

Rapport Final de l'Étude de Pré faisabilité pour la Capture et le Stockage de CO₂ (CCS) chez IMERYS

Janv.
2024



AAP ZIBAC - 331C ZIBaC - DKarbonation -
Synthese_publique - Imerys

1. Introduction et Objectifs de l'Étude

L'étude s'inscrit dans le cadre des ambitions mondiales de décarbonation et de neutralité carbone d'ici 2050, où le CCS est une technologie centrale. IMERYS Alumina a mandaté Technip .EN pour une étude de faisabilité visant à comparer différentes technologies de capture de CO₂ à partir des sources d'émission de son site de Dunkerque.

Les principaux objectifs de l'étude sont de :

- Évaluer les performances de deux technologies de capture de CO₂ en tenant compte des bases de conception du projet.
- Effectuer un dimensionnement préliminaire des unités.
- Identifier et quantifier les besoins en utilités, catalyseurs/produits chimiques, et effluents.
- Élaborer des plannings pour les phases FEED et EPC de niveau 1.
- Établir un agencement préliminaire avec une intégration économique et optimale dans le site existant.
- Fournir une estimation des coûts de **Classe 5** (impliquant une méthodologie globale pour définir les caractéristiques générales et appliquer des ratios).

Technologies Évaluées :

1. **Scenario 1: Canopy by T.EN™** alimenté par **SHELL Cansolv®** (absorption chimique par solution à base d'amine).
2. **Scenario 2: Compact Membrane System (CMS)**, technologie d'adsorption physique par Ardent, plus purification cryogénique.

Le rapport est divisé en deux parties :

- PARTIE A pour la solution de capture de CO₂ avec absorption d'amine (configuration actuelle des fours) et
- PARTIE B pour la solution avec purification cryogénique et adsorption par membrane

2. SCENARIO 1 : Solution par Absorption d'Amine (Configuration Actuelle)

Ce scénario explore une solution de capture de carbone pour la configuration actuelle des fours en utilisant l'absorption d'amine SHELL CANSOLV®.

2.1. Technologie et Analyse du Gaz de Combustion (FG)

- **Technologie** : Le système de capture SHELL CANSOLV® est un procédé régénérable utilisant un absorbant à base d'amine propriétaire (DC103). La technologie a un **Niveau de Maturité Technologique (TRL) de 9**, ce qui la rend commercialement éprouvée.

- **Composition du Gaz de Combustion (FG) (Nominale)** : Le débit total du FG est de **72 846 Nm³/h (humide)**, avec une composition en CO₂ de **11,11 mol %**. L'absorption par amine est jugée "très bien adaptée (techniquement et économiquement)" à ce niveau de CO₂.

- **Contaminants** : Le FG est très concentré en contaminants (NO_x et SO_x).

- o **NO_x** : Le contenu en NO est jugé "extrêmement élevé" et supérieur à la valeur limite d'émission (VLE), nécessitant un traitement De-NO_x.

- o **SO_x** : Le FG est "extrêmement concentré" en SO_x. L'abattement du SO₂ est requis en prétraitement pour protéger l'absorbant. Le SO₃ (assumé à 1 vol.% du SO_x total) peut former un brouillard acide, nécessitant une atténuation.

2.1. Schéma de Procédé

Le schéma proposé est constitué d'un **prétraitement (section 100)**, l'**unité centrale SHELL CANSOLV® (section 200)**, une **compression/conditionnement/post-traitement CO₂ (section 300)**, et une **atténuation des aérosols (section 400)**.

- **Prétraitement** :

- o **Réduction de NO_x** : La **Réduction Catalytique Sélective (SCR)** est préférée. L'objectif est de réduire le NO_x de presque **78%** pour atteindre la VLE à la cheminée. Pour éviter la formation de bisulfate d'ammonium (ABS) qui désactive le catalyseur, le FG doit être chauffé à un minimum de **230°C**.

- o **Abattement de SO_x** : Un **laveur humide caustique** est sélectionné pour la neutralisation du SO_x et le refroidissement/saturation en eau à 40°C avant l'absorbeur de CO₂.

- **Unité de Capture de Carbone** : Le CO₂ est absorbé dans la tour d'absorbeur. L'unité est conçue pour atteindre une efficacité de capture élevée, entre **90% et 98%**. L'amine riche est régénérée dans une colonne de stripping.

- **Post-Traitement et Atténuation** :

- o **Déshydratation du CO₂** : Tamis moléculaires sont utilisés pour adsorber l'eau du gaz CO₂ riche afin d'atteindre les spécifications du produit final.

Atténuation des Aérosols : Une **Unité de Diffusion Brownienne (BDU)** est obligatoire pour prévenir l'entraînement de gouttelettes de brouillard acide à la cheminée, car le contenu en SO₃ est estimé au-dessus de 1 ppmv

2.2. Synthèse des Performances (Nominales)

Caractéristique	Unité	Valeur
Débit Gaz Traité total	Nm³/h	60 930
Capture CO₂	%mol	> 95
Débit Produit CO₂	kg/h	15 090
Pureté CO₂	%mol	> 99,9
Consommation Électrique	kW	4 426
Consommation de Vapeur	t/h	20
Eau de Refroidissement	m³/h	1 650
Empreinte au sol	m²	6 240 (130m x 48m)
Eaux Usées (Pre-Scrubber)	kg/h	3 390

3. SCENARIO 2 : Solution par Adsorption par Membrane et Purification Cryogénique

Ce scénario étudie une solution de capture de CO₂ pour une future configuration avec un nouveau four fonctionnant en mode oxy-combustion au gaz naturel (GN). La post-purification est basée sur un schéma cryogénique standard.

- **Technologie** : Le cas de base repose sur la purification cryogénique. Le cas alternatif inclut l'ajout du système à membrane compacte (CMS) d'ARDENT®. Le **TRL pour les membranes est de 5**, indiquant un besoin de validation supplémentaire pour être entièrement éprouvé commercialement.

- **Composition du Gaz de Combustion (FG) (Nominale)** : Le débit total du FG est de **10 500 Nm³/h (humide)**, avec un FG très riche en CO₂ et H₂O (jusqu'à **70%mol de CO₂** après condensation de l'eau).

- **Contaminants** : L'analyse des contaminants n'était pas disponible, mais des concentrations élevées sont supposées, nécessitant un abattement lourd de SO_x et un traitement De-Nox spécifique pour atteindre les spécifications strictes du produit CO₂ final (< 10 ppm mol de NO_x). La teneur en poussière est estimée à 60.3 mg/Nm³, incompatible avec un SCR sans filtre.

3.1. Schéma de Procédé (Cas de Base)

Le schéma se compose d'un **prétraitement (section 100)** et d'une **compression/conditionnement/post-traitement CO₂ (section 300)**.

- **Prétraitement** :

- o **Abattement de SO_x** : L'**Injection Sèche de Sorbant (DSI)** à base de bicarbonate de sodium est préférée, car elle est sélective en SO₃ et adaptée aux températures supérieures à 180°C. Le cas retenu est l'abattement sélectif de > 99% du SO₃ avec un pré-laveur en aval.

- o **Abattement de Poussière** : Des **Filtres à Manches (Bag Filters)** sont nécessaires en raison de la concentration de poussière et du DSI en amont.

o **Réduction de NOx** : Le **SCR** est également envisagé.

o **Laveur caustique** : Son objectif principal est de condenser l'énorme quantité d'eau contenue dans le FG.

• **Post-Traitement** :

o **Déshydratation du CO2** : Tamis moléculaires.

o **Désoxygénation / Purification Cryogénique** : L'unité de post-purification cryogénique (boîte froide) est utilisée pour éliminer les impuretés comme N2, O2, CO et NO2 et atteindre la pureté requise du CO2.

o **Compression de Rappel** : Le CO2 purifié est comprimé à environ **30 bar g**.

Purge des Inertes : Le flux de vapeur d'inertes (N2/O2) quittant la post-purification cryogénique contient une quantité significative de CO2 (environ 25 mol.%) et est purgé à l'atmosphère.

3.2. Synthèse des Performances (Nominale)

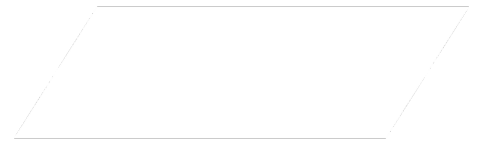
Caractéristique	Unité	Base Case (Cryo)	Alternate Case (Cryo + CMS)
Capture CO₂	%mol	84	> 90
Débit Produit CO₂	kg/h	3 272	3 501
Pureté CO₂	%mol	99,99	99,99
Consommation Électrique	kW	1 119	1 119
Production de Vapeur	t/h	- 0.553	- 0.553
Eau de Refroidissement	m ³ /h	387	387
Empreinte au sol	m ²	3 854 (94m x 41m)	3 854 (94m x 41m)

Points d'Attention pour la Phase Suivante :

- L'adéquation du design DeNOx avec la très haute concentration en eau du gaz (75%) est un point d'attention majeur. Shell Catalyst a indiqué que de tels niveaux sont au-delà de leur expérience et nécessiteraient des tests de R&D.
- La faisabilité de la section de séparation cryogénique (faibles trafics de vapeur) et le choix de la technologie pour les machines tournantes (la petite capacité pourrait exclure le type centrifuge) devront être confirmés avec les fournisseurs.
- Le traitement des eaux usées sera "lourdement chargé" dans ce scénario et doit être anticipé pour l'allocation du plan de masse.

4. Conclusion Générale

L'étude de pré-faisabilité a défini les concepts généraux et les exigences principales pour les deux scénarios en seulement 10 semaines. Elle fournit un ensemble d'informations préliminaires, y compris le bilan massique, les



utilités, les effluents/produits chimiques, l'empreinte au sol, l'opérabilité de l'usine et l'estimation des coûts de Classe 5.

Cette étude est une étape préparatoire pour la prise de décision d'investissement finale. Elle devra être suivie par un **Process Design Package (PDP)** et une étude **Front-End Engineering Design (FEED)** pour augmenter la précision de l'estimation des coûts (passant de la Classe 5 à une classe supérieure).

RÉSUMÉ

Objectif de l'étude

L'étude vise à analyser la faisabilité de solutions de capture et stockage du CO₂ (CCS) sur le site d'IMERYS Aluminates à Dunkerque afin de contribuer aux objectifs de neutralité carbone d'ici 2050. Elle compare deux technologies de capture, réalise un dimensionnement préliminaire, estime les besoins en utilités et les coûts (classe 5), et prépare les futures phases d'ingénierie (PDP et FEED).

Technologies étudiées

1. Scénario 1 – Absorption chimique par amine (Shell Cansolv®)
 - Adapté à la configuration actuelle des fours.
 - Technologie mature (TRL 9).
 - Capture du CO₂ par solvant amine avec prétraitement important des fumées (réduction NOx et SOx).
 - Performance : >95 % de capture, pureté CO₂ >99,9 %, production d'environ 15 t/h de CO₂.
 - Besoins énergétiques élevés (électricité, vapeur) et installation relativement grande.
2. Scénario 2 – Membranes + purification cryogénique
 - Prévu pour un futur four en oxycombustion au gaz naturel.
 - Technologie cryogénique mature mais membranes encore en développement (TRL 5).
 - Gaz de combustion très riche en CO₂ (~70 %).
 - Performance : 84→90 % de capture, pureté CO₂ 99,99 %, production ~3,3–3,5 t/h.
 - Consommation énergétique plus faible mais plusieurs incertitudes techniques (traitement NOx, cryogénie, gestion des effluents).

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

CITATION DE CE RAPPORT

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.