

**LES RÉGIONS DE NICOLET ET DE
VILLEROY: ÉTAT DES CONNAISSANCES
POUR LE STOCKAGE GÉOLOGIQUE DU
CO₂**

INRSCO2-2012-V1.3

Rapport de recherche R-1332

Mars 2012



SÉQUESTRATION GÉOLOGIQUE DU CO₂
CHAIRE DE RECHERCHE



INRS

**Les régions de Nicolet et de Villeroy: état des connaissances
pour le stockage géologique du CO₂**

RAPPORT
INRSCO2-2012-V1.3

Par

**Félix-Antoine Comeau
Karine Bédard
Michel Malo**

Soumis au Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

Mars 2012 – Québec

R-1332

Institut national de la recherche scientifique – Centre Eau Terre Environnement, 490 de la Couronne, Québec, Qc,
G1K 9A9

Téléphone : (418) 654-2535 ; Télécopieur : (418) 654-2600 ; Site internet : chaireco2.ete.inrs.ca



TABLE DES MATIÈRES

PRÉAMBULE	4
SOMMAIRE	5
1. INTRODUCTION	6
1.1. Le stockage géologique du CO ₂ (gaz carbonique ou dioxyde de carbone)	6
1.2. Les aquifères salins	6
1.3. Le choix des sites de Nicolet et de Villeroy	8
1.3.1. À l'intérieur du bassin sédimentaire le plus prometteur	8
1.3.2. Profondeur minimale adéquate des couches réservoir et couverture	11
1.3.3. Proximité des grands émetteurs de CO ₂	12
1.3.4. Densité élevée de données géoscientifiques disponibles	12
1.4. Contexte géologique	14
2. ÉVALUATION DES SITES DE NICOLET ET DE VILLEROY	18
2.1. Localisation et accessibilité	18
2.2. Données disponibles	18
2.2.1. Inventaire des puits	18
2.2.2. Inventaire des carottes	20
2.2.3. Inventaire des diagraphies	20
2.2.4. Inventaire des profils sismiques	21
2.2.5. Le gradient géothermique	26
2.2.6. Porosité et perméabilité	27
2.2.7. Roche-couverture	28
2.3. Corrélation stratigraphiques des puits	29
3. CONCLUSION	32
RÉFÉRENCES	33
ANNEXE 1	35
ANNEXE 2	47

Préambule

Le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) a octroyé une subvention à l'INRS-ETE pour mettre en place une chaire de recherche sur la séquestration géologique du CO₂ au Québec. Le décret n° 714-2008 approuvant l'octroi a été adopté le 25 juin 2008. La subvention d'une durée de cinq ans (exercices financiers 2008-2009 à 2012-2013) provient du Fonds vert. La création de la chaire s'inscrit dans l'action 20 du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques intitulé « Le Québec et les changements climatiques, un défi pour l'avenir ».

Les travaux de la chaire permettront d'explorer les principales options de séquestration géologique du CO₂ au Québec. Les objectifs principaux sont d'évaluer la capacité de stockage du CO₂ au Québec, de tester quelques sites pour leur potentiel de rétention du CO₂ après injection, et de former une expertise au Québec dans le domaine de la technologie du captage et de la séquestration du CO₂ (CSC). Les objectifs secondaires pour arriver à répondre aux objectifs principaux sont de: 1) faire l'inventaire des réservoirs géologiques potentiels au Québec; 2) faire l'inventaire des sources majeures d'émission de CO₂ au Québec; 3) compiler les travaux réalisés ailleurs dans le monde sur la technologie du CSC; 4) caractériser les paramètres géologiques et géophysiques des réservoirs potentiels; 5) évaluer leur capacité de stockage; 6) choisir des sites potentiels pour réaliser des essais d'injection de CO₂; 7) tester un ou deux sites avec suivi sur une période d'un à deux ans pour évaluer la capacité de rétention du CO₂ et les risques de fuite. En marge de l'atteinte des objectifs mentionnés plus haut, les travaux complémentaires concernent l'évaluation des enjeux socio-économiques de l'implantation de la technologie du CSC au Québec (lois, sécurité, etc.) et des études technico-économiques pour l'implantation d'une usine pilote.

Les cinq volets de recherche suivants permettront d'atteindre les objectifs et de réaliser les travaux complémentaires :

1. Inventaire
2. Caractérisation
3. Capacité de stockage
4. Test-pilote
5. Enjeux socio-économiques

Le présent rapport sur l'état des connaissances des régions de Nicolet et de Villeroy pour la séquestration géologique du CO₂ cadre dans le volet inventaire.

Sommaire

La sélection d'un site approprié pour le stockage d'un volume important de CO₂ nécessite plusieurs évaluations géologiques distinctes sur des échelles progressivement de plus en plus détaillées. Les différents niveaux d'évaluation vont d'une première sélection régionale très large, à l'échelle de la province, jusqu'à très détaillée afin d'identifier et de caractériser un site spécifique à la séquestration géologique du CO₂.

Dans le sud du Québec, il a été démontré que le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent offrait le plus grand potentiel pour la séquestration géologique du CO₂. À l'intérieur de celui-ci, la région de Bécancour a préalablement été identifiée comme site d'intérêt et ce rapport fait état des connaissances de deux autres sites potentiels pour la séquestration géologique du CO₂, en tenant compte de : (1) la profondeur adéquate se situant entre 800-3500 mètres des couches réservoir et couverture; (2) la proximité des grands émetteurs de CO₂; et (3) la densité élevée de données géoscientifiques disponibles. Les deux régions retenues se situent entre Québec et Montréal et toutes deux au sud du Fleuve Saint-Laurent : Nicolet et Villerooy.

Différentes informations géoscientifiques ont été comptabilisées afin d'obtenir un bref aperçu du potentiel de séquestration géologique du CO₂ pour les sites ciblés de Nicolet et de Villerooy, tels que : (1) l'inventaire des puits présents; (2) l'inventaire des carottes de forage récoltées; (3) l'inventaire des profils sismiques réalisés; (4) le gradient géothermique de la région; (5) la porosité et la perméabilité des roches-réservoirs ciblés; et puis (6) les caractéristiques de la roche-couverture.

Le contexte géologique de la région de Nicolet s'apparente à celui de Bécancour et la quantité de données disponibles pour cette région y est beaucoup plus exhaustive que celle de Villerooy. En effet, la région de Nicolet renferme au total 16 puits d'exploration pétrolière et gazière (neuf pour Villerooy), dont sept traversent la séquence sédimentaire complète des Basses-Terres du Saint-Laurent et atteignent le socle précambrien du Grenville (un seul pour Villerooy).

Les grès du Covey Hill, formation à la base du Groupe de Potsdam, sont considérés comme les aquifères salins ayant le meilleur potentiel pour le stockage géologique du CO₂. De plus, cette unité est présente à une profondeur supérieure à 800 mètres autant dans la région de Nicolet que de Villerooy, ce qui leur permet de rencontrer les critères minimaux de pression et de température pour y stocker du CO₂ dans un état supercritique. En effet, les grès du Covey Hill se retrouvent à 1300 mètres de profondeur dans la région de Nicolet et à 2500 mètres dans la région de Villerooy. De plus, la base de la roche couverture, soit le Shale d'Utica, se retrouve à une profondeur également supérieure à 800 mètres dans les deux cas, soit à 850 mètres dans la région de Nicolet et 2100 mètres dans la région de Villerooy.

La quantité de profils sismiques disponibles est le critère qui démarque le plus les régions de Nicolet et de Villerooy. Aucune donnée autre qu'en image TIFF n'est disponible pour la région de Villerooy, tandis que plusieurs données brutes et traitées sont disponibles dans la région de Nicolet.

Pour ces raisons, il sera possible de faire une évaluation plus poussée de la région de Nicolet en faisant l'acquisition et le traitement de données sismiques brutes puis en évaluant le caractère pétrophysique des roches-réservoirs à l'aide des diagraphies, tandis qu'il sera beaucoup plus difficile d'aller plus loin pour le cas de Villerooy, sans faire des travaux de forage supplémentaires.

1. Introduction

1.1. Le stockage géologique du CO₂ (gaz carbonique ou dioxyde de carbone)

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou *IPPC* : *Intergovernmental Panel on Climate Change*) procède, à intervalles réguliers, à une évaluation de l'état des connaissances sur la question du changement climatique de la planète. Son quatrième et plus récent rapport (*IPCC*, 2007), auquel ont participé plus de 2500 scientifiques de 130 pays, affirme que le réchauffement climatique depuis 1950 est très probablement d'origine anthropique, c'est-à-dire humaine, et a comme principale cause : l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Le dioxyde de carbone (CO₂) est l'un de ces gaz à effet de serre émis par plusieurs types d'industrie faisant la combustion d'hydrocarbures. De nombreux scénarios énergétiques sont élaborés régulièrement par des organismes nationaux ou internationaux comme la *International Energy Agency*, le *United States Department of Energy*, la Commission européenne, le *World Energy Council* ou encore par des membres de l'industrie pétrolière, tels que Shell, Exxon Mobil et BP. Tous s'accordent sur un point : à l'horizon 2020-2030, la demande en énergie va augmenter sur la planète et les énergies fossiles continueront à satisfaire plus de 80% de la demande. Même s'il est vraisemblable que les réserves pétrolières seront plus difficiles à trouver et à exploiter, les combustibles fossiles ont encore de beaux jours devant eux, car les mesures alternatives (économies d'énergie, transports propres, énergies renouvelables, etc...) ne sont toujours pas aujourd'hui en mesure de prendre le relais. Ainsi, les concentrations de CO₂ dans l'atmosphère devraient augmenter considérablement au cours des prochaines années, ce qui entraînera un risque d'accélération de l'augmentation de la température planétaire (*IPCC*, 2007).

Plus du tiers des émissions de CO₂ dans le monde est produit par des sources concentrées (centrales thermiques, cimenteries, raffineries, usines sidérurgiques...) qui vont encore continuer à utiliser des combustibles fossiles (*IPCC*, 2005). Dans ce contexte, parmi l'éventail de solutions proposées, l'idée de piéger le gaz carbonique à la source chaque fois que cela est possible s'avère de plus en plus adoptée. Des recherches sur le long terme sont aujourd'hui engagées pour détourner le dioxyde de carbone de l'atmosphère : fixation en un composé stable pour former des carbonates selon un processus

naturel, biofixation du CO₂ par photosynthèse de micro algues, production de méthane avec du CO₂ grâce aux bactéries méthanogènes, etc...

Les recherches les plus prometteuses concernent la capture et le stockage géologique du dioxyde de carbone sous forme supercritique à plus de 800 mètres de profondeur (Bachu, 2003; *IPCC*, 2005; *IEA*, 2008). Il s'agit de récupérer ce gaz là où il est produit en grande quantité, comme par exemple sur les cheminées industrielles, de le transporter jusqu'à un site de stockage et d'ensuite l'injecter en grande profondeur dans le sous-sol rocheux afin de l'isoler de l'atmosphère à long terme (Figure 1). Le stockage géologique du CO₂ cible deux grandes thématiques (Bachu, 2003; *IPCC*, 2005; *IEA*, 2008) : (1) les réservoirs de gaz et de pétrole, ainsi que (2) les aquifères salins.

1.2. Les aquifères salins

Un aquifère est un milieu poreux formé de matériaux géologiques possédant une perméabilité suffisante pour permettre le captage de quantités d'eau appréciables, principalement avec un puits de pompage. On utilise souvent le terme « nappe souterraine » pour désigner un aquifère. Les hydrogéologues classifient généralement les aquifères en deux groupes : (1) les aquifères à nappe libre (aussi appelés aquifères non confinés ou nappes phréatiques) et; (2) les aquifères confinés. Un aquifère à nappe libre est situé dans les dépôts de surface, où la surface libre forme la limite supérieure de l'épaisseur saturée de l'aquifère. Un aquifère confiné est généralement localisé à une plus grande profondeur et est délimité à son sommet et à sa base par des formations géologiques peu perméables, que l'on nomme aquitards.

Certains aquifères que l'on retrouve dans les bassins sédimentaires peuvent être appropriés pour le stockage géologique du CO₂ (Bachu *et al.*, 1994; *IPCC*, 2005; *IEA*, 2008). En effet, des roches telles les carbonates et les grès possèdent parfois une porosité suffisante pour fournir une bonne capacité de stockage et une perméabilité assez élevée pour permettre un bon taux d'injection. Puisque ces formations contiennent parfois des hydrocarbures et qu'ils peuvent être exploités par des méthodes de pompage conventionnelles, on les appelle des roches-réservoirs. La caractéristique recherchée dans les roches-réservoirs est la présence de roches à faible perméabilité (que l'on nomme roches-couverture), tels les shales et les évaporites, à leur sommet. Celles-ci constituent une barrière physique à la migration verticale du CO₂ hors de l'unité de stockage prévue. Les roches cristallines, métamorphiques et volcaniques, telles que les granites

et les basaltes, ne conviennent généralement pas pour le stockage du CO₂ parce qu'elles ne répondent pas aux critères mentionnés auparavant (Bachu, 2008).

Les aquifères salins sont des roches sédimentaires poreuses et perméables généralement situées à plusieurs centaines de mètres de profondeur et qui sont saturées en eau saumâtre (appelée eau de formation ou saumure) considérée impropre à la consommation humaine ou bien à un usage agricole (Bachu, 2003; IPCC, 2005; IEA, 2008). Ainsi, les aquifères salins s'avèrent être l'option la plus attrayante pour le stockage géologique du CO₂ (Hitchon *et al.*, 1999; Bachu, 2000) car : (1) les mécanismes physiques et géochimiques de piégeage du CO₂ y sont plus nombreux et, par le fait même, plus efficaces; (2) le volume de l'espace poreux disponible y est immense; (3) les aquifères salins sont fortement étendus et distribués.

Différents mécanismes de piégeage entrent en jeu lorsque l'on injecte du CO₂ dans des aquifères salins (Bachu et Adams, 2003) :

- piégeage hydrodynamique (ou structural) du panache de CO₂ supercritique;
- piégeage par dissolution dans la saumure de l'aquifère;
- piégeage en phase minérale par l'interaction entre le CO₂, la saumure et la roche au sein de l'aquifère.

Les aquifères salins demeurent des réservoirs beaucoup moins bien caractérisés que les champs de pétrole et de gaz en raison de l'absence, à ce jour, de vecteurs commerciaux. Ainsi, une bonne sélection du site et la gestion des projets de stockage du CO₂ sont des considérations importantes en vue d'assurer à long terme le stockage tout en restreignant les risques pour l'humain et l'environnement. Notamment, un certain nombre de questions a été soulevé à l'égard des dangers potentiels pour les eaux souterraines, telles que les fuites de CO₂ ou de fluides de formation, le déplacement de la saumure et la remontée de pression (Holloway et Savage, 1993; Bergman et Winter, 1995; Lemieux, 2011).

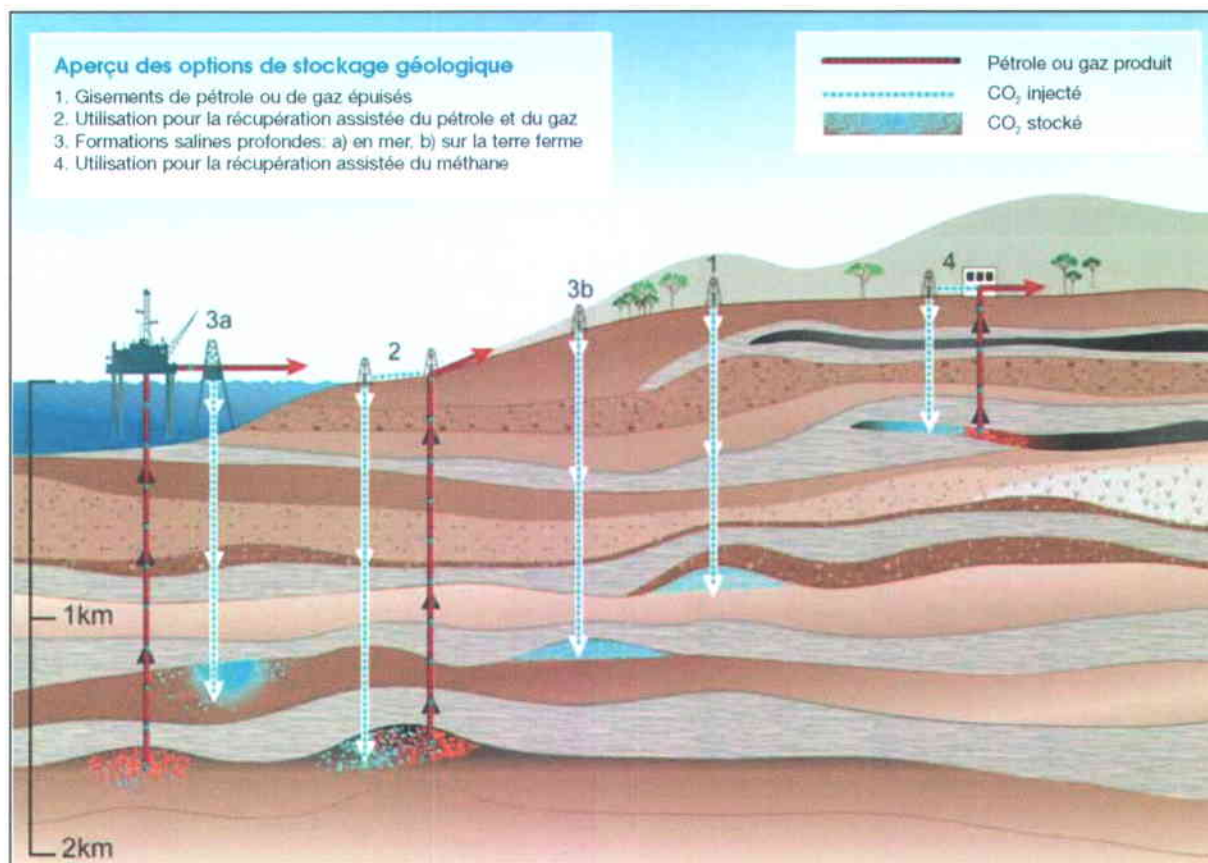


Figure 1 – Les différentes méthodes de stockage géologique du CO₂ en profondeur dans les roches sédimentaires. (adaptée de IPCC, 2005; CO2CRC, 2008).

1.3. Le choix des sites de Nicolet et de Villeroy

La sélection d'un site approprié pour le stockage d'un volume important de CO₂ nécessite plusieurs évaluations géologiques distinctes sur des échelles progressivement de plus en plus détaillées. Les différents niveaux d'évaluation vont d'une première sélection régionale très large, à l'échelle de la province, jusqu'à très détaillée afin d'identifier et de caractériser un site spécifique au stockage géologique du CO₂. Les étapes à suivre résumant les différentes échelles d'évaluation d'un site sont présentées à la Figure 2. Chaque niveau de détail réduit progressivement l'incertitude, mais est toutefois généralement accompagné d'une diminution du volume de stockage. En outre, chaque niveau de détail nécessite davantage d'efforts, des quantités croissantes de données, plus de temps et une hausse exponentielle des coûts.

1.3.1. À l'intérieur du bassin sédimentaire le plus prometteur

Une évaluation du potentiel de séquestration géologique du CO₂ des bassins sédimentaires du sud du Québec a été réalisée par Bédard *et al.* (2012) et démontre que le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent (Figures 3 et 4) est celui possédant les caractéristiques les plus prometteuses. En effet, le bassin des Basses-Terres du Saint-Laurent est celui qui comprend la plupart des grands émetteurs de CO₂, où les infrastructures sont abondantes et dont l'accessibilité est facile. Également, c'est l'endroit où l'on retrouve le plus de données de puits et de levés sismiques, de même qu'un grand nombre d'études sur la géologie du bassin. La géologie des Basses-Terres du Saint-Laurent est ainsi bien connue et plusieurs unités sont déjà identifiées comme étant de bonnes roches-réservoirs et couvertures.

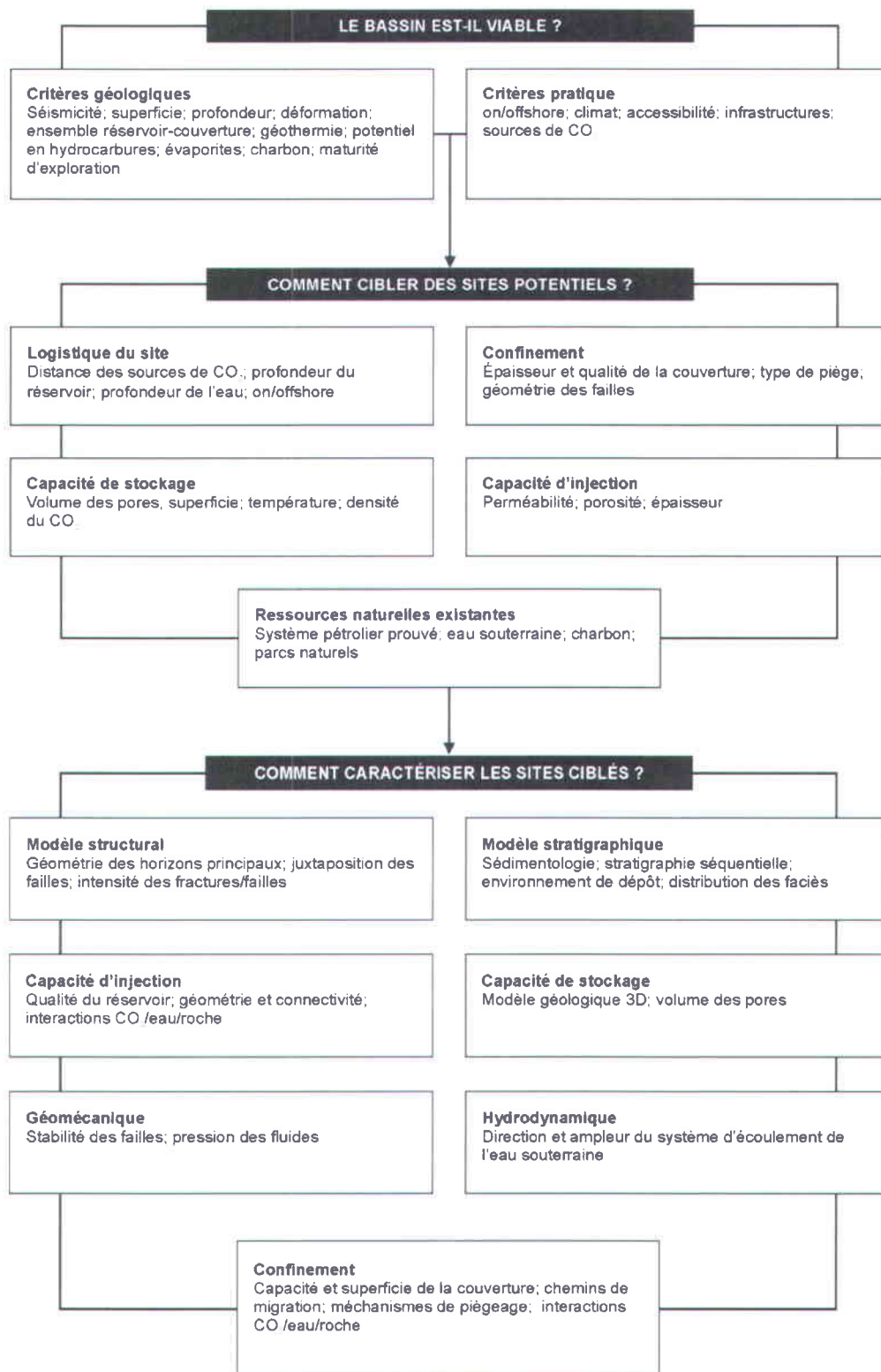


Figure 2 – Étapes à suivre lors de l'identification et la caractérisation de sites spécifiques pour la séquestration géologique du CO₂. (adaptée de Bachu, 2000; 2002; 2003; Gibson-Poole *et al.*, 2008)