ CO_2 في طبقات الفحم ذات نفاذية * منخفضة.

المكامن

عندما يحقن إلى باطن الأرض في صخور مكمن ملائم، يتجمع الـ CO_2 في المسامات بين الحبوب و في الكسور، بحيث تزيح وتحل محل أية سوائل موجودة مثل الغاز أو الماء أو النفط. ولذلك ينبغي للصخور الحاوية الملائمة للتخزين الجيولوجي لـ CO_2 أن تكون ذات مسامية * ونفاذية عالية. تتواجد مثل صخور هذه التكوينات، والناتجة عن ترسب الرواسب في الماضي الجيولوجي، في بما يسمى عادة بالأحواض الرسوبية. في بعض الأماكن، تتعاقب هذه التكوينات ذات النفاذية مع صخور غير منفذة تشكل طبقة حابسة منيعة. غالبا ما تحتوي الأحواض الرسوبية على مكامن للمواد الهيدروكربونية وحقول الـ CO_2 الطبيعية، مبرهنة قدرتها على الإحتفاظ بالسوائل لفترات زمنية طويلة، بحيث تحبس وبشكل طبيعي النفط والغاز وحتى الـ CO_2 النقي لملايين السنين.

غالبا ما توصف الطبقات الباطنية تبسيطا نوعا ما بأنها ذات بنية جيولوجية متجانسة إلى حد كبير على شكل طبقات الكعك المبينة في الأشكال التوضيحية والتي تظهر خيارات التخزين الممكنة لـ CO_2 . في الواقع، وبالرغم من ذلك، تتكون الطبقات الباطنية من تشققات التكوينات الصخرية محليا الموزعة بشكل غير متساوي ومكامن وصخور غطاء تكون بنيات جيولوجية غير متجانسة. إن المعرفة المتعمقة للموقع والخبرة العلمية الجيولوجية مطلوبة لتقييم مدى ملائمة البنيات الجيولوجية الباطنية المقترحة لعملية تخزين الـ CO_2 لمدة طويلة.

يجب على مكامن الـ CO_2 المحتملة أن تستوفي عدد من المعايير، الأساسية منها :

- مسامية، نفاذية وسعة تخزين كافية.
- وجود طبقة صخور علوية غير منفذة – ما يسمى " طبقة الغطاء " (على سبيل المثال طين، الطين الجيري، الملح الصخري) التي تمنع الـ CO_2 من الصعود للطبقات العليا

· وجود " التراكيب الجيولوجية المحاصرة " – وبعبارة أخرى ظواهر جيولوجية، مثل صخور غطاء على شكل قبة، والتي تراقب الانتقال الجانبي ل لـ CO_2 ضمن التكوينات الصخرية للتخزين.
· موقع أعمق من 800 متر، حيث تكون معدلات الضغوط ودرجات الحرارة عالية بدرجة كافية لتمكين تخزين الـ CO_2 على شكل سائل مضغوط بحيث يمكن تخزين أكبر كمية ممكنة.
· عدم وجـود المياه الصالحة للشرب : لا ينبغي أن يتم حقن الـ CO_2 في مياه تصلح للإستهلاك البشري ونشاطاته.

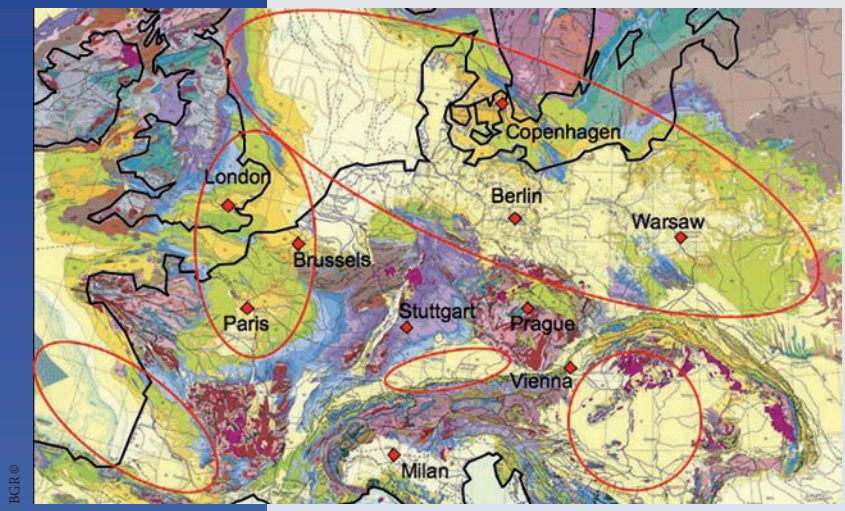
أين يمكن العثور على مواقع التخزين في أوروبا

تنتشر الأحواض الرسوبية في جميع أنحاء أوروبا، على سبيل المثال بحرا في بحر الشمال أو على اليابسة في المناطق المحيطة بسلسلة جبال الألب (شكل 2). يستوفي كثير من التكوينات في الأحواض الأوروبية للمعايير المطلوبة في التخزين الجيولوجي، وحاليا يتم عمل خرائطها وتحديد خصائصها من قبل الباحثين. تتألف المناطق الأوروبية الأخرى من قشرة أرضية قديمة متصلبة، مثل معظم إسكندنافيا وبالتالي تحتوي على صخور ملائمة لتخزين الـ CO_2 .يعد الحوض البرمي الجنوبي مثالا لمنطقة ذات إحتمالية لتكون موقعا للتخزين، والذي يمتد من إنجلترا إلى بولندا (والمتمثلة في الشكل 2 بالشكل البيضاوي الكبير). تم التأثير على الرواسب من خلال عمليات تكوين الصخور والتي تركت بعض المسامات مملؤة بمياه مالحة ونفط وغاز طبيعي. تم رص طبقات الطين الموجودة بين طبقات الصخور الرملية المسامية لتكون طبقات ذات نفاذية منخفضة، والتي تمنع صعود السوائل. توجد معظم تكوينات الصخور الرملية على أعماق ما بين 1 إلى 4 كيلومترات، حيث يكون الضغط عاليا بدرجة كافية لتخزين الـ CO_2 بشكله المكثف. يتزايد محتوى الملح في مياه التكوين على هذا المدى من العمق من حوالي 100 غرام/لتر إلى 400 غرام/لتر، بعبارة أخرى، أي أكثر ملوحة من ماء البحر (35 غرام/لتر). تسببت التحركات في الحوض بتشكلات مرنة للملح الصخري، محدثة المئات من الهياكل الجيولوجية المقببة الشكل حابسة معها الغاز الطبيعي. يجري دراسة تلك المصائد لتكون في النهاية مواقع تخزين لـ CO_2 والمشاريع التجريبية.

سعة التخزين

إن معرفة سعة تخزين الـ CO_2 ضرورية من قبل السياسيين، والسلطات التنظيمية ومشغلي التخزين. تعتبر عادة تقديرات سعة التخزين مقربة بشكل كبير وتستند على البعد المكاني للتكوينات الملائمة المحتملة. يمكن تقييم السعة على مقاييس مختلفة، متراوحة من المستوى الوطني لتقديرات تقريبية، إلى مستوى الحوض أو المكمن لأجل حسابات دقيقة تأخذ بعين الإعتبار عدم التجانس وتعقيد الهيكل الجيولوجي الحقيقي.

السعة الحجمية : تستند عامة سعات التخزين الوطني المعلنة على حسابات حجم مسامات التكوين. من الناحية النظرية، يمكن حساب سعة التخزين لتكوين ما من خلال ضرب مساحته بسماكته، وبمتوسط مساميته وبمتوسط كثافة الـ CO_2 في ظروف عمق الخزان . بالرغم من ذلك، ولأن المسام يكون ممتلئ بالمياه، يمكن إستخدام جزء صغير للتخزين، يفترض عامة أن يتراوح بين 1-3 %

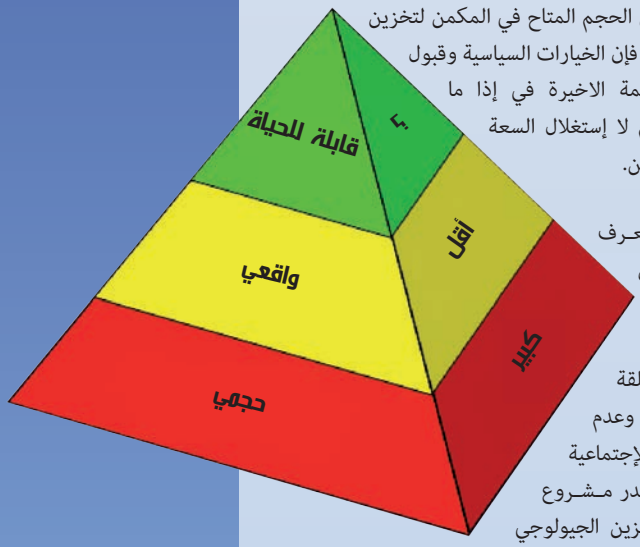


شكل 2
خريطة جيولوجية لأوروبا تبين موقع الأحواض الرسوبية الرئيسية (الدوائر الحمراء) حيث يمكن العثور على مكامن ملائمة لتخزين الـ CO_2 (من الخريطة الجيولوجية لأوروبا على مقياس 1:5,000,000).

. يستخدم معامل سعة التخزين هذا عند تقييم السعة الحجمية.

السعة الواقعية : يمكن عمل تقديرات السعة بأكثر واقعية على مواقع تخزين مفردة من خلال تحقيقات مفصلة. تكون سماكة التكوين غير ثابتة، ويمكن لخصائص المكمن أن تتغير ضمن مسافات قصيرة. تتيح لنا معرفة حجم، شكل والخصائص الجيولوجية للهياكل التقليل من عدم اليقن في حسابات الحجم. إستنادا إلى هذه المعلومات، يمكن عندئذ إستخدام المحاكاة الحاسوبية لتوقع عملية حقن الـ CO_2 وحركته داخل المكمن من أجل تقدير سعة التخزين الواقعية.

السعة القابلة للحياة : إن السعة ليست مجرد مسألة فيزياء الصخور. تؤثر أيضا العوامل الإجتماعية و الإقتصادية سواء تم أو لم يتم إستخدام الموقع الملائم. على سبيل المثال، يتم تحكم نقل الـ CO_2 من المصدر إلى موقع التخزين منتكاليف النقل. ستعتمد السعة أيضا على نقاء الـ CO_2 ، لأن وجود الغازات الأخرى سيقلل من الحجم المتاح في المكمن لتخزين الـ CO_2 . وأخيرا، فإن الخيارات السياسية وقبول الجمهور لها الكلمة الاخيرة في إذا ما كان سيتم فعلا أم لا إستغلال السعة المتاحة في المكمن.



وفـي الـختـام، نـعـرف أن سـعـة تـخـزيـن الـ CO_2 مرتفعة في أوروبا، حتى لو وجدت الـشـكـوك المتعلقة بتعقيدات المكمن وعدم التجانس والعوامل الإجتماعية و الإقـتـصـاديـة. قـدر مـشـروع الإتحاد الأوروبي للتخزين الجيولوجي لـــــ CO_2 GESTCO * سعة تخزين الـ CO_2 في حقول الهيدروكربون ضمن و حول بحر الشمال بـ 37 مليار طن، والتي قد تمكن للمنشآت الكبيرة في هذه المنطقة من حقن الـ CO_2 لعدة عقود. يعتبر تحديث وعمل المزيد من الخرائط لسعات التخزين في أوروبا بحوث جارية، في دول الأعضاء المنفردة ومن خلال مشروع الإتحاد الأوروبي Geocapacity* لأوروبا بشكل عام.

كيف يمكننا نقل وحقن كميات كبيرة من الـ CO_2 ؟

بعـد قبضـه في المنشـأة الصناعية، يضغط وينقل الـ CO_2 ، وبعد ذلك يحقن إلـى تكوين المكمن من خلال بئر أو عدة آبار يجب أن يتم هذا التسلسل بشكل أمثل ليتم تخزين عدة ملايين الأطنان من الـ CO_2 سنويا.

الضغط

ينضغط الـ CO_2 حتى يصبح في حالة سائل ذو كثافة عالية يحتل مساحة أقل بكثير من الغاز. عند فصل الـ CO_2 من غاز المداخن في محطة توليد الكهرباء أو المنشآت الصناعية، يجفف ويضغط التيار الناتج عن الـ CO_2 ذو التركيز العالي مما يجعل من النقل والتخزين أكثر كفاءة (شكل 1). إن التجفيف ضروري لتفادي تآكل المعدات والبنى التحتية، وتحت الضغط العالي تتكون الهيدرات (بلورات جامدة تشبه بلورات الثلج التي يمكن أن تسد المعدات والأنابيب). يتم الضغط بالتلازم مع التجفيف من خلال عملية متعددة المراحل : دورات متكررة من الضغط والتبريد وفصل المياه. يجب تكييف الضغط والحرارة والمحتوى المائي ليتناسب مع وسيلة النقل ومع متطلبات الضغط في موقع التخزين. إن العوامل الرئيسية لتصميم تركيب ضاغط الغاز هي معدل تدفق الغاز، إمتصاص وتفريغ الضغوط، السعة الحرارية للغاز، وكفاءة الضاغط. إن تقنية الضغط متوفرة و تستخدم بالفعل على نطاق واسع في العديد من المجالات الصناعية.

عملية النقل

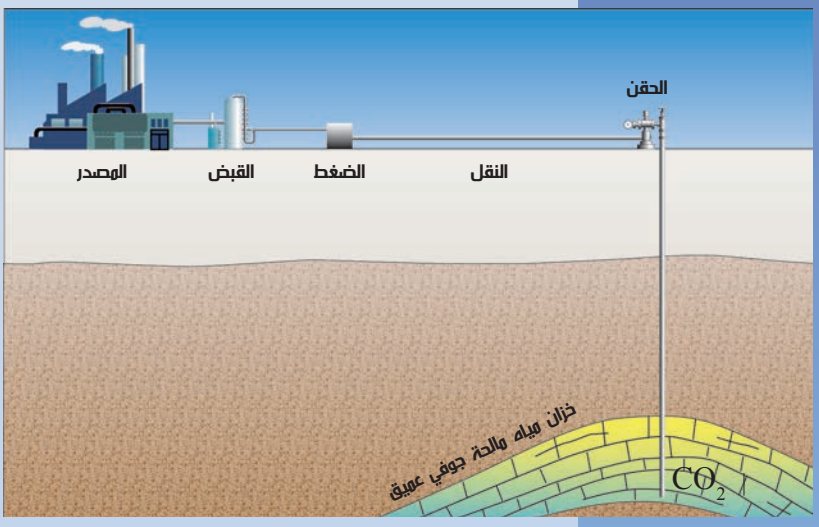
يمكن نقل الـ CO_2 إما عن طريق السفن أو خط الأنابيب. يتم نقل الـ CO_2 عن طريق السفن في الوقت الراهن بمعدلات قليلة (10,000 - 15,000 م مكعب) لأغراض صناعية، ولكن يمكن لهذه الوسيلة أن تصبح في المستقبل خيارا جذابا لمشاريع تجميع الـ CO_2 وتخزينه حينما يكون مصدر الـ CO_2 قريبا من الساحل ولكنه بعيدا جدا عن المكمن الملائم. تعتبر السفن المستخدمة لنقل غاز البترول المسال (LPG) ملائمة لنقل الـ CO_2 . وبالأخص، تتميز الأنظمة الشبه مبردة كلا المضغوطة والمبردة، وبالتالي يمكن لـ CO_2 أن ينقل في حالته السائلة. تحتوي أحدث سفن نقل غاز البترول المسال على أحجام تصل إلى 200,000 متر مكعب وتكون قادرة على نقل 230,000 طن من الـ CO_2 . ومع ذلك، لا يوفر النقل البحري الدعم اللازم للتدفق المتواصل، وهناك حاجة إلى وجود مرافق تخزين مرحلية في الميناء للتعامل مع إعادة شحن الـ CO_2 . تستخدم حاليا طريقة النقل عن طريق خط الأنابيب لنقل كميات كبيرة من الـ CO_2 المستخدمة من قبل شركات النفط في عمليات الاسترداد المحسن للنفط * (تقريبا 300 كيلومتر من خطوط نقل الـ CO_2 في العالم، أغلبها في الولايات المتحدة). يعتبر النقل عن طريق خطوط الأنابيب أكثر كلفة من النقل البحري كما أنه يوفر ميزة التدفق المتواصل من محطة القبض إلى موقع التخزين. تعمل كل خطوط أنابيب الـ CO_2 الموجودة في ضغوط عالية تحت ظروف حرجة جدا لـ CO_2 بحيث يتصرف كغاز ولكن بكثافة سائل. تحدد ثلاثة عوامل مهمة الكمية التي يمكن لخط الأنابيب أن يتعامل معها :قطره، والضغط على إمتداد طوله، وبالتالي سماكة جداره.

عملية الحقن

عندما يصل الـ CO_2 إلى موقع التخزين، يحقن تحت ضغط إلى داخل المكمن (شكل 2). ويجب أن يكون ضغط الحقن أكبر، وبشكل كافي، من ضغط المكمن لإبعاد سوائل المكمن عن نقطة الحقن. يعتمد عدد آبار الحقن على كمية الـ CO_2 المراد تخزينها، ومعدل الحقن (كمية الـ CO_2 المحقون في كل ساعة) ، ونفاذية وسماكة المكمن، والحد الأقصى الآمن لضغط الحقن، ونوعية البئر. كما أن الهدف الرئيسي هو الاحتواء على المدى الطويل من الـ CO_2 ، يجب علينا أن نكون واثقين من السلامة الهيدروليكية للتكوين. يمكن لمعدلات الحقن العالية أن تتسبب في إرتفاع الضغط عند نقطة الحقن، خاصة في التكوينات ذات النفاذية المنخفضة. عادة ينبغي أن مقدار ضغط الحقن لا يتجاوز مقدار ضغط إنكسار الصخور لأن هذا قد يضر بالمكمن أو الطبقة العلوية الحابسة. يستخدم التحليل الجيوميكانيكي ونماذج لتحديد الحد الأقصى لضغط الحقن التي تفادي تشقق التكوين.

قد تؤثر العمليات الكيميائية على المعدل الذي يحقن به الـ CO_2 في التكوين. إعتمادا على نوع صخور المكمن وتركيبة السوائل وظروف المكمن (مثل الحرارة، الضغط، الحجم، التركيز، إلخ)، يمكن حدوث عمليات انحلال وترسيب المعادن بالقرب من البئر. وقد يؤدي هذا إلى معدلات حقن متزايدة أو متناقصة. فعندما يحقن الـ CO_2 ، يذوب جزء منه في المياه المالحة للمكمن وتقل درجة الحموضة * بشكل طفيف، من انحلال كربونات المعادن الموجودة في الصخور . إن الكربون من أول المعادن الذي يذوب لأن

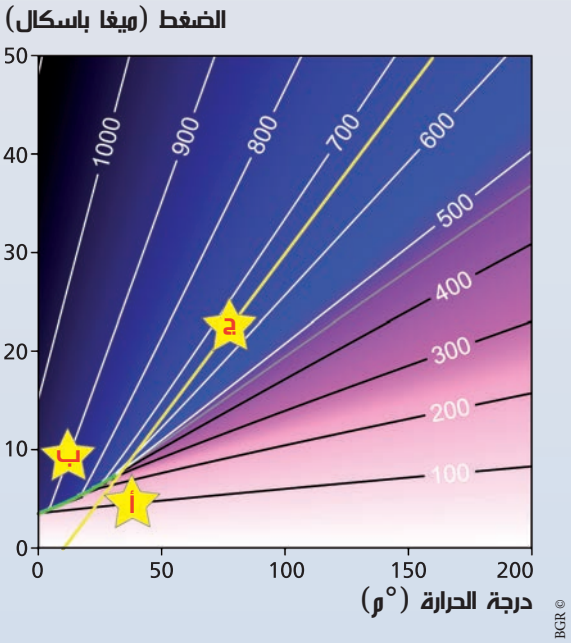
شكل 1
مراحل التخزين الجيولوجي لـ CO_2 . من أجل توصيل الـ CO_2 من نقطة إنبعاثه نحو تخزينه الآمن والمستدام، عليه أن يمر من خلال سلسلة كاملة من العمليات بما في ذلك القبض، الضغط، ، النقل والحقن.



BRGM im@ge ©

معدل تفاعله عالي جدا وتبدأ عملية الذوبان حال بدأ الحقن. يمكن لعملية الذوبان هذه أن تزيد من مسامية الصخور وتسهل من عملية الحقن *. ومع ذلك، وبعد الذوبان، يمكن لمعادن الكربونات أن تعيد من ترسبها وتلحم التكوين حول البئر. يمكن إستخدام معدلات التدفق العالية للحد من إنخفاض النفاذية بالقرب من البئر، وبالتالي إزاحة منطقة الترسب ذات التوازن الجيوكيميائي ودفعها بعيدا.

يعتبر الجفاف ظاهرة أخرى تنتج عن عملية الحقن. بعد مرحلة الحموضة، تذوب المياه المتبقية حول بئر الحقن في الغاز الجاف المحقون، والذي بدوره يركز أنواع كيميائية في المياه المالحة *. يمكن حينها لمعادن (مثل الأملاح) الترسب عندما يكون تركيز المياه المالحة على نحو كاف، ومقللا بالتالي النفاذية حول البئر. تعتمد شؤون الحقن هذه على عمليات التفاعل المعقدة التي تحدث موضعيا حول بئر الحقن، ولكنها تعتمد أيضا كثيرا على كل من الوقت اللازم والمسافة الكلية إلى بئر الحقن. تستخدم المحاكات الرقمية في تقييم مثل هذه التأثيرات . يجب التعامل بعناية مع معدلات تدفق الحقن للتغلب على عمليات قد تحد من حقن الكميات المطلوبة لـ CO_2

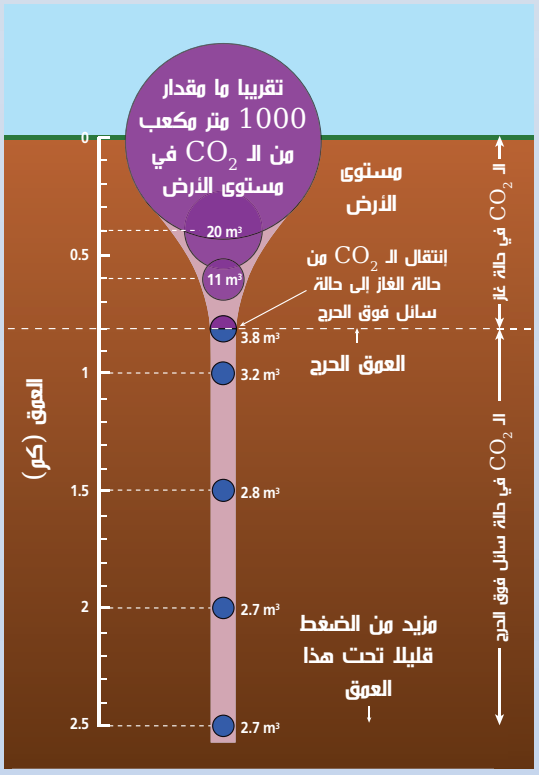


شكل 3
كثافة الـ CO_2 النقي (كيلوجرام لكل متر مكعب) على شكل دالة لدرجة الحرارة والضغط. يتوافق الخط الأصفر مع ضغط نموذجي وتدرج درجة الحرارة في حوض رسوبي. في أعماق تتجاوز 800 متر (~ 8 ميغا باسكال)، تساعد ظروف المكمن ليكون الـ CO_2 ذا كثافة عالية (التظليل الأزرق). يعتبر المنحنى الأخضر الحد المرحلي الفاصل بين الحالة الغازية والحالة السائلة لـ CO_2 . موضحنموذج الضغط و درجات الحرارة الملائمة لظروف القبض (أ) النقل (ب) و التخزين (ج).

تركيب مجرى تيار الـ CO_2

يؤثر تركيب ونقاء تيار الـ CO_2 ، الناتج عن عملية القبض، بشكل كبير على جميع النواحي اللاحقة في مشروع تخزين الـ CO_2 . سيؤثر وجود نسبة ضئيلة من المواد الأخرى، مثل الماء، وكبريتيد الهيدروجين (H2S) والكبريت وأكاسيد النيتروجين (SOx, NOx)، والنيتروجين (N2) والأكسجين (O2)، على الخصائص الفيزيائية والكيميائية لـ CO_2 و على السلوك والتأثيرات المرتبطة به. لذا وجب النظر وبعناية لوجود مثل هذه المواد عند تصميم مراحل الضغط والنقل والحقن وكذلك عند ضبط ظروف التشغيل والمعدات.

وفي الختام، إن عملية نقل وحقن كميات كبيرة من CO_2 ممكنة فعليا. ومع ذلك، إذا كان التخزين الجيولوجي لـ CO_2 سيتم نشره على نطاق واسع، يجب أن تصمم جميع المراحل المطلوبة لكل مشروع تخزين على حدى. تنحصر المعاملات الرئيسية في الخصائص الحرارية الحركية لتيار الـ CO_2 (شكل 3) ومعدلات التدفق، وظروف المنبع والمكمن.



شكل 2
عندما يتم حقنه في باطن الأرض، يصبح الـ CO_2 سائل كثيف فوق الحرج * على عمق 0,8 كيلومتر تقريبا. ويقل حجمه بشكل كبير من 1000 متر مكعب على السطح إلى 2,7 متر مكعب على عمق 2 كيلومتر. يعد هذا أحد العوامل التي تجعل من عملية التخزين الجيولوجي لكميات كبيرة من الـ CO_2 جذابة جدا.

ماذا يحدث لـ CO_2 مرة في مكمن التخزين؟

عندمـا يحقن في المكمن، سـيرتفع CO_2 طافيا ليملأ المسـامات تحت صخور الغطاء. مع مرور الزمن، سـوف يتحلل جزء من CO_2 وسـوف يتحول في نهاية المطاف إلى معادن. تجري هذه العمليات في مدد زمنية مختلفة وتسـاهم في المصيدة الدائمة.

أليات المصيدة

عندما يحقن في المكمن، يملأ الـ CO_2 مسامات الصخور، التي تكون في أغلب الأحوال مملؤة مسبقا بالمحاليل، أي المياه المالحة. عندما يحقن الـ CO_2 ، تلعب الأليات التالية دورها. تعتبر الألية الأولـى الأهم و تمنع الـ CO_2 من الصعود إلى السطح. تميل الأليات الثلاثة الأخرى إلى زيادة كفاءة وأمن مع التخزين مع مرور الوقت.

1- التراكم تحت صخور الغطاء (المصيدة البنيوية)

يبدأ الـ CO_2 في الصعود للأعلى لكونه أخف من الماء. تتوقف هذه الحركة عندما يواجه الـ CO_2 طبقة صخرية غير منفذة ما يسمى 'صخر الغطاء'. تتألف صخور الغطاء عادة من الطين أو الملح، فتكون صخور الغطاء هذه بمثابة مصيدة تمنع الـ CO_2 من الصعود أبعد من ذلك مما يؤدي إلى تراكمه مباشرة تحت صخور الغطاء. يوضح شكل 1 حركة الصعود لـ CO_2 خلال مسامات الصخور (باللون الأزرق) حتى تصل إلى صخور الغطاء.

2- الجمود في المسامات الصغيرة (المصيدة المتبقية)

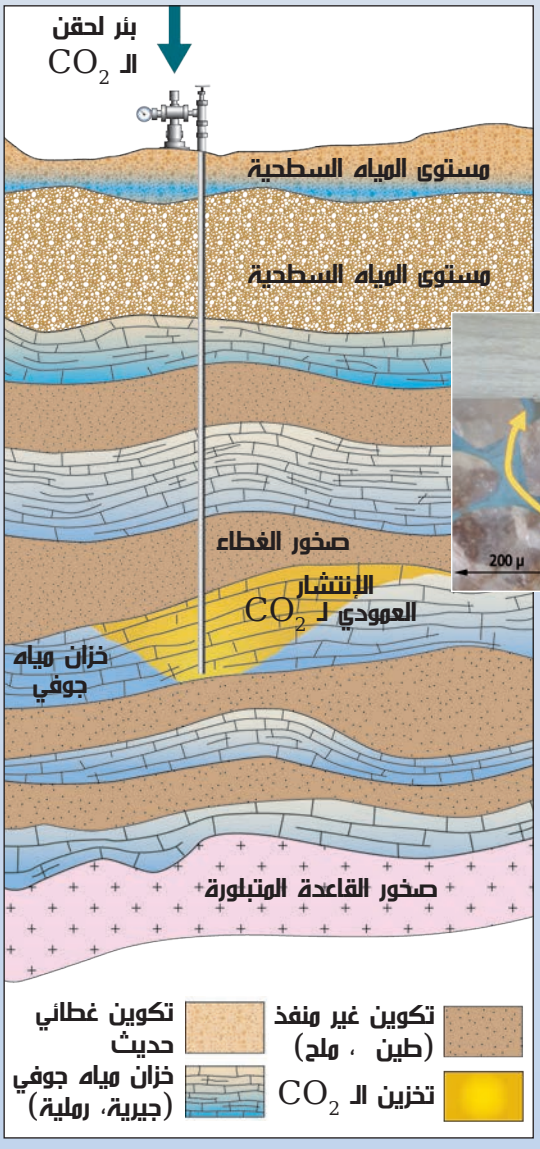
يحدث الجمود المتبقي عندما تكون المسامات في صخور المكمن ضيقة بحيث لم يعد بإمكان الـ CO_2 التحرك للأعلى ، على الرغم من الفرق في الكثافة بينه وبين المياه المحيطة به. تحدث هذه العملية بشكل رئيسي خلال إنتقال الـ CO_2 ، و يمكن عادة تجمد نسبة مئوية ضئيلة من الـ CO_2 المحقون تبعا لخصائص صخور المكمن.

3- الذوبان (مصيدة الذوبان)

يذوب جزء ضئيل من الـ CO_2 المحقون، أو يتحول إلى محلول، بواسطة المحلول الموجود مسبقا في مسامات المكمن. عاقبة الذوبان هو أن المياه مع الـ CO_2 الذائب أثقل من الماء بدونه، ويميل للتحرك للأسفل إلى قاع المكمن. يعتمد معدل الذوبان على سطح التلامس بين الـ CO_2 وبين المحلول. تقتصر كمية الـ CO_2 الممكن إذابتها على مقدار أقصى تركيز. ومع ذلك، نظرا لحركةالـ CO_2 المحقون للأعلى ولحركة المياه التي تحتوي على الـ CO_2 المذاب للأسفل، يكون هنالك تجديد مستمر لسطح التلامس بين المحلول و الـ CO_2 ، وبالتالي زيادة في الكمية التي يمكن إذابتها. إن هذه العمليات بطيئة نسبيا لأنها تحدث ضمن مسامات ضيقة. تشير التقديرات التقريبية في مشروع سليبنر إلى أن حوالي 15 % من الـ CO_2 المحقون يذوب بعد 10 سنوات من الحقن.

4- التمعدن (مصيدة المعادن)

يستطيع الـ CO_2 ، وخاصة عند مزجه مع المحلول في المكمن، أن يتفاعل مع المعادن المكونة للصخور. تستطيع بعض المعادن أن تـذوب، بينما المعادن الأخـرى ان تترسب، إعتمادا على درجة الحموضة والمعادن المكونة لصخور المكمن (شكل 2). تشير التقديرات في مشروع سليبنر أن جزء صغير نسبيا فقط من الـ CO_2 يتجمد خلال عملية التمعدن بعد فترة زمنية طويلة جدا. بعد 10,000 سنة، سوف يتمعدن 5 % فقط من الـ CO_2 المحقون بينما سوف يذوب الـ 95 % المتبقية، مع عدم وجود الـ CO_2 المتبقي على نحو مكثف ومنفصل.



منظر مجهري

شكل 1
يميل الـ CO_2 المحقون، والذي يعتبر أخف من الماء، إلى الإرتفاع ويتم إيقافه من قبل طبقات الصخور العلوية غير منفذة.

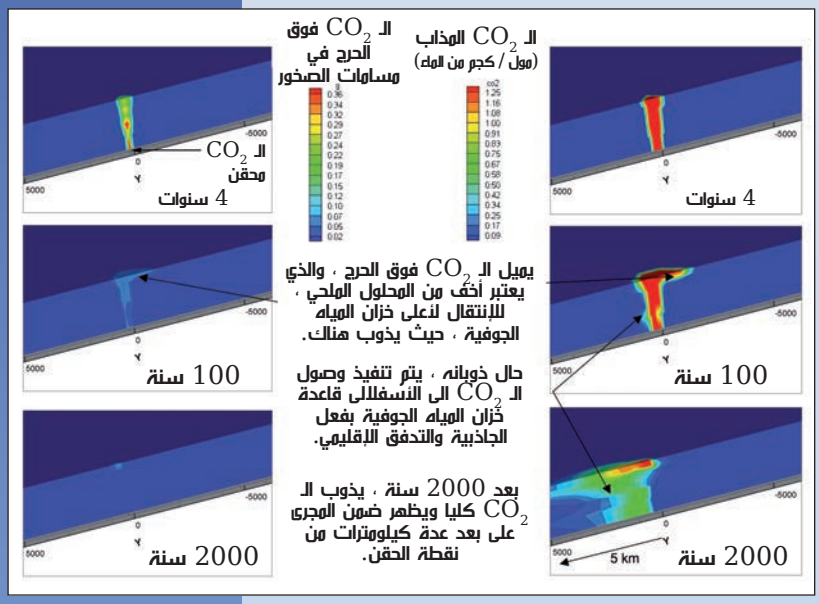
شكل 2
الـ CO_2 الكثيف منتقلا للأعلى (فقاعات زرقاء فاتحة)، يذوب ويتفاعل مع حبيبات الصخور، مما يؤدي إلى ترسب معادن الكربونات على حدود الحبيبات (بيضاء).

تتحدد الأهمية النسبية لأليات المصائد هذه تبعا للموقع، أي أنها تعتمد على خصائص كل موقع على حدى. على سبيل المثال، في المكامن المقببة الشكل، ينبغي أن يظل أغلب الـ CO_2 مكثفا حتى خلال فترات زمنية طويلة جدا، بينما في المكامن المسطحة مثل سليبنر، سيذوب أو يتمعدن أغلب الـ CO_2 المحقون.
يوضح شكل 3 تطور نسبة الـ CO_2 في مختلف أليات المصائد في حالة سليبنر.

كيف نعرف كل هذا ؟

تأتي معرفة العمليات من اربعة مصادر للمعلومات :

- **مختبر القياسات:** يمكن إجراء تجارب على نطاق صغير على عينات الصخور لمعرفة حالة التمعدن، التدفق والذوبان، حيث تقدم الدراية عن العلميات القصيرة الأجل وذات النطاق الصغير.
- **المحاكات الرقمية:** تم تطوير الرموز الحاسوبية التي يمكن أن تستخدم لتنبؤ سلوك الـ CO_2 خلال فترات زمنية أطول بكثير (شكل 4). تستخدم التجارب المختبرية لمعايرة المحاكات الرقمية.
- **دراسة المكامن الطبيعية لـ CO_2 :** حيث تم حبس الـ CO_2 (ذو المنشأ البركاني عامة) تحت الأرض لفترات زمنية طويلة، غالبا لملايين السنين. يشار إلى مثل هذا الإعداد على أنه (تماثلية طبيعية) *. تقدم لنا هذه المواقع معلومات عن سلوك الغاز و العواقب الطويلة الأجل جدا لتواجد الـ CO_2 في باطن الأرض.
- مراقبة المشاريع الإيضاحية لعمليات التخزين الجيولوجي الحالية لـ CO_2، مثل مشروع سليبنر (البحري، النرويج)، مشروع ويبورن (كندا)، مشروع عين صلاح (الجزائر)، ومشروع K12-B (البحري، هولندا). يمكن مقارنة نتائج المحاكات القصيرة الأجل ببيانات حقلية حقيقية والمساعدة في تحسين النماذج.

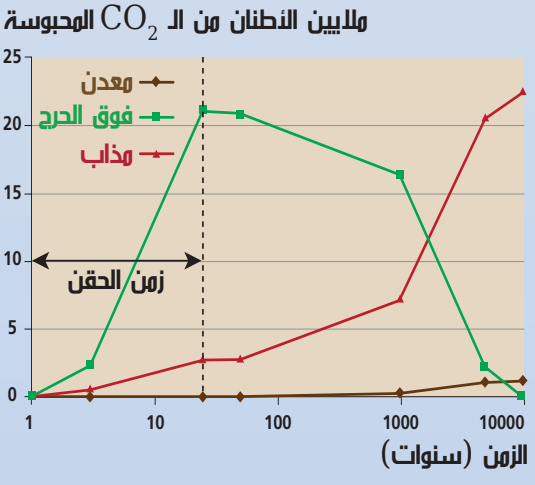


BRGM image ©

شكل 4
النمذجة الثلاثية الأبعاد لإنتقال الـ CO_2 إلى خزان حامل للمياه الجوفية، بعد حقن 150,000 طن خلال 4 سنوات في خزان دوجر للمياه الجوفية في فرنسا. موضح هنا الـ CO_2 فوق الحرج (يسار) و الـ CO_2 المذاب في محلول ملحي (يمين) بعد 4 سنوات و 100 سنة و 2000 سنة من بداية الحقن. تستند المحاكات على البيانات الميدانية والتجارب.

إلا عن طريق مواصلة التأكد من المراجعة والتحقق من مصادر المعلومات الأربعة، يمكن إكتساب المعرفة الموثوقة عن جميع العمليات التي تحدث تحت أقدامنا بنحو 1000 قدم.

وفي الختام، نعرف أن سلامة موقع تخزين الـ CO_2 يتزايد مع الوقت. النقطة الأكثر حرجا هي إيجاد مكمن يعلوه صخور غطاء ملائمة تستطيع حبس الـ CO_2 (المصيدة البنيوية). تعمل جميع العمليات ذات الصلة بالذوبان والتمعدن و المصيدة المتبقية لصالح منع الـ CO_2 من الإنتقال للسطح.



BRGM ©

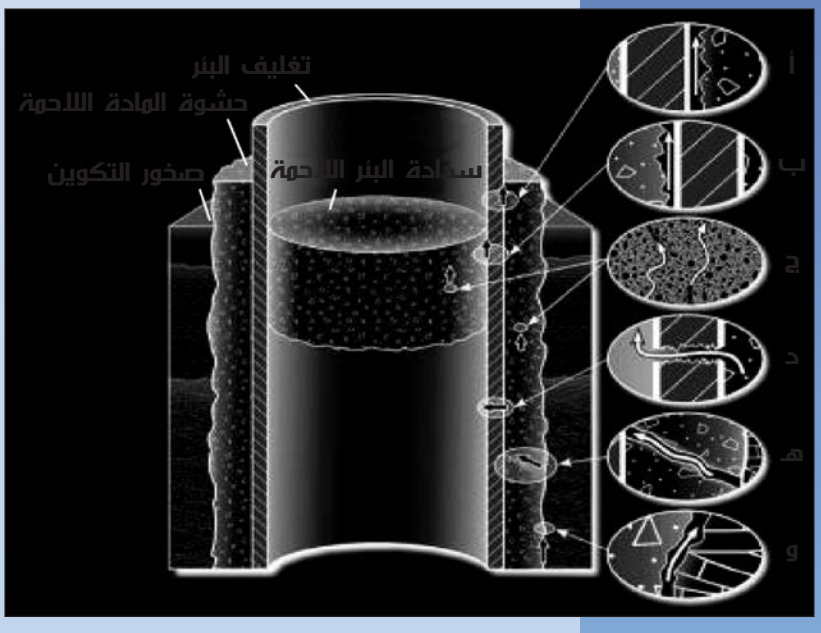
شكل 3
تطور الـ CO_2 بأشكاله المختلفة في مكمن سليبنر وفقا لمحاكات التدفق. ينحصر الـ CO_2 بحالة فوق الحرجة من قبل الآليات 1 و 2، وبحالة مذابة من قبل الآلية 3، وبحالة معدنية من قبل الآلية 4.

هل يمكن لـ CO_2 أن يتسرب من المكمن، وإذا كان الأمر كذلك، فما هي العواقب ذلك ؟

إستنادا إلى دراسة الأنظمة الطبيعية، لا يتوقع من مواقع التخزين المختارة بعناية أن يظهر أي تسرب واضح. تساعدنا المكامن الطبيعية التي تحتوي على الغاز في فهم الظروف التي تتحكم في حبس الغاز أو تسربه. وبالإضافة إلى ذلك، تساعدنا المواقع التي بها تسربات على فهم التأثيرات المحتملة لتسرب الـ CO_2.

ممرات التسرب

في العموم، ممرات التسرب المحتملة إما أن تكون من صنع الإنسان (مثل الآبار العميقة) أو إما طبيعية (مثل أنظمة التشققات والصدوع).
يمكن لكل من الآبار النشطة والمهجورة أن تشكل ممرات للإنتقال أولا بسبب أنها تشكل صلة مباشرة بين المياه السطحية وخزان، وثانيا، وهي تتألف من مواد من صنع الإنسان تشكل صلة مباشرة بين السطح والمكمن، وثانيا بأنها تتألف من مواد صناعية قد تتآكل خلال فترات زمنية طويلة (شكل 1). وكتعقيد إضافي، لم تنشأ كل الآبار بإستخدام نفس التقنيات، وبالتالي تكون الآبار الجديدة أكثر أمنا من الآبار القديمة. على أية حال، إن خطر التسرب خلال الآبار متوقع أن يكون منخفض لأن يمكن مراقبة كل من الآبار الجديدة والقديمة بفعالية عالية بإستخدام الطرق الجيوكيميائية والجيوفيزيائية الحساسة، ولأن التقنية موجودة مسبقا في صناعة النفط لأي إجراء تصحيحي قد يكون ضروريا.
يكون التدفق على إمتداد الصدوع والتشققات الطبيعية التي يمكن أن توجد في صخور الغطاء أو الغطاء الفوقي* أكثر تعقدا لأننا نتعامل مع ظواهر مسطحة غير منتظمة ذات نفاذية متغيرة. سوف يتيح لنا الفهم العلمي والتقني الجيد لكل من الأنظمة الطبيعية المتسربة منها وغير المتسربة تصميم مشاريع لتخزين الـ CO_2 التي تملك نفس الخصائص الموجودة وبصورة طبيعية في المكامن الحابسة لـ CO_2 وغاز الميثان للآلاف إلى ملايين السنين.



شكل 1
الممرات المحتملة لـ CO_2 في بئر. التسرب عبر مواد متغيرة (ج، د، هـ) أو على إمتداد الحدود الفاصلة (أ، ب، و).

after Nordbotten et al. 2005

التماثلية الطبيعية: دروس مستفادة

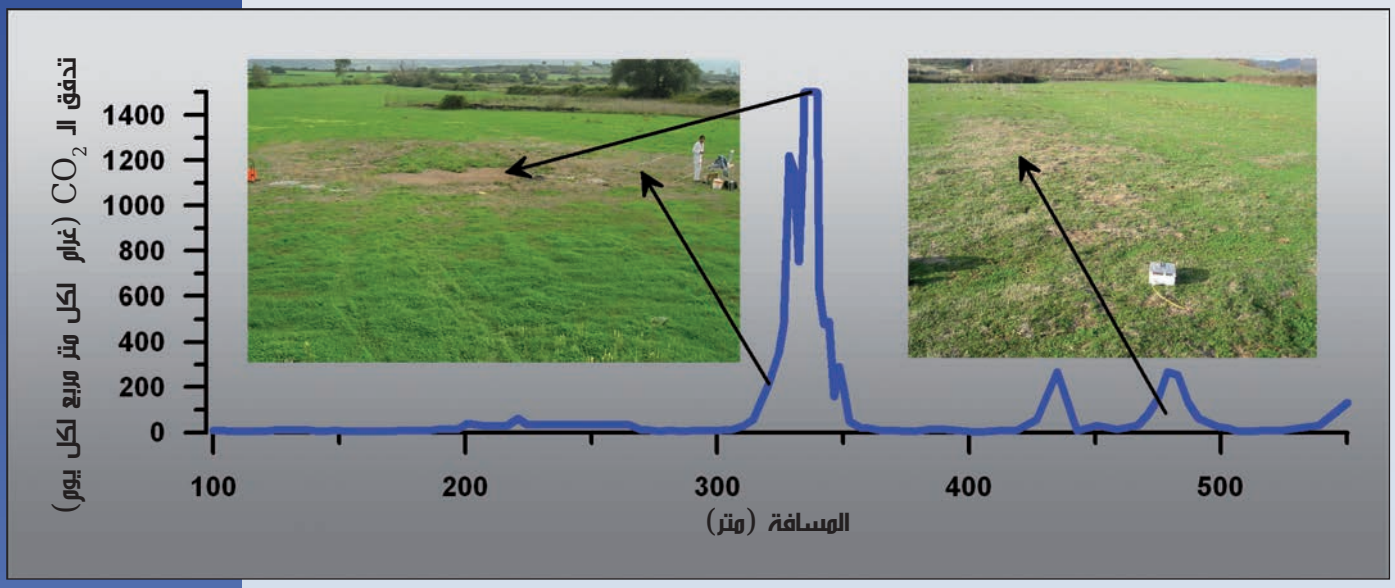
تعتبر الأنظمة الطبيعية (مايسمى "المتماثلة") مصادر قيمة لمعلومات تساعد في تحسين فهمنا للإنتقال العميق للغازات وللتبادل الطبيعي للغازات بين الأرض والغلاف الجوي. إن النتائج الرئيسية المستمدة من دراسة العديد من مكامن الغاز الطبيعية المتسربة منها وغير المتسربة هي:

. تحت ظروف جيولوجية مواتية، يمكن حبس الغاز المنتج طبيعيا لمئات آلاف إلى مئات ملايين السنين.
. توجد مكامن وجيوب الغاز المعزولة حتى في البيئات الجيولوجية الأقل مواتية (المناطق البركانية)
. يتطلب انتقال أية كمية كبيرة من الغاز من خلال عملية الحركة بإتجاه معين (أي التدفق بفعل الضغط) لأن الإنتشار الطبيعي عملية بطيئة جدا.
. لحدوث هذا النوع من حركة الغاز، لابد من أن تكون حالة السائل في المكمن قريبة من الضغط الصخري الستاتي * للمحافظة على الفوالق والتشققات مفتوحة أو لإنشاء ميكانيكيا ممرات جديدة.
. تقع المناطق التي يتسرب فيها الغاز الطبيعي إلى السطح، بشكل حصري تقريبا في المناطق البركانية والزلزالية كثيرة التشقق، من خلال مخارج الغاز على إمتداد صدوع نشطة أو نشطت مؤخرا.
. نادرا ما توجد تسربات غاز كبيرة وتميل إلى أن تكون منحصرة في مناطق بركانية وذات حرارة جوفية، شديدة التصدع، حيث ينتج الـ CO_2 بإستمرار من خلال العمليات الطبيعية.
. يحدث عادة تباين الغاز على السطح كنقاط موضعية لها تأثير موضعي محدود على البيئة القريبة من السطح.

لذا، هناك ضرورة للجمع بين عدد من الشروط المحددة قبل حدوث التسرب. وبالتالي، فإنه من المستبعد جدا بأن يحدث تسرب في موقع التخزين الجيولوجي لـ CO_2 الذي تم إختياره بعناية وبشكل هندسي متقن. وعلى الرغم من الإحتمالية الضئيلة للتسرب، يجب أن يتم جيدا فهم العمليات المرتبطة والتأثيرات المحتملة كي يتم إختيار وتصميم وتشغيل المواقع الأكثر أمنا للتخزين الجيولوجي لـ CO_2 .

التأثيرات على البشر

تتنفس الـ CO_2 في كل وقت. يعتبر الـ CO_2 خطرا على صحة الإنسان بتركيزات عالية جدا فقط، مع قيم تصل إلى 50,000 جزء في المليون (5 %) متسببة بالصداع والدوار والغثيان. يمكن لقيم أعلى من هذا المستوى أن تسبب الوفاة إذا تم التعرض لـ CO_2 لفترة طويلة، لاسيما في حالات



Sapienza URS ©

شكل 2
تأثير تسرب الـ CO_2 على الغطاء النباتي مع تدفق عالي (يسار) وتدفق منخفض (يمين). يقتصر التأثير على المنطقة التي يتسرب منها الـ CO_2 .

الإختناق حيث ينخفض تركيز الأكسجين في الهواء أقل من مستوى 16% المطلوب للحفاظ على حياة الإنسان. ومع ذلك، لو تسرب الـ CO_2 في منطقة مفتوحة أو مستوية، يصبح متفرق في الهواء بسرعة حتى مع هبوب رياح منخفضة. وبالتالي فإن المخاطر المحتملة على السكان مقتصر على التسرب داخل بيئات مغلقة أو منخفضات تضاريسية، حيث قد ترتفع تركيزات الـ CO_2 لأنه أعلى كثافة من الهواء ولأنه يميل للتراكم بالقرب من الأرض. من المفيد معرفة خصائص مناطق تفريغ الغازات للوقاية من المخاطر وإدارتها. في الواقع، يعيش الكثير من الناس في مناطق تتميز بإنبعاثات يومية من الغاز الطبيعي. على سبيل المثال، في مطار شيامبينو بإيطاليا، بالقرب من روما، تقع منازل على بعد 30 متر فقط من مخارج الغاز، حيث تصل معدلات تركيز الـ CO_2 في التربة إلى 90% ويطلق يوميا إلى الغلاف الجوي حوالي 7 أطنان من الـ CO_2 . يتجنب السكان المحليين المخاطر وذلك بإتباع الإحتياطات البسيطة، مثل عدم النوم في الطابق السفلي وإبقاء المنازل جيدة التهوية.

التأثيرات على البيئة

تختلف التأثيرات المحتملة على النظم البيئية تبعا لموقع التخزين، داخل البحر أو في البر.

في نظم البيئة البحرية، يتمثل التأثير الرئيسي لتسرب الـ CO_2 في خفض موضعي لدرجة الحموضة والتأثير المرتبط به، بشكل أساسي على الحيوانات التي تعيش في قاع البحر حيث لا يمكنها الإبتعاد عن مكان التسرب. ومع ذلك، فإن العواقب محدودة مكانيا وسريعا ما تخف حدة التسرب يظهر النظام البيئي علامات على الإنتعاش.
في نظم البيئة الأرضية، يمكن إجمالا تلخيص التأثيرات على نطاق واسع على النحو التالي:

الغطاء النباتي - على الرغم من إمكانية وصول تركيزات غاز الـ CO_2 في التربة إلى حوالي 20 30- % والتي قد تكون فعلا لصالح تسميد النباتات ولصالح زيادة معدل نمو بعض الأنواع، يمكن لقيم أعلى من هذا الحد أن تكون قاتلة لبعض النباتات ولكن ليس كل النباتات. يتركز هذا التأثير بشكل كبير حول مخارج الغاز، ومع ذلك، تبقى النباتات قوية وصحية على بعد أمتار قليلة فقط من هذه المخارج (شكل 2).

نوعية المياه الجوفية - يمكن تغيير التركيب الكيميائي للمياه الجوفية بإضافة الـ CO_2 ، حيث يصبح الماء أكثر حموضة ويمكن تحرير عناصر كيميائية من صخور الخزان المائي الجوفي ومعادنه. وإذا ما تسرب الـ CO_2 إلى المياه الصالحة للشرب في الخزان المائي الجوفي، ستظل التأثيرات موضعية وسوف يجري تقدير حجم التأثيرات من قبل الباحثين. ومن المثير للإهتمام، أن العديد من الخزانات المائية الجوفية في جميع أنحاء أوروبا غنية بـ CO_2 الطبيعي، وفي الواقع تعبأ المياه في زجاجات وتباع على أنها (مياه معدنية فوارة).

سلامة الصخور – يمكن لزيادة حموضة المياه الجوفية أن يؤدي إلى انحلال الصخور، انخفاض السلامة الهيكلية، وتكوين المجاري. ومع ذلك، يحدث هذا النوع من التأثير إلا تحت ظروف جيولوجية وهيدروجيولوجية محددة للغاية (كأن يكون خزان المياه الجوفية نشط بنيويا، خزانات مياه جوفية ذات معدل تدفق عالي، ذو معادن غنية بالكربونات)، التي ليس من المرجح أن تحدث فوق موقع صناعي للتخزين الجيولوجي.

وفي الختام، حيث أن تأثيرات أي تسرب إفتراضي لـ CO_2 يعتمد على الموقع بعينه، سوف تمكننا المعرفة الدقيقة للحالة الباطنية والبنيوية والجيولوجية، من تحديد الممرات المحتملة لإنتقال الغاز، وإختيار المواقع ذات أدنى احتمال تسرب CO_2، وتوقع سلوك الغاز وبالتالي تقييمه، ومنع أي تأثير مهم على الإنسان والنظام البيئي.

كيف يمكننا مراقبة موقع التخزين في الأعماق وعلى السطح؟

سيكون كل موقع تخزين لـ CO_2 بحاجة إلى المراقبة لأسباب تشغيلية، امنية، بيئية، إجتماعية وإقتصادية. يجب وضع إستراتيجية لتحديد ما الذي سوف يتم بالضبط مراقبته وكيف.

لماذا نحتاج المراقبة؟

سيكون أداء موقع المراقبة حاسما للتحقق من بلوغ الهدف الرئيسي للتخزين الجيولوجي لـ CO_2 ، ألا وهو عزل طويل الأجل لـ CO_2 الناتج عن النشاطات البشرية عن الغلاف الجوي. إن أسباب مراقبة مواقع التخزين كثيرة، بما في ذلك:

- **التشغيلية:** لمراقبة وتحسين عملية الحقن .
- **ما يتعلق بالسلامة والبيئة:** لتقليل أو لمنع أي تأثير على الناس والحياة البرية والأنظمة البيئية في المناطق القريبة من موقع التخزين، ولضمان تعديل تغير المناخ العالمي.
- **الإجتماعية:** تزويد العامة بالمعلومات اللازمة للتوعية بسلامة موقع التخزين وللمساعدة في كسب ثقة العامة.
- **المالية:** لبناء ثقة السوق في تقنية قبض الـ CO_2 وتخزينه وللتحقق من الكميات المخزنة من CO_2 بحيث يتم قيدها كـ " إنبعاثات مستبعدة " في المراحل المقبلة لخطة التبادل التجاري للإنبعاثات في الإتحاد الأوروبي.

تعتبر مراقبة كل من الحالة الأولية للبيئة (مايسمى "خط الأساس") والأداء اللاحق للموقع، شرط تنظيمي هام في توجيه الإتحاد الأوروبي لقبض الـ CO_2 وتخزينه، والتي نشرت على شكل مسودة في الثالث والعشرون من أبريل لعام 2009 م . يحتاج أن يكون المشغلون قادرين على إثبات أن أداء التخزين يطابق القوانين وسوف يواصلون القيام بذلك على الأجل الطويل. تعتبر المراقبة عنصر هام حيث أنها ستقلل من عدم دقة أداء الموقع، وبالتالي ينبغي ربطها وبقوة بأنشطة إدارة السلامة.

ماهي أهداف المراقبة؟

يمكن تركيز المراقبة على أهداف وعمليات مختلفة في أجزاء مختلفة من الموقع، مثل:

. تصوير الإنتشار العمودي – تتبع الـ CO_2 حال إبتعاده من نقطة الحقن. يقدم هذا معلومات أساسية لمعايرة النماذج التي تتنبأ التوزيع المستقبلي لـ CO_2 في الموقع. تتاح كثير من التقنيات المعروفة، ومن أبرزها المسوحات الزلزالية المتكررة، والتي تم تطبيقها بنجاح في عدد من المشاريع الإيضاحية والرائدة (شكل 1).

. سلامة صخور الغطاء – ضرورية لتقييم إذا ما كان الـ CO_2 معزولا ضمن مكمن التخزين ولتمكين الإنذار المبكر لأي إنتقال تصاعدي غير متوقع لـ CO_2. وهذا يمكن أن يكون ذا أهمية خاصة أثناء مرحلة الحقن في المشروع، حيث تتزايد ضغوطات المكمن بشكل ملحوظ، ولكن بشكل مؤقتا.

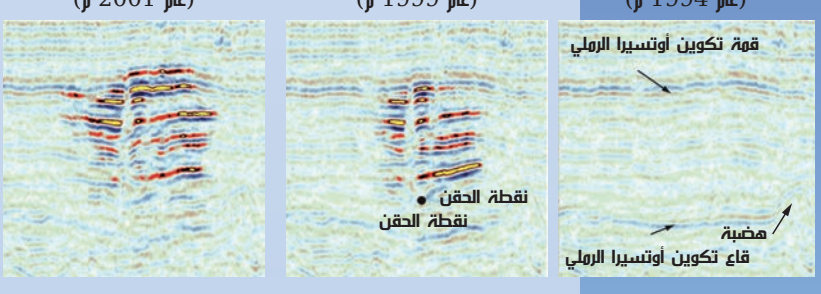
. سلامة البئر – تعتبر هذه مسألة مهمة حيث يمكن أن توفر آبار العميقة مسار مباشر لإنتقال الـ CO_2 إلى السطح. يجب مراقبة آبار حقن الـ CO_2 بالإضافة لأية آبار الملاحظة أو الآبار السابقة المهجورة بعناية خلال مرحلة الحقن وما بعدها لمنع التسرب المفاجئ لـ CO_2 . تستخدم المراقبة أيضا للتحقق من أنه تم إغلاق كل الآبار بكفاءة عند عدم الحاجة لها. يمكن تثبيت أنظمة المراقبة الجيوفزيائية والجيوكيميائية الموجودة، والتي تعتبر من التطبيقات المعتادة في صناعة النفط والغاز، داخل أو على الآبار لتقديم الإنذار المبكر ولضمان السلامة.

. الإنتقال في الطبقات العليا. في مواقع التخزين حيث تتصف طبقات صخرية ضحلة إضافية بخصائص مشابهة لتلك في صخور الغطاء، قد تشكل الطبقات العليا عنصرا أساسيا في تقليل مخاطر تسرب الـ CO_2 إلى البحر أو الجو. إذا ما بينت عملية المراقبة في المكمن أو لما حول صخور الغطاء إنتقال غير متوقع من خلال صخور الغطاء، سيكون من الضروري مراقبة الطبقات العليا. وللمراقبة داخل الطبقات العليا يمكن إستخدام العديد من التقنيات المستخدمة في تصوير الإنتشار العمودي أو مراقبة سلامة صخور الغطاء.

. كشف وقياس التسرب السطحي وعن الغلاف الجوي . لضمان أن الـ CO_2 المحقون لم ينتقل إلى السطح، تتوفر مجموعة من التقنيات الجيوكيميائية والكيميائية الحيوية والإستشعار عن بعد لتحديد موقع التسرب ولتقييم ومراقبة توزيع الـ CO_2 في التربة وتركيزها في الغلاف الجوي أو البيئة البحرية.

. كمية الـ CO_2 المخزنة لأغراض تنظيمية ومالية. على الرغم من أنه يمكن قياس كمية الـ CO_2 المحقون بسهولة عند رأس البئر، يعتبر التحديد الكمي في المكمن صعبا للغاية من الناحية التقنية. إذا ما حدث التسرب للطبقات القريبة من السطح، سيتعين تحديد الكميات المتسربة لأغراض حسابية ضمن السجلات الوطنية لغازات الاحتباس الحراري والخطط المستقبلية لخطة التبادل التجاري للإنبعاثات.

. الحركات الأرضية والزلزالية الدقيقة *. يمكن لضغط المكمن المتزايد بسبب حقن الـ CO_2، وفي حالات محددة، أن يزيد من إحتمالية الزلزالية الدقيقة والحركات الأرضية ذات نطاق صغير.



شكل 1
التصوير الزلزالي لمراقبة إنتشار * الـ CO_2 في التجارب الرائدة لما قبل الحقن في مكمن سليبنر (والتي بدأت في عام 1996 م) ولتجارب ما بعد الحقن (على التوالي، بعد 3 سنوات و 5 سنوات اللاحقة للحقن).

StatoilHydro ©

تتاح تقنيات مراقبة الزلزالية الدقيقة وطرق المراقبة عن بعد (المسوحات من الطائرات والأقمار الصناعية) القادرة أيضا على قياس التشوهات الأرضية الدقيقة.

كيف تتم المراقبة؟

تطبق فعلا مجموعة واسعة من تقنيات المراقبة في المشاريع الإيضاحية والبحثية. تتضمن هذه المجموعة طرق مباشرة لمراقبة الـ CO_2، وطرق غير مباشرة تقيس تاثيراته على الصخور والسوائل والبيئة. تتضمن القياسات المباشرة تحليل السوائل من الآبار العميقة، أو قياس التربة أو الغلاف الجوي. تتضمن الطرق غير المباشرة المسوحات الجيوفيزيائية، ومراقبة تغيرات الضغط في الآبار أو تغيرات درجة الحموضة في المياه الجوفية.

سوف تكون هناك حاجة لمراقبة مواقع التخزين سواء كانت في البحر أو البر. تعتمد عملية إختيار تقنيات المراقبة الملائمة على الخصائص التقنية والجيولوجية للموقع وعلى أهداف المراقبة. هناك مجموعة واسعة من تقنيات المراقبة متاحة مسبقا (شكل 3)، العديد منها راسخة في مجال صناعات النفط والغاز، يجري تكييف هذه التقنيات لسياق الـ CO_2. البحوث في مجال تحسين الطرق المتاحة أو تطوير تقنيات مبتكرة هي أيضا مستمرة بهدف تحسين مدى الدقة والثقة، وتخفيض التكاليف والتشغيل الآلي وإثبات الفعالية.

استراتيجية المراقبة

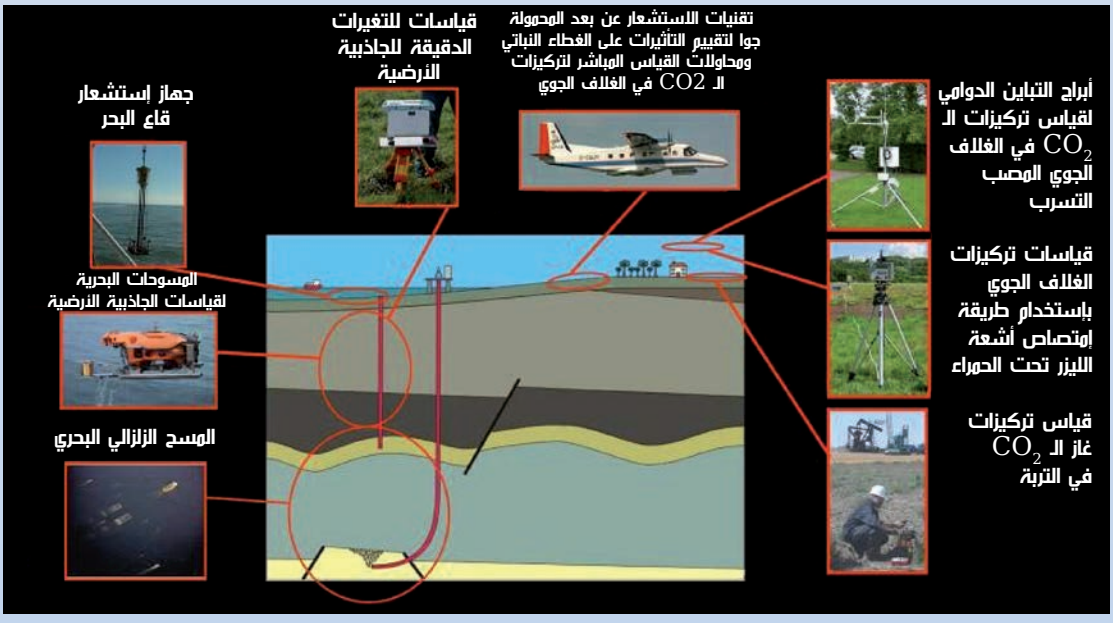
عند تصميم استراتيجية المراقبة، يجب إتخاذ العديد من القرارات التي تعتمد على ظروف هندسية وجيولوجية خاصة بكل موقع على حدى،

© CO_2 GeoNet

شكل 2
عوامة المراقبة بإستخدام ألواح شمسية للتزود بالطاقة، عوامات وجهاز لأخذ عينات الغاز من قاع البحر.

مثل أبعاد المكمن والعمق، والإنتشار المتوقع لـ CO_2، ممرات للتسرب المحتمل، جيولوجية الطبقات العليا، وقت الحقن ومعدل التدفق، وخصائص السطح، مثل التضاريس، الكثافة السكانية، البنية التحتية والأنظمة البيئية بمجرد أن يتم إتخاذ القرارات بخصوص أنسب تقنيات القياس والمواقع، يجب إجراء دراسات أساسية قبل عمليات الحقن لتكون بمثابة مرجع لكل القياسات المستقبلية. وأخيرا، يجب على كل برنامج للمراقبة أن يكون مرنا بحيث يمكن أن يتطور كتطور مشروع التخزين نفسه. سوف تشكل استراتيجية المراقبة القادرة على دمج كل هذه المواضيع، بينما في نفس الوقت يتم تطوير فعالية التكاليف، عنصر حاسم في تحليل المخاطر والتحقق من سلامة الموقع وكفاءته.

وفي الختام، نعلم أن مراقبة موقع تخزين الـ CO_2 ممكنة بالفعل من خلال إستخدام العديد من التقنيات المتوفرة في الأسواق أو تلك التي هي قيد التطوير. البحوث الجارية حاليا، ليست فقط لتطوير أدوات جديدة (خصوصا لإستخدامات قاع البحر)، ولكن أيضا لتحسين أداء المراقبة و تخفيض التكاليف.



© CO_2 GeoNet

شكل 3
مجموعة صغيرة مختارة توضح نطاق التقنيات المتاحة لمراقبة مختلف عناصر نظام تخزين الـ CO_2.

ما هي معايير السلامة الواجب فرضها وإحترامها ؟

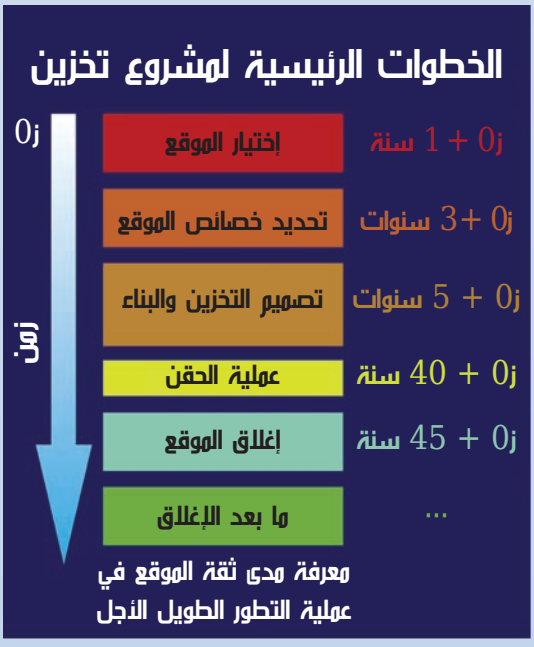
لضمان أمن التخزين وكفاءته، يجب فرض شـروط لتصميم المشـروع ولتشغيله من قبل السلطات التنظيمية ويجب إحترامها من قبل المشغلين.

على الرغم من أن التخزين الجيولوجي لـ CO_2 مقبول الآن على نطاق واسع بإعتباره أحد الخيارات الموثوقة للتخفيف من تغير المناخ، يمكن نشر معايير السلامة المتعلقة بصحة الإنسان والبيئة المحلية على نطاق واسع قبل تعميم العمليات على النطاق الصناعي. يمكن تحديد مثل هذه المعايير كمتطلبات مفروضة على المشغلين من قبل السلطات التنظيمية لضمان أن تأثيرات عملية تخزين الـ CO_2 على الصحة المحلية ،السلامة والبيئة (بما في ذلك موارد المياه الجوفية) تكاد لا تذكر في الأجل القصير ،المتوسط والطويل.

تعتبر مسألة ديمومية التخزين الجيولوجي لـ CO_2 أحد أهم المواضيع في هذه العملية، وبالتالي لا يتوقع حدوث تسرب في مواقع التخزين. ومع ذلك، فإن سيناريو " ماذا لو؟ " يعنى أنه يجب تقييم المخاطر ويجب على المشغلين إحترام التدابير التي تمنع أي تسرب أو سلوك مغاير لما ينبغي أن تكون عليه المواقع. وفقا لـIPCC، يجب أن يظل الـCO_2 المحقون في باطن الأرض لمدة لا تقل عن 1000 سنة، الأمر الذي يسمح استقرار تركيزات الـ CO_2 في الغلاف الجوي أو إنخفاضها عن طريق التبادل الطبيعي مع مياه المحيط، وبالتالي تقليل إرتفاع درجة حرارة السطح بسبب الإحترار العالمي. ومع ذلك، يجب تقييم التأثيرات المحلية على مقياس زمني يتراوح من عدة أيام إلى عدة آلاف من السنين.

يمكن تحديد عدة خطوات رئيسية خلال فترات عمر مشروع تخزين الـ CO_2 (شكل 1). وسوف يتم ضمان السلامة من خلال:

. إختيار الموقع وتحديد خصائصه بعناية.
. تقييم السلامة
. التشغيل الصحيح
. خطة ملائمة للمراقبة
. خطة ملائمة للإصلاح



شكل 1
الخطوات المختلفة لمشروع تخزين.

تكون الأهداف المرتبطة الحاسمة ل:

. ضمان بقاء الـ CO_2 في المكمن
. المحافظة على سلامة البئر
. الحفاظ على الخصائص الطبيعية للمكمن (بما في ذلك المسامية، النفاذية، القابلية للحقن)، والخاصية الغير منفذة لصخور الغطاء
. الأخذ بعين الإعتبار تكوين تيار لـ CO_2، مع إعطاء إهتمام خاص لأي شوائب لم يتم ازالها خلال عملية القبض . ويعتبر هذا مهما لتجنب أي تفاعل سلبي مع البئر والمكمن وصخور الغطاء، و في حالة تسرب المياه الجوفية الموجودة فوق المكمن .

معايير السلامة الخاصة بتصميم المشروع

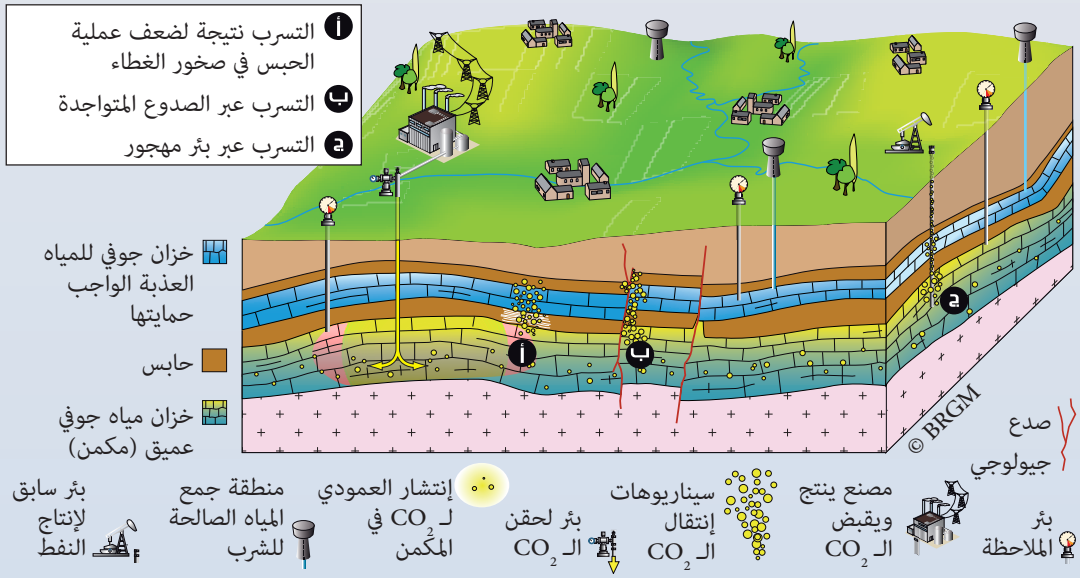
لابد من إثبات السلامة قبل بدء العمليات.

وفيما يتعلق بـإختيار الموقع، فإن العناصر الرئيسية التي يجب دراستها هي على النحو التالي:

. صخور المكمن والغطاء
. الطبقات العليا وخاصة الطبقات الغير منفذة التي قد تكون بمثابة طبقات عازلة ثانوية
. وجود صدوع منفذة أو آبار قد يكون بمثابة ممرات إلى السطح
. الخزانات الجوفية الحاملة لمياه صالحة للشرب
. المعوقات السكانية والبيئية على السطح

تستخدم تقنيات إستكشاف النفط والغاز لتقييم جيولوجية وهندسية موقع التخزين. يتيح تدفق السوائل والنمذجة الكيميائية والجيوميكانيكية لـ CO_2 داخل المكمن توقع سلوك الـ CO_2 وتوقع المخرجات طويلة الأجل، كما يتيح تعريف المعاملات من أجل حقن فعال. وكنتيجة لذلك، ينبغي التعريف الطبيعي لسيناريو سلوك التخزين من خلال التحديد المتقن لخصائص الموقع، والمطابق للموقع المناسب للتخزين حيث نكون واثقين بأن يبقى الـ CO_2 في المكمن. يحتاج حينها تقييم المخاطر للنظر في سيناريوهات أقل قبولا لحالات التخزين المستقبلية، بما في ذلك حدوث أحداث غير متوقعة. فعلى وجه الخصوص، من المهم تصور الممرات المحتملة للترسب، التعرض والتأثيرات (شكل 2). يجب تحليل كل سيناريو تسرب من قبل الخبراء، وتطبيق النمذجة الرقمية حيثما أمكن، من أجل تقييم إحتمالية حدوث التسرب وشدته المحتملة. كمثال على ذلك، ينبغي عمل خرائط لمدى تطور إنتشار الـ CO_2 بعناية للكشف عن أي صلة بمنطقة متصدعة. ينبغي وبعناية تقييم الحساسية للتغيرات في معاملات الإدخال وعدم اليقين في عملية تقييم المخاطر. وينبغي التطرق إلى موضوع تقدير التأثيرات المحتملة لـ CO_2 على الناس وعلى البيئة من خلال دراسات تقييم التأثيرات، والتي هي الممارسة المعتادة في اي عملية الترخيص للمنشأة الصناعية. في هذه العملية، سيتم فحص كل من السيناريو الطبيعي وسيناريو التسرب لتقييم أية مخاطر محتملة مرتبطة بالمنشأة.

يجب إنشاء برنامج المراقبة، من قصيرة إلى طويلة الأجل، وفقا لتحليل



شكل 2
مثال لسيناريوهات التسربات المحتملة.

تقييم المخاطر وينبغي مراقبة المعاملات الحاسمة المعرفة ضمن سيناريوهات مختلفة. ومن أهدافه الرئيسية تصوير إنتقال إنتشار الـ CO_2، والتأكد من سلامة البئر وصخور الغطاء، والكشف عن أي تسرب لـ CO_2، وتقييم نوعية المياه الجوفية، وضمان عدم وصل الـ CO_2 إلى سطح الأرض. تعتبر خطة الإصلاح والتخفيف من التأثيرات العنصر الأخير من تقييم السلامة ويهدف إلى تفصيل لائحة الإجراءات التصحيحية التي سيتم تطبيقها في حالة وجود تسرب أو سلوك شاذة. وتشتمل على سلامة صخور الغطاء و إخفاق البئر، خلال فترات الحقن وما بعدها وتأخذ في عين الإعتبار أقصى حلول الإصلاح، مثل عكس عملية التخزين (التفريغ). تتضمن المعرفة الحالية على تقنيات النفط والغاز القياسية، مثل استكمال صيانة الآبار، تقليل ضغط الحقن، السحب الجزئي او الكلي للغاز، استخراج الماء لتخفيف الضغط، إستخراج الغاز السطحي، إلخ.

معايير السلامة خلال التشغيل وما بعد الإغلاق

يرتبط إهتمام السلامة الرئيسي بالمرحلة التشغيلية: بعد توقف الحقن، سوف يجعل إنخفاض الضغط الموقع أكثر أمنا.

تعتمد الثقة في مقدرة حقن وتخزين الـ CO_2 بطريقة آمنة على خبرة الشركات الصناعية. إن الـ CO_2 منتج شائع يستخدم إلى حد كبير في مختلف الصناعات، لذا لا يثير استعمال هذه المادة أية مشاكل جديدة. يستند تصميم و مراقبة العمليات أساسا على خبرة صناعة النفط والغاز، ولاسيما التخزين الموسمي للغاز الطبيعي أو الإسترداد المحسن للنفط (EOR). إن المعاملات الرئيسية التي يتعين مراقبتها هي:

. ضغط الحقن ومعدل التدفق – يجب المحافظة على مقدار ضغط الحقن الذي يكون أقل من مقدار ضغط التشقق، أي أن مقدار الضغط الذي إذا زاد عليه نتج عنه تشققات ضمن صخور الغطاء؛

. الكمية المحقونة، لتلبية التوقعات التي حددتها النمذجة؛

. تركيبة تيار الـ CO_2 المحقون؛

. سلامة حقول الحقن وأي بئر يقع ضمن أو بالقرب من إمتداد إنتشار الـ CO_2؛

. إمتداد إنتشار الـ CO_2 والكشف عن أي تسرب؛

. إستقرار أرضية الموقع.

أثناء الحقن، ينبغي تكرار مقارنة السلوك الفعلي لـ CO_2 المحقون بالسلوك المشار إليه في التوقعات. هذا يطور بإستمرار معرفتنا بالموقع. إذا تم الكشف عن أي سلوك شاذة، ينبغي تحديث برنامج المراقبة واتخاذ اجراءات تصحيحية إذا لزم الأمر. في حالة الإشتباه بالتسرب، يمكن أن تركز أدوات المراقبة الملائمة على منطقة معينة لموقع التخزين، ما بين المكمن و سطح الارض. ومن شأن كشف تصاعد الـ CO_2، وعلاوة على ذلك، الكشف عن أي تاثير سلبي يمكن أن يكون ضارا للمياه الجوفية الصالحة للشرب و البيئة، وفي نهاية المطاف، البشر.

عند إكتمال الحقن، تبدأ مرحلة الإغلاق: حيث يجب إغلاق الآبار وهجرها بشكل صحيح، ويجب تحديث النمذجة وبرنامج المراقبة، وإذا لزم الأمر يجب إتخاذ التدابير التصحيحية لتقليل المخاطر. وفي حال إعتبار أن مستوى المخاطر منخفض، يتم تحويل مسؤولية التخزين إلى السلطات المحلية ويمكن وقف خطة المراقبة أو خفض مستواها.

يؤسس التوجيه الأوروبي إطارا قانونيا لضمان قبض الـ CO_2 وتخزينه خيارا متاحا للتعديل، والذي يمكن أن يتم بطريقة آمنة ومسؤولة.

وفي الختام، تعتبر معايير السلامة ضرورية لنشر ناجح لتخزين الـ CO_2 الصناعي. كما يجب أن تتكيف مع كل موقع تخزين محدد. تكون هذه المعايير أهمية خاصة بالنسبة لقبول الجمهور، وسوف تكون أساسية في عملية الترخيص التي يجب على الهيئات التنظيمية أن تقرر مستوى التفصيل لمتطلبات السلامة.

المصطلحات

الإسترداد المحسن للنفط (EOR) : تقنية تحسن إنتاج النفط من خلال حقن السوائل (مثل البخار أو الـCO_2) والتي تساعد في تحريك النفط في المكمن.

إنتشارعمودي لـ CO_2 : توزيع مكاني لـ CO_2 فوق الحرج ضمن الوحدات الصخرية.

البئر : حفرة دائرية نتيجة للحفر، وخاصة إذا كانت حفرة عميقة ذات قطر صغير، مثل بئر النفط.

التماثلية الطبيعية : مكامن الـ CO_2 ذات الأصل الطبيعي. تتواجد كلا من المواقع المتسربة وغير المتسربة، ويمكن من خلال دراستها تحسين فهمنا لمصير طويل الأجل لـ CO_2 في الأنظمة الجيولوجية العميقة.

الحموضة : مقياس حموضة المحلول، حيث تطابق درجة الحموضة 7 مع درجة الحياد.

خزان المياه الجوفية : جسم صخري منفذ يحتوى على المياه. تحتوي معظم خزانات الطبقات السطحية الحاملة للمياه الجوفية على مياه عذبة صالحة للشرب تستخدم للإستهلاك البشري. وتمتلئ تلك الخزانات التي في أعماق أكبر بمياه مالحة غير صالحة لأية إحتياجات بشرية. تدعى هذه بخزانات المياه الجوفية المالحة.

الزلزالية الدقيقة : هزة خفيفة أو إهتزاز في القشرة الأرضية، لا علاقة لها بالزلازل، والتي يمكن أن تسببها مجموعة من عوامل طبيعية وصناعية.

السعة الجيولوجية (Geocapacity) للإتحاد الأوروبي : مشروع بحث أوروبي مكتمل الذي قيم السعة التخزينية الجيولوجية الكلية الموجودة في أوروبا لإنبعاثات الـ CO_2 بشرية المنشأ.

سهولة الحقن : تمييز السهولة التي يمكن بها حقن السائل في التكوين الجيولوجي. وتعرف بمعدل الحقن مقسومة على فرق الضغط بين الضغط عند نقطة الحقن في قاعدة البئر و الضغط في التكوين.

صخور الغطاء : طبقات صخرية غير منفذة تعمل كحاجز لحركة السوائل والغازات والتي تشكل مصيدة عندما تعلو مكمنا.

الضغط الصخري الستاتي : القوة المبذولة على الصخر تحت سطح الأرض الناتجة عن الصخور العلوية. يتزايد الضغط الصخري الستاتي مع تزايد العمق.

الغطاء الفوقي : الطبقات الجيولوجية الواقعة بين طبقات غطاء المكمن وسطح الأرض (أو قاع البحر).

فوق الحرجة : حالة السائل تحت ضغوط ودرجات حرارة فوق القيم الحرجة (31.03 درجة مئوية و 7.38 ميغا باسكال لـ CO_2). تكون خواص مثل هذه السوائل متغيرة بإستمرار، من حالة شبيه بالغاز تحت ضغط منخفض إلى حالة شبيه بالسائل تحت ضغط مرتفع.

االمياه المالحة : مياه شديدة الملوحة، أي تحتوي على تركيز عالي من الأملاح المذابة.

المسامية : نسبة الحجم الظاهري من الصخر، التي لا تحتوي على معادن. تسمى الثغرات بالمسامات ويمكن ملؤها بسوائل مختلفة، ويكون هذا السائل عادة في الصخور العميقة على هيئة ماء مالح ولكن يمكن أيضا أن يكون على هيئة نفط أو غاز مثل الميثان، أو يكون أيضا على هئية CO_2 الطبيعي.

المكمن: جسم صخري أو رواسب ذات مسامية ونفاذية يمكنها إحتواء وتخزين الـCO_2. تعتبر الصخور الرملية والجيرية من صخور المكمن الأكثر شيوعا.

النفاذية : خاصية أو قدرة الصخور المسامية أن تسمح إحالة السائل، وتعتبر مقياس لسهولة التدفق النسبي للسائل تحت تدرج الضغط.

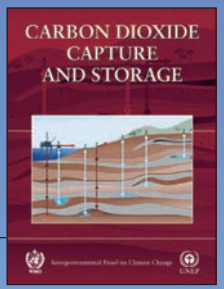
CCS - قبض وتخزين CO_2.

CSLF – منتدى قيادة حجز الكربون : وهي عبارة عن مبادرة عالمية لتغيير المناخ والتي هي مركزة على تطوير التقنيات المحسنة وذات الكلفة الفعالة لفصل، قبض ونقل الـCO_2 والتخزين الآمن الطويل الأجل.

GESTCO : مشروع بحث أوروبي مكتمل حيث قيم إمكانيات التخزين الجيولوجي لـ CO_2 في ثمان دول (النرويج، الدنمارك، المملكة المتحدة، بلجيكا، هولندا، المانيا، فرنسا واليونان)

IEAGHG : الوكالة الدولية للطاقة – برنامج البحث والتطوير لغازات الإحتباس الحراري . وهو تعاون دولي يهدف إلى : تقييم تقنيات لخفض إنبعاثات غازات الإحتباس الحراري، ونشر نتائج هذه الدراسات، وتحديد أهداف البحوث، وتطوير العمل الملائم، بيانه العملي وتعزيزه.

IPCC : الفريق الحكومي الدولي المعنى بتغير المناخ. أنشئت هذه المنظمة عام 1988 م من قبل WMO (منظمة الأرصاد الجوية العالمية) و UNEP (برنامج الأمم المتحدة للبيئة) لتقييم المعلومات العلمية والتقنية والإجتماعية الإقتصادية ذات الصلة لفهم تغير المناخ، ولتقييم تأثيراتها المحتملة والخيارات للتكيف والتعديل. حصلت لجنة IPCC على جائزة نوبل للسلام مناصفة مع نائب الرئيس الأمريكي السابق آل غور لعام 2007 م.



تقرير الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ (IPCC) الخاص عن قبض الـ CO_2 وتخزينه :
http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf

موقع صفحة اللجنةالأوروبية على الإنترنت الخاصة بقبض الـ CO_2 وتخزينه :
/http://ec.europa.eu/environment/climat/ccs

(IEAGHG) موقع صفحة أدوات المراقبة ببرنامج البحث والتطوير لغازات الإحتباس الحراري بالوكالة الدولية للطاقة :
http://www.co2captureandstorage.info/co2tool_v2.1beta/introduction.html

ما هو CO_2GeoNet ؟

CO_2GeoNet هو المجتمع الأوروبي العلمي الذي يمكن أن يتحول للحصول على معلومات واضحة وكاملة حول التخزين الجيولوجي لـ CO_2 ، تكنولوجيا مبتكرة وحيوية للتخفيف من تغير المناخ. شرع CO_2GeoNet من قبل اللجنةالأوروبية كشبكة للتميز في إطار برنامج الإطار 6 (العقد 2004 EC FP6 - 2009). انه يجمع 13 معهدا من 7 دول أوروبية، الكل مع دولية عالية وكتلة حرجة من حيث البحوث في التخزين الجيولوجي لـ CO_2. في عام 2008، سجل CO_2GeoNet كجمعية t غير ربحية بموجب القانون الفرنسي، من أجل مواصلة أنشطته بعد انتهاء دعم اللجنةالأوروبية.

CO_2GeoNet له خبرة واسعة في مشاريع بحثية تتناول ما يلي : المكمن ، صخور غطاء ، والممرات المحتملة لهجرة CO_2 إلى سطح الأرض، وأدوات المراقبة ، والتأثيرات المحتملة على البشر و الأنظمة الإيكولوجية ، والتصور العام والاتصالات. يقدم CO_2GeoNet خدمات متنوعة في أربعة مجالات رئيسية هي: 1) بحوث مشتركة؛ 2) التدريب وبناء القدرات؛ 3) تقديم نصيحة علمية؛ 4) المعلومات والاتصالات.

اكتسب CO_2GeoNet تدريجيا قوة و اصبح مرجعية علمية وسلطة دائمة في أوروبا ، قادرة على توفير الدعم العلمي اللازم لنشر واسع النطاق وآمن للتخزين الجيولوجي لـ CO_2. التوسع في هذا المجتمع لإعطاء البلدان الأوروبية التغطية مستمر من خلال مشروع أوروبا للتخز ين FP7 (2010 - 2013). الجيولوجي لـ CO_2 ، فعل للتنسيق الذي يمولها الاتحاد الأوروبي يجمع التخزين الجيولوجي لـ CO_2 الاوروبي النواة الصلبة لـ CO_2GeoNet و 21 معاهد اخرى للبحوث ، وبذلك تغطي 28 دولة أوروبية (24 دولة عضوا و 4 بلدان منتسبة إليه). نتيجة لذلك، تجمع عدة مئات من العلماء متاح، وقادر على التعامل مع جميع مظاهر التخزين الجيولوجي لـ CO_2 من خلال التكامل المتعدد التخصصات. هدفنا هو تزويد أصحاب المصلحة والجمهور بمعلومات علمية صحيحة و مستقلة على تخزين الجيولوجي لـ CO_2.

اكتسب CO_2GeoNet اعترافا واسع النطاق على الساحة الأوروبية والدولية

أقرت CO_2GeoNet من قبل المنتدى القيادي لاحتجاز الكربون (CSLF)

تتعاون CO_2GeoNet بشكل وثيق مع برنامج غازات الاحتباس الحراري التابع للوكالة الدولية للطاقة (IEAGHG)

CO_2GeoNet : شبكة التميز الأوروبية في التخزين الجيولوجي لـ CO_2

BGR (ألمانيا) ؛ BGS (المملكة المتحدة) ؛ BRGM (فرنسا) ؛ GEUS (الدانمرك) ؛ HWU (المملكة المتحدة) ؛ IFPEN (فرنسا) ؛ IMPERIAL (المملكة المتحدة)؛ NIVA (النرويج) ؛ OGS (إيطاليا) ؛ IRIS (النرويج) ؛ SPR SINTEF (النرويج) ؛ TNO (هولندا) ؛ URS (ايطاليا)

التخزين الجيولوجي لـ CO_2 : تنسيق العمل الأوروبي للتخزين الجيولوجي لـ CO_2

CO_2GeoNet (13 عضوا المذكورة أعلاه)

CzGS (الجمهورية التشيكية) ؛ GBA (النمسا) ؛ GEOECOMAR (رومانيا) ؛

GEO - INZ (سلوفينيا) ؛ G - IGME (اليونان) ؛ GSI (ايرلندا) ، GTC (ليتوانيا) ؛

GTK (فنلندا) ؛ LEGMC (لاتفيا) ؛ ELGI (هنغاريا) ؛ LNEG (البرتغال) ؛

METU - PAL (تركيا) ؛ PGI - NRI (بولندا) ؛ RBINS - GSB (بلجيكا) ؛

SGU (السويد) ؛ SGUDS (سلوفاكيا) ؛ S - IGME (اسبانيا) ، SU (بلغاريا) ؛

TTUGI (استونيا) ؛ UB (صربيا)؛ RGNF UNIZG - (كرواتيا)

الكتيب الخلفية

من أجل رفع مستوى الوعي العام للتخزين الجيولوجي لـ CO_2 ; تناول CO_2GeoNet مسألة شاملة «ماذا يعنى حقا التخزين الجيولوجي لـ CO_2 ؟» وقام فريق من العلماء البارزين من CO_2GeoNet على استعداد حالة فن أجوبة لستة أسئلة ذات صلة، استنادا إلى البحوث والخبرة في جميع أنحاء العالم. كان الهدف هو تقديم معلومات علمية واضحة وغير منحازة لجمهور واسع، وتشجيع الحوار حول المسائل الأساسية المتعلقة بالجوانب التقنية للتخزين الجيولوجي لـ CO_2 . قدم هذا العمل، الملخص في هذا الكتيب ، خلال ورشة عمل للتدريب والحوار الذي عقد في باريس في 3 أكتوبر 2007

« ماذا يعنى حقا التخزين الجيولوجي لـ CO_2 ؟» يمكن تحميلها في العديد من اللغات في : www.CO_2GeoNet.com/brochure

CO_2GeoNet

شبكة التميز الأوروبية في التخزين الجيولوجي لـ CO_2

www. CO2GeoNet .eu

الأمانة : info@ CO2GeoNet .com

BGS مجلس بحوث البيئة الطبيعية - هيئة المساحة الجيولوجية البريطانية، **BGR** المعهد الإتحادي لعلوم الأرض والمصادر الطبيعية، **BRGM** مكتب البحوث الجيولوجية والتعدين، **GEUS** هيئة المسـاحة الجيولوجية للدنمارك وجرينلاند، جامعة هيروت-وات، **IMPERIAL**، **IFPEN IFP Energies nouvelles** كلية إمبريال للعلوم والتقنية والطب، **NIVA** المعهد النرويجي لبحوث المياه، **OGS** المعهد القومي لعلوم البحار والجيوفيزياء التجريبية، **IRIS** معهد ستافنجر للبحوث العلمية، **SPR SINTEF** مؤسسة البحوث العلمية والصناعية، **TNO** المنظمة الهولندية للبحوث العلمية التطبيقية، **URS** جامعة سابينزا (إدارة روما) .علوم الأرض

2012 - BL Communication - التصميم الجرافيكي