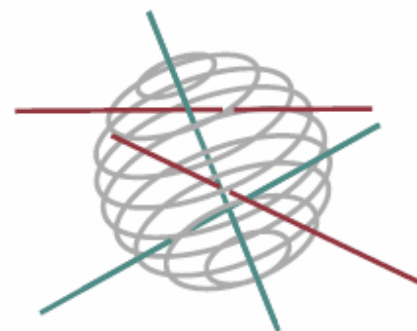


# SSD

SCIENCE FOR A SUSTAINABLE DEVELOPMENT



**SYSTÈME EN APPUI À LA DÉCISION  
POUR LE CAPTAGE ET LE STOCKAGE DU CARBONE**

**« PSS-CCS »**

K. PIESSENS, B. LAENEN, W. NIJS, P. MATHIEU, J.M. BAELE, C. HENDRIKS,  
E. BERTRAND, J. BIERKENS, R. BRANDSMA, M. BROOTHAERS, E. DE VISSER, R. DREESEN,  
S. HILDENBRAND, D. LAGROU, V. VANDEGINSTE, K. WELKENHUYSEN.



ENERGY 

TRANSPORT AND MOBILITY 

AGRO-FOOD 

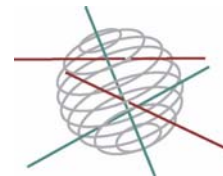
HEALTH AND ENVIRONMENT 

CLIMATE 

BIODIVERSITY 

ATMOSPHERE AND TERRESTRIAL AND MARINE ECOSYSTEMS 

TRANSVERSAL ACTIONS 



*Climat*



RAPPORT FINAL PHASE 1  
RESUME

SYSTÈME EN APPUI À LA DÉCISION  
POUR LE CAPTAGE ET LE STOCKAGE DU CARBONE

« PSS-CCS »

SD/CP/04A



Promotors

**Kris Piessens**

Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (IRSNB)  
Geological Survey of Belgium

**Ben Laenen**

Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO)

**Philippe Mathieu**

Université de Liège

**Jean-Marc Baele**

Faculté Polytechnique de Mons

Authors

Kris Piessens, Veerle Vandeginste, Kris Welkenhuysen (RBINS)  
Ben Laenen, Roland Dreesen, Johan Bierkens, Matsen Broothaers  
Sandra Hildenbrand, David Lagrou, Wouter Nijs (VITO)  
Philippe Mathieu, Emmanuelle Bertrand (ULg)  
Jean-Marc Baele (FPM)  
Chris Hendriks, Erika de Visser, Ruut Brandsma (ECOFYS)

*Septembre 2008*





Rue de la Science 8  
Wetenschapstraat 8  
B-1000 Brussels  
Belgium  
Tel: +32 (0)2 238 34 11 – Fax: +32 (0)2 230 59 12  
<http://www.belspo.be>

Contact person:  
*Mrs Sophie Verheyden* : +32 (0)2 238 36 12

Neither the Belgian Science Policy nor any person acting on behalf of the Belgian Science Policy is responsible for the use which might be made of the following information. The authors are responsible for the content.

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without indicating the reference:

Kris Piessens, Ben Laenen, Wouter Nijs, Philippe Mathieu, Jean-Marc Baele, Chris Hendriks, Emmanuelle Bertrand, Johan Bierkens, Ruut Brandsma, Matsen Broothaers, Erika de Visser, Roland Dreesen, Sandra Hildenbrand, David Lagrou, Veerle Vandeginste, Kris Welkenhuysen.  
***Système en Appui à la Décision pour le Captage et le Stockage du Carbone «PSS-CCS»***. Final Report Phase 1 Résumé. Bruxelles : Politique scientifique Fédérale 2009 – 5 p. - Programme de recherche « La Science pour un développement Durable »

Le principal objectif du projet « Système en appui à la décision pour le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> » (Policy Support System for Carbon Capture and Storage ou PSS-CCS) consiste à développer une application capable de réaliser des projections concernant la mise en œuvre de solutions de captage et de stockage du carbone (Carbon Capture and Storage, CCS) dans le contexte belge. Outre le simulateur, différentes bases de données sont nécessaires en rapport avec les principaux éléments des chaînes de CCS : le captage, le transport et le stockage.

Les concentrations en CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère augmentent en raison de l'activité humaine. Il semble nécessaire de réguler ces concentrations afin d'en éviter les effets préjudiciables sur notre climat. Le captage et le stockage du carbone est l'une des solutions possibles et fait l'objet de cette publication.

Le captage fait référence à la production de CO<sub>2</sub> sous une forme concentrée. Il est applicable aux grandes sources industrielles de CO<sub>2</sub> et l'on distingue en règle générale trois techniques de captage. Dans le système *postcombustion*, le CO<sub>2</sub> est extrait des fumées produites par la combustion de combustibles primaires dans l'air. Dans le système *précombustion*, un composé de *monoxyde de carbone* et d'hydrogène est formé par la réaction du combustible primaire avec de la vapeur et de l'air ou de l'oxygène dans un premier réacteur. Le monoxyde de carbone réagit ensuite avec de la vapeur dans un deuxième réacteur, ce qui entraîne la formation de CO<sub>2</sub> et de davantage d'hydrogène. Les constituants de ce mélange sont alors séparés. Dans le système *oxycombustion*, le combustible primaire est calciné à l'aide d'oxygène en lieu et place d'air. Les fumées qui en résultent se composent essentiellement de vapeur d'eau et de CO<sub>2</sub>.

Après son captage, le CO<sub>2</sub> est comprimé et transporté – le plus souvent par pipelines. La pression du CO<sub>2</sub> ne peut descendre sous 7,5 MPa pendant toute la durée du transport, afin d'éviter la formation de deux phases et de maintenir suffisamment élevée la densité du CO<sub>2</sub>.

Trois types de réservoirs géologiques sont adaptés au stockage du CO<sub>2</sub> : les nappes pétrolifères et gazeuses épuisées, les nappes aquifères salines profondes et les couches et mines de charbon. Pour pouvoir stocker le CO<sub>2</sub> sous forme liquide ou en phase supercritique, celui-ci est généralement envoyé dans des formations situées à une profondeur supérieure à 800 m. Puisque le CO<sub>2</sub> affiche une densité inférieure à celle de l'eau, une couche doit impérativement couvrir le réservoir de CO<sub>2</sub>. Les forces capillaires, la dissolution dans l'eau de formation et la précipitation minérale contribuent également à la fixation du CO<sub>2</sub>. L'adsorption joue un rôle essentiel dans les séquences du charbon.

Les actuelles grandes sources ponctuelles de CO<sub>2</sub> constituent autant d'objectifs possibles de projets de CCS et donnent une première indication de la pertinence de cette technologie en Belgique. Cette publication offre un aperçu technique des principales technologies de captage susceptibles d'être mises en œuvre dans le secteur énergétique. Le rendement et les coûts de ces techniques font l'objet d'une comparaison à la fin du présent chapitre.

L'industrie actuelle est un point de départ essentiel. L'aperçu couvre de nombreux secteurs, dont celui de l'ammoniaque, le ciment, l'éthylène, l'oxyde d'éthylène, le verre, l'hydrogène, le fer et l'acier, la chaux, l'énergie et les raffineries. La production actuelle de CO<sub>2</sub> est dominée par des sources qui émettent plus de 500 millions de tonnes par an. Ce sont elles qui, en règle générale, présentent le plus grand intérêt pour les projets de CCS. Les sources de CO<sub>2</sub> pur ne représentent que quelques pour cent des émissions totales.

Les techniques de captage sont relativement bien documentées dans le secteur énergétique. La comparaison des principales technologies types met en évidence la présence d'écarts manifestes aux niveaux du prix du combustible, de la capacité, des facteurs de coûts, etc. Ces technologies entraînent toutefois des différences peu significatives du paramètre économique pertinent, à savoir le coût de production de l'électricité. Il est donc difficile de prévoir quelle technologie va s'imposer – chaque technologie trouvera vraisemblablement son domaine d'application.

En Belgique, les possibilités de stockage géologique sont diverses. Si la région flamande examine en particulier le stockage dans les nappes aquifères, ce sont les mines de charbon qui retiennent l'attention en région wallonne. Sur le plan international, les possibilités, les capacités et les coûts du stockage du CO<sub>2</sub> dans nos pays voisins sont également analysés.

En Flandre, quatre réseaux aquifères sont envisagés. Les carbonates entre le Crétacé supérieur et le Paléocène sont présents à une profondeur suffisante au nord du Bassin de Campine et dans le Graben de Roerdal – ils affichent en outre de bonnes caractéristiques d'injectivité et de porosité. Les strates cénozoïques supérieures comportent des couches imperméables mais le territoire concerné est limité.

Les grès du Trias inférieur (Formation de Bundsandstein) présentent une bonne porosité et sont couverts par des strates imperméables dans le Graben de Roerdal. Bien que l'injectivité soit moindre, ils constituent néanmoins une cible possible pour le stockage du CO<sub>2</sub>.

Les grès du silésien (Formation de Neeroeteren) affichent de bonnes valeurs de porosité et de perméabilité, mais la couche étanche est incomplète ou inconnue.

Les carbonates du carbonifère inférieur – également appelés carbonates dinantiens – sont déjà utilisés pour stocker du gaz naturel. L'étanchéité est garantie mais la capacité des structures géologiques individuelles est relativement réduite.

En région wallonne, les gisements houillers du Hainaut jusqu'à Namur et quelques sites près de Huy et de Liège sont sélectionnés et prometteurs pour le stockage du CO<sub>2</sub>. Pour évaluer la possibilité d'un stockage, les spécialistes tiennent compte de toute la séquence du charbon (charbon, limon, grès). Cette nouvelle approche a entraîné une hausse importante de la capacité de stockage potentielle.

Le site le plus connu pour le stockage du CO<sub>2</sub> est la nappe aquifère dinantienne – dans sa partie la plus profonde et horizontale. Celle-ci s'étend jusqu'en France et donne des résultats très encourageants pour le stockage du CO<sub>2</sub>.

La Belgique est un pays relativement petit. Elle ne compte par ailleurs aucun champ de pétrole ou de gaz qui, une fois épuisé, serait envisagé avant toute autre solution pour le stockage du CO<sub>2</sub>. Pour cette raison, le potentiel de stockage existant dans les pays voisins – notamment les Pays-Bas, l'Allemagne et la France – et dans la région de la mer du Nord est également pris en compte. Il ressort de cette analyse que les coûts afférents à l'exportation du CO<sub>2</sub> seraient compris entre 4 et 6 €/tonne, sauf en mer du Nord (entre 8 et 11 €/tonne).

Le transport du CO<sub>2</sub> par pipeline est un maillon essentiel de la chaîne du CCS. Les exigences techniques liées aux pipelines et à la pureté du CO<sub>2</sub> constituent dans ce cadre des paramètres importants. Cette publication propose également une procédure d'estimation des diamètres de pipeline adaptés et envisage les différents aspects financiers de la construction et de l'utilisation des pipelines.

Elle propose par ailleurs une formule optimisée de calcul du diamètre des pipelines, laquelle tient compte notamment des effets de la différence d'altitude, des pertes locales et de friction. Les coefficients de Manning sont utilisés afin d'éviter les calculs itératifs.

Il y a également des risques pour la sécurité liés aux fuites de CO<sub>2</sub> du réservoir géologique vers la surface. Ces risques sont très limités mais doivent être malgré tout analysés. En règle générale, une étude détaillée est indispensable pour connaître la structure et les risques que présentent un réservoir particulier. Ce rapport inclut un résumé d'une *étude de cas* de la structure Verloren-Kamp.

Le modèle Markal-Times est un progiciel grâce auquel l'utilisateur peut proposer un système énergétique complexe sous la forme d'un ensemble de comparaisons linéaires. Il est utilisé en vue de construire un modèle qui décrit le secteur belge de l'électricité. Ce modèle est utilisé comme scénario de référence et est complété par des données relatives aux techniques de captage et, de manière plus rudimentaire également, de transport et de stockage.

Il ressort de ces simulations que le CCS peut contribuer de manière significative à une décarbonisation du secteur de l'électricité de 50 % maximum, lorsque le prix de la tonne de CO<sub>2</sub> dépasse 25 €.

Le simulateur PSS-CCS peut réaliser des projections stochastiques et développer de manière détaillée les coûts de *routage* et les aspects liés au stockage. Ce rapport établit également ces possibilités.

Le PSS est un simulateur ascendant (*bottom-up*) conçu pour réaliser des projections ad hoc de la mise en œuvre du CCS. Il permet d'estimer de manière détaillée les coûts afférents au transport du CO<sub>2</sub> en déterminant les routes les plus économiques. Des prévisions d'incertitude interviennent également pour la disponibilité des réservoirs de CO<sub>2</sub>. En général, l'incertitude fait l'objet d'une attention particulière au niveau du scénario.

Deux scénarios, basés sur le scénario central Markal, sont utilisés pour établir l'applicabilité et la flexibilité du PSS. Ces démonstrations confirment en grande partie les résultats de Markal tout en soulignant les risques des pièges technologiques et l'importance d'un accès ouvert à l'infrastructure de transport et de stockage. Les effets en sont significatifs et peuvent dans une large mesure annihiler les avantages escomptés du CCS pour l'environnement.

---