



Credits: IFPEN



Credits: IFPEN



Credits: IFPEN



**Démonstration du
procédé de captage
DMX à Dunkerque,
stockage et utilisation
du CO₂
29/09/2023**

Vania Santos-Moreau
Cheffe de Projet et
Coordinatrice du Projet EU
3D



IFPEN EN BREF

Un organisme
public de R&I

Un centre
de formation

Un groupe
industriel

IFP Training

Axens
Powering integrated solutions
An IFP Group company

EURECAT

K-Ryole
carry on

BeicipFranlab

TECH advantage

DRIVE D QUANT



GALANCK

easyLi
advanced battery systems

la Cie des Mobilités



Un champ d'action international dans les domaines
de l'environnement, de l'énergie et du transport



1 635
personnes



1 190
chercheurs



120,5 M€
de dotation budgétaire
en 2020



146,5 M€
de ressources propres
en 2020



CLIMAT, ENVIRONNEMENT ET ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Réduire l'impact des
activités humaines et
industrielles sur le climat et
l'environnement

ÉNERGIES RENOUVELABLES

Développer des solutions
pour produire, à partir
de sources renouvelables,
de l'énergie, des carburants
et des intermédiaires
chimiques

La recherche fondamentale, socle pour le développement de nos innovations

MOBILITÉ DURABLE

Développer des solutions
pour des transports
efficaces et à faible impact
environnemental

HYDROCARBURES RESPONSABLES

Proposer des technologies
visant à satisfaire
la demande en énergie
et en produits chimiques de
manière plus respectueuse
de l'environnement

La recherche fondamentale, socle pour le développement de nos innovations

NOS DOMAINES D'ACTIVITÉS

Climat, environnement et économie circulaire

- Recyclage des plastiques
- Captage, stockage et utilisation du CO₂
- Qualité de l'air
- Surveillance environnementale
- Interactions climat/sol et cycle de l'eau
- Économie circulaire / ACV

Énergies renouvelables

- Biocarburants
- Chimie biosourcée
- Biogaz
- Éolien offshore et énergies marines
- Géothermie
- Hydrogène
- Stockage d'énergie

Mobilité durable

- Électrification et Hybridation
- Stockage d'électricité
- Mobilité connectée
- Motorisations thermiques
- Carburants bas carbone

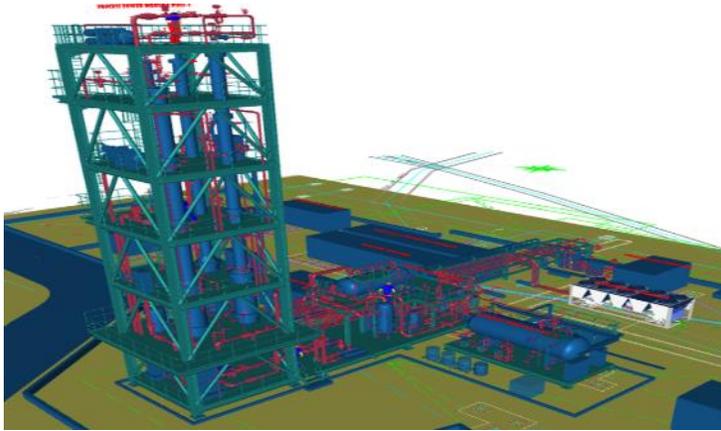
Hydrocarbures responsables

- Carburants
- Pétrochimie
- Traitement et conversion de gaz
- Modélisation de bassin et de réservoir
- Récupération assistée (EOR)
- Production offshore

DÉVELOPPER LES TECHNOLOGIES DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Climate,
environment
and circular
economy

PROJET (3D) CO₂ DMX DEMONSTRATION DUNKIRK Captage du CO₂



Projet H2020 de démonstrateur du procédé **DMX™**

Construction d'un démonstrateur à Dunkerque pour capter le CO₂ des gaz sidérurgiques de l'usine d'**ArcelorMittal**

Début du projet en mai 2019, pour 4 ans

OUTIL Real^e Qualité de l'air



Valise connectée Real-e, un **analyseur de gaz d'échappement** (CO, CO₂, NO_x, PN, NH₃...), pour une **évaluation** simple et rapide des **émissions véhicules en usage réel**

Partenariat avec la PME Capelec

PROJET GLYPET Recyclage chimique des plastiques



Valorisation des déchets à base de PET colorés, opaques ou thermoformés (**bouteilles, films, barquettes ou textiles**) par dépolymérisation et purification

Démarrage de l'étape de démonstration **du procédé Rewind™ PET fin 2021**

Partenariat : IFPEN, Axens et JEPLAN (Japon)

DÉVELOPPER LES TECHNOLOGIES DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Renewable
energies

Produire des biocarburants 2G

PROJET FUTUROL™



Procédé de production
d'**éthanol ligno-cellulosique**

2020 : première industrielle en Europe
(INA produira en Croatie 55 000 tonnes
de bioéthanol)

Commercialisation par Axens

PROJET BioTfuel®



Conversion thermochimique en **biogazole**
et **biokérosène**

Construction de **2** pilotes en **2016** en vue
d'une commercialisation du procédé en
2021 par Axens

*Partenaires : IFPEN, Axens, CEA, Avril,
ThyssenKrupp Industrial Solutions, Total
Candidature AMI Biojet 2020*

Eolien offshore

SOLUTION DE FLOTTEUR ET D'ANCRAGE



Technologie retenue dans le cadre de
l'appel à projets ADEME (2016) de fermes
pilotes pour **l'éolien flottant**

Mise en service prévue en **2023**
de **3** éoliennes de **8 MW** au large
de Fos-sur-Mer (projet Provence Grand
Large)

Partenaire : SBM

Carbon capture, utilisation and storage

Carbon capture, utilisation and storage, or CCUS, is an important emissions reduction technology that can be applied across the energy system.

[Read more](#) 

CO2 captured from power and industrial facilities each year
2020

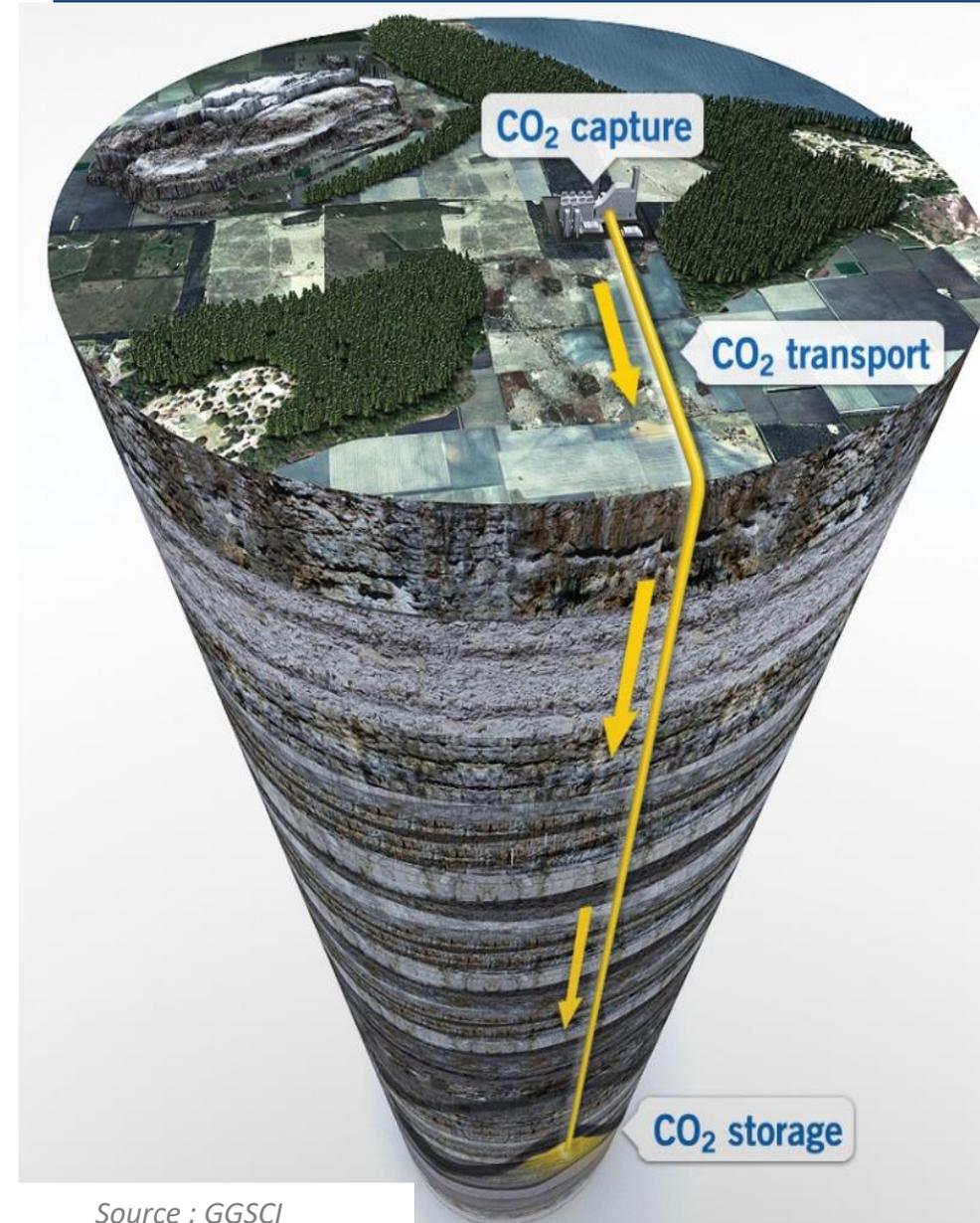
40 MILLION T

[Source](#)

Related topics 

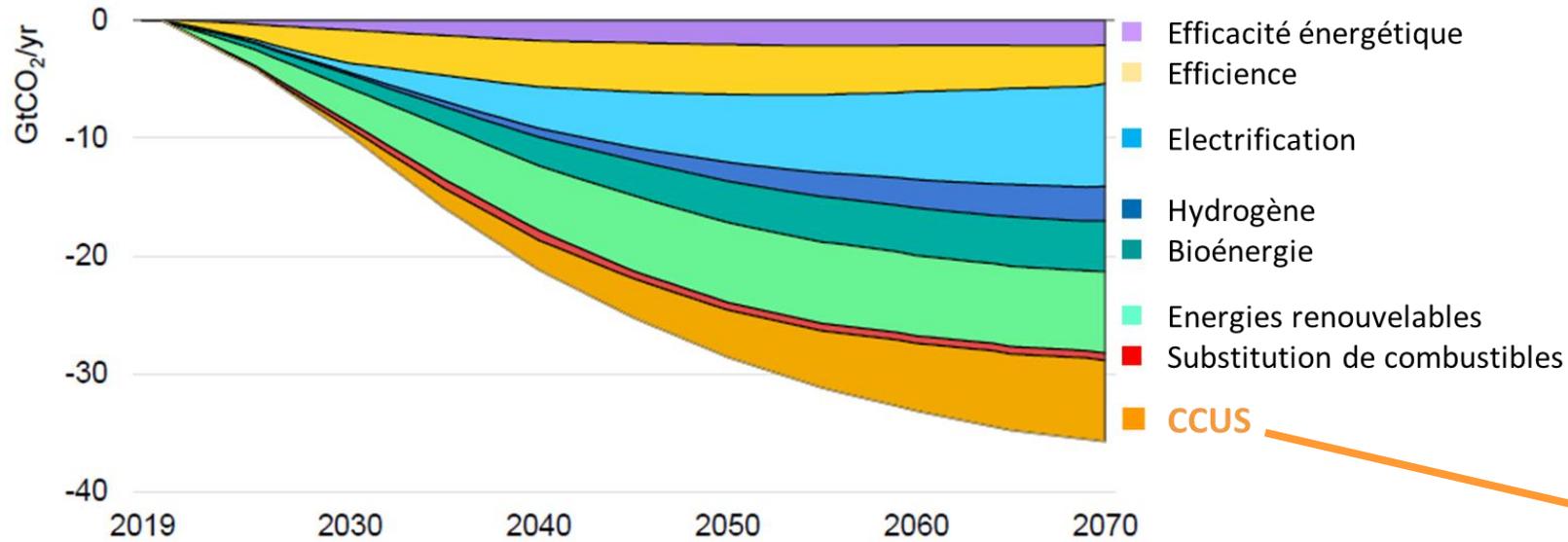
LE CAPTAGE, STOCKAGE ET UTILISATION DU CO₂

- **Capter** le CO₂ dans les fumées
 - Centrales thermiques
 - Unités industrielles
- **Transporter** le CO₂ (bateaux, pipes) sous forme condensée
- **Stocker** le CO₂ dans des formations géologiques adaptées
 - Anciens réservoirs pétroliers ou gaziers
 - Aquifères profonds
- **Utiliser** le CO₂ capté pour alimenter des filières produits
 - Chimie
 - Matériaux
 - Carburants

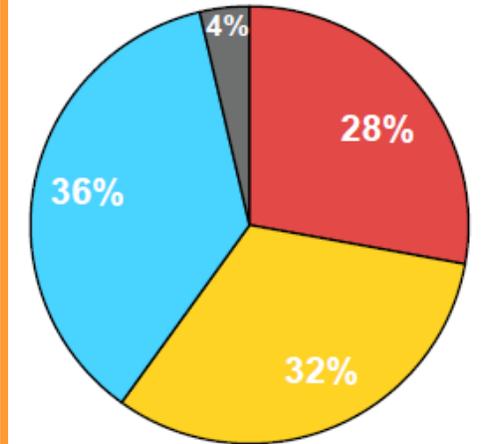


CAPTER LE CO₂ : UNE NÉCESSITÉ POUR ATTEINDRE LA NEUTRALITÉ CARBONE

CLIMAT, ENVIRONNEMENT ET ECONOMIE CIRCULAIRE



CO₂ capté par secteur sur la période 2020-2027



■ Carburant
■ Industrie
■ Production d'énergie
■ Captage direct dans l'air

→ CCUS : 15% de la baisse des émissions de CO₂ en 2070

- ✓ Décarbonation de la production d'énergie et de l'industrie
- ✓ Synergie avec l'hydrogène
- ✓ Une des solutions pour les émissions négatives

UNE RÉALITÉ À L'ECHELLE INDUSTRIELLE MAIS UN ENJEU POUR LE DÉPLOIEMENT À GRANDE ECHELLE

40 Mt CO₂
captés et stockés /an

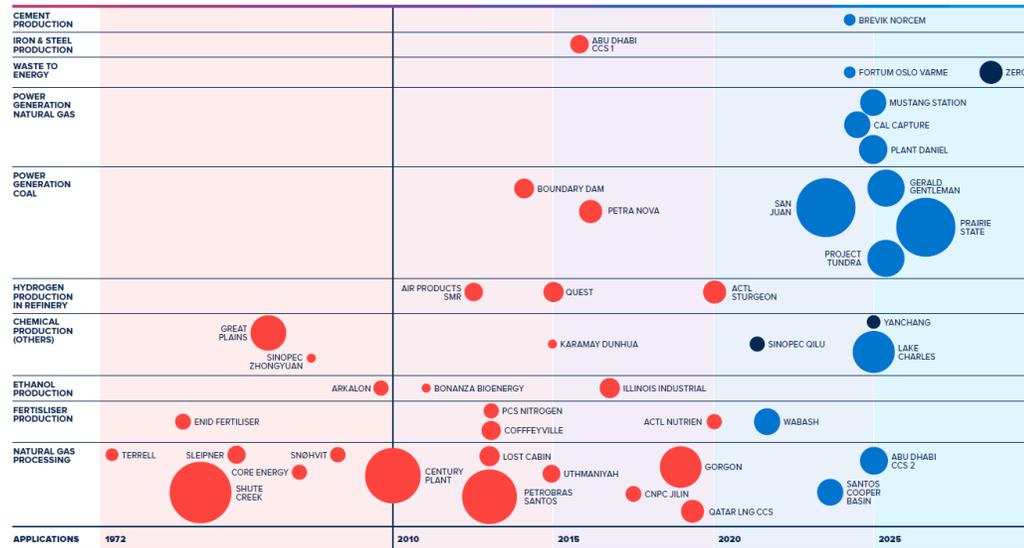
65
projets grande échelle en 2020

- 26 en opération
- 2 interrompus
- 3 en construction
- 13 en étape de dev. avancé
- 21 en étude

34
pilotes & démonstrateurs



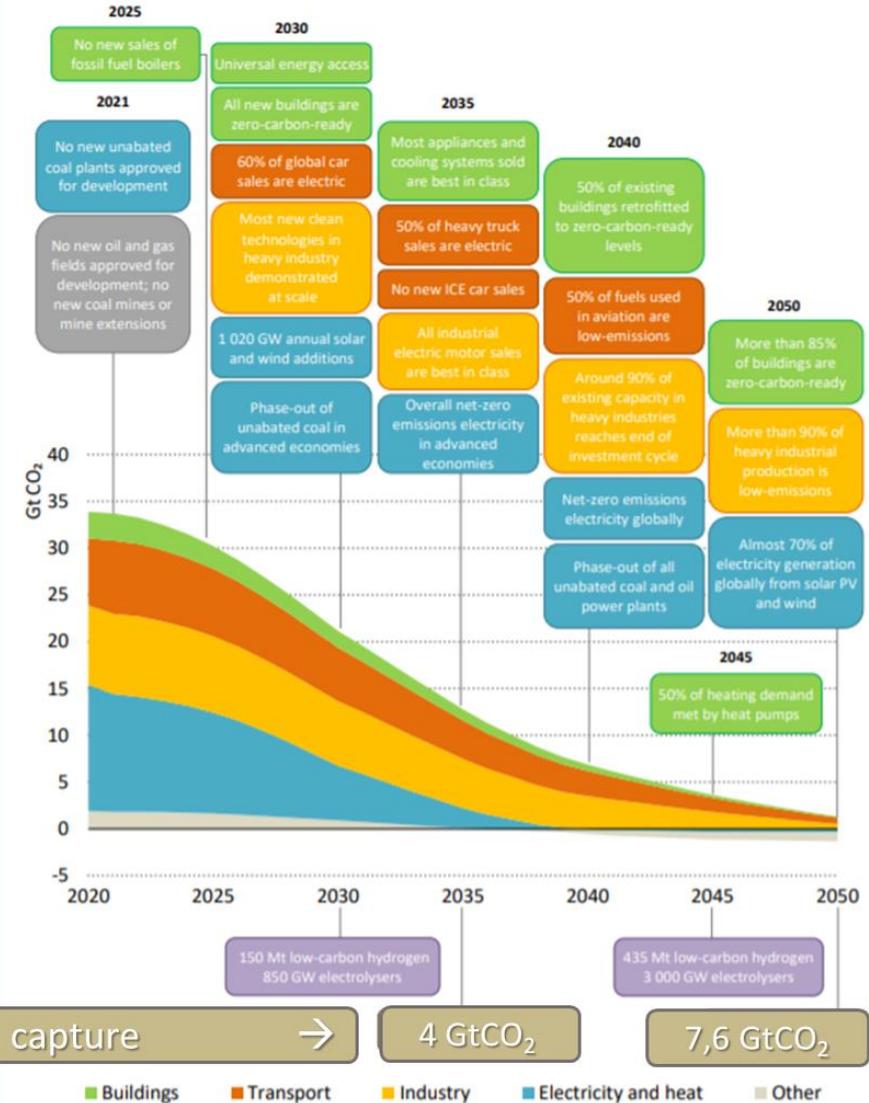
● COMMERCIAL CCS FACILITIES IN OPERATION & CONSTRUCTION
● COMMERCIAL CCS FACILITIES IN DEVELOPMENT
● PILOT & DEMONSTRATION FACILITIES COMPLETED
● PILOT & DEMONSTRATION FACILITIES IN OPERATION & DEVELOPMENT
● OPERATION SUSPENDED



Source : GCCSI, 2020

Key milestones in the pathway to net zero

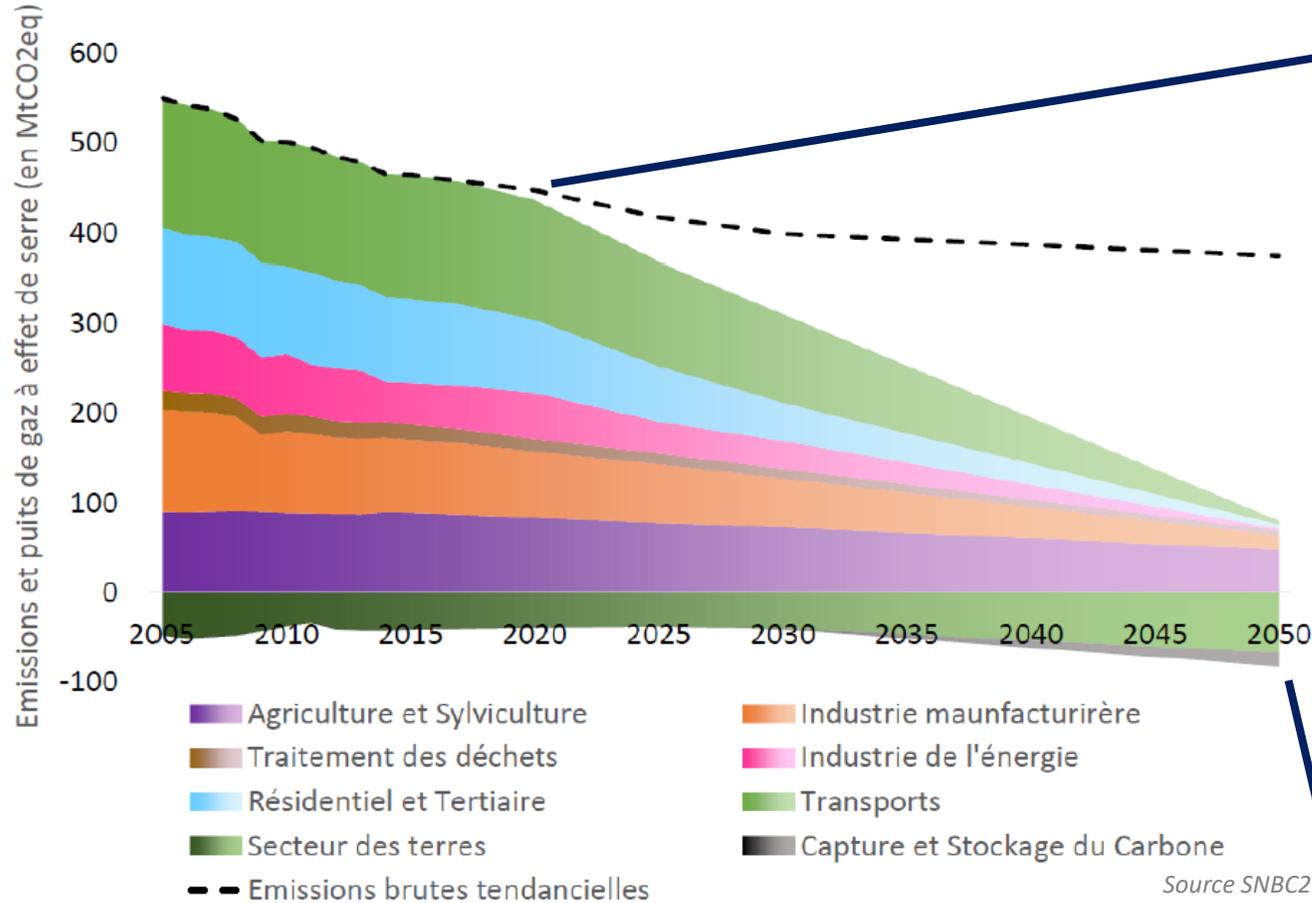
Source : IEA, 2021



NEUTRALITÉ CARBONE

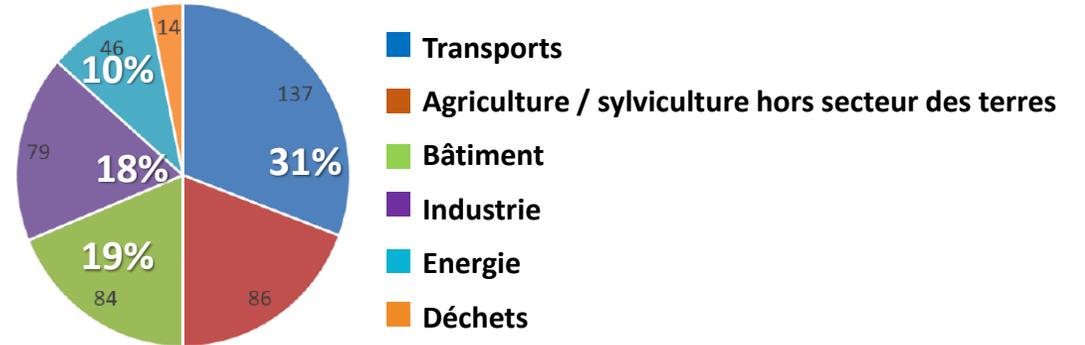
TRAJECTOIRE FRANÇAISE

CLIMAT, ENVIRONNEMENT ET ECONOMIE CIRCULAIRE



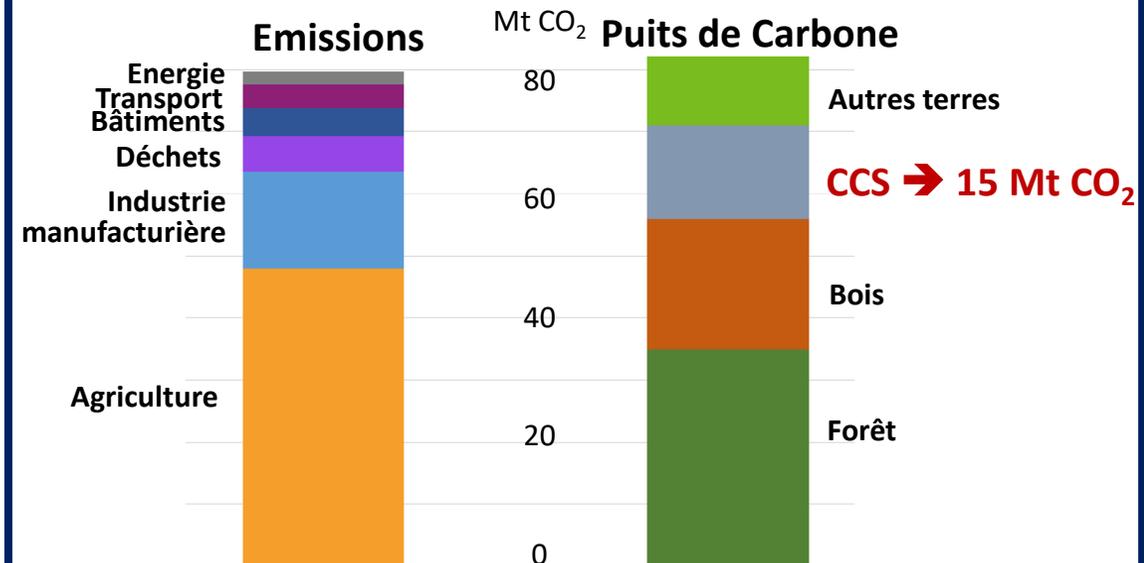
@2018

445 Mt CO₂
émissions de GÉS



@2050

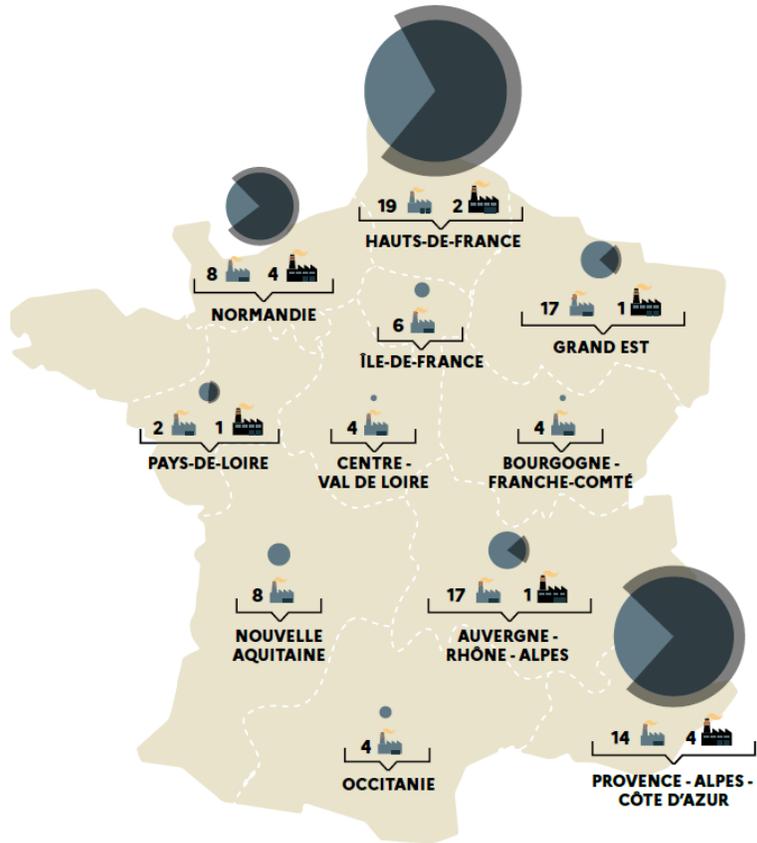
80 Mt CO₂
incompressibles à compenser



- Décarbonation de la production d'énergie
- Réduction des consommations énergétiques
- Réduction des émissions non liées à la consommation d'énergie
- Augmentation des puits de carbone (naturels et technologiques)

LE CCUS EN FRANCE

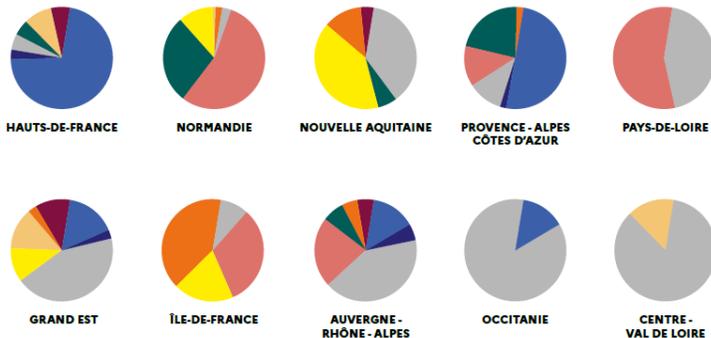
Régions identifiées par l'ADEME



Volume total (MtCO₂)

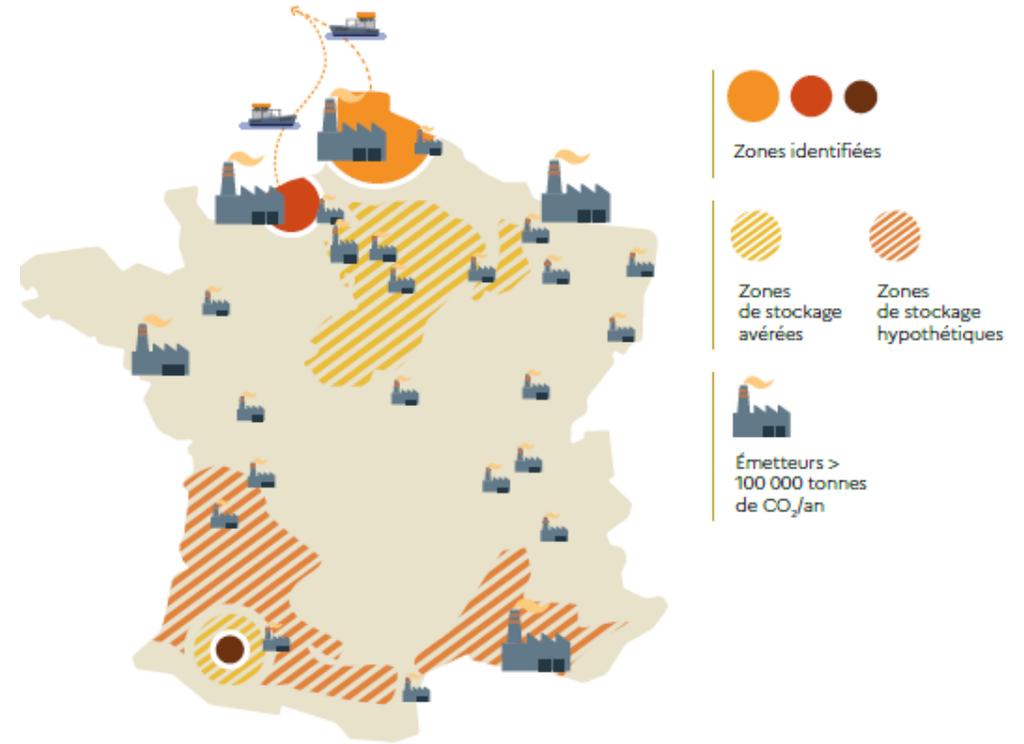


Nombre de sites



Secteur des sites émetteurs

- Sidérurgie
- Aluminium
- Ciment et autres
- Raffineries
- Chimie (sans ammoniac)
- Ammoniac
- IAA
- Chaleur
- Autre (Verre, céramiques...)



Zones identifiées

Zones de stockage avérées / Zones de stockage hypothétiques

Émetteurs > 100 000 tonnes de CO₂/an

Hauts-de-France (Dunkerque) 15 MtCO₂/an

- ⊕ Possibilité de stockage offshore (avec la Mer du Nord)
Gros volumes de CO₂ pour la mise en place d'infrastructures de transport de CO₂
- ⊖ Verrou réglementaire à lever sur la possibilité d'exporter les émissions de CO₂ hors du territoire et par bateau
Coût minimal estimé à 100 €/t CO₂

Normandie (Le Havre-Rouen) 6 MtCO₂/an

- ⊕ Interconnexion avec le hub CO₂ de Dunkerque pour stockage offshore (avec la Mer du Nord)
Gros volumes de CO₂ pour la mise en place d'infrastructures de transport de CO₂
- ⊖ Verrou réglementaire à lever sur la possibilité d'exporter les émissions de CO₂ hors du territoire et par bateau
Coût minimal estimé à 125 €/t CO₂
Pérennité des sites (secteurs industriels qui seront impactés par la transition énergétique)

Nouvelle Aquitaine (Lacq) 3 MtCO₂/an

- ⊕ Infrastructures existantes (ancien gisement de gaz)
Coût minimal estimé à 88 €/t CO₂
- ⊖ Faible volume de CO₂
Zone de stockage onshore

LE CCUS EN FRANCE

- Nécessité de déployer le CCUS avant 2030
- Développement de clusters pour mutualiser les infrastructures
- Des compétences françaises sur l'ensemble de la chaîne CCUS

Overview of existing and planned CCUS facilities

Norway

- 1. Sleipner CO₂ Storage***
- 2. Snøhvit CO₂ Storage***
3. Northern Lights*

Republic of Ireland

4. ERVIA

UK

5. Acorn*
6. Caledonia Clean Energy
7. H21 North of England*
8. Liverpool-Manchester Hydrogen Cluster
9. Net Zero Teesside*
10. Humber Zero Carbon Cluster*
11. Liverpool Bay Area CCS Project*

France

12. Lacq*
- 13. DMX Demonstration in Dunkirk***

Belgium

14. Leilac
15. Port of Antwerp*

Sweden

16. Preem CCS*

The Netherlands

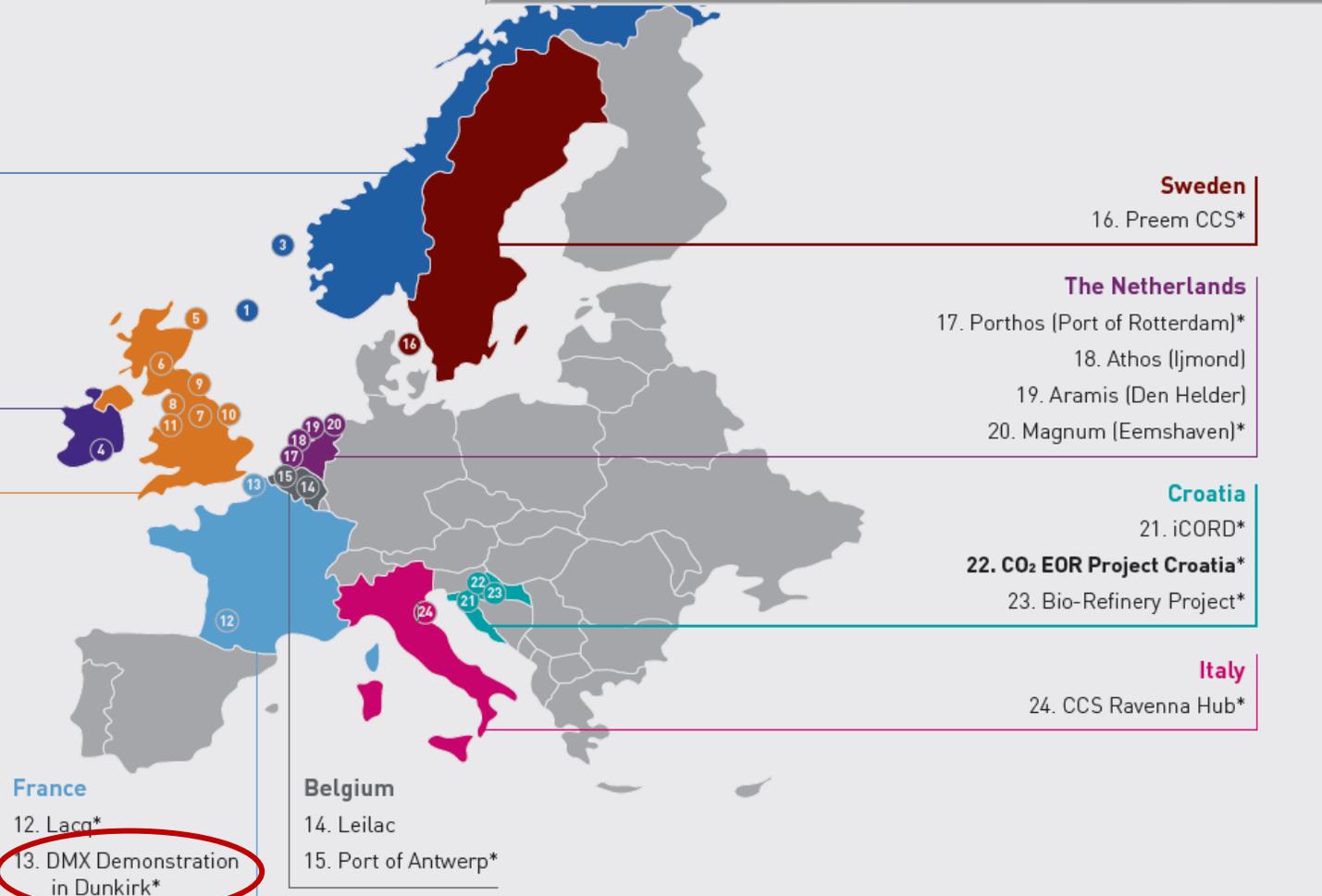
17. Porthos (Port of Rotterdam)*
18. Athos (Ijmond)
19. Aramis (Den Helder)
20. Magnum (Eemshaven)*

Croatia

21. iCORD*
- 22. CO₂ EOR Project Croatia***
23. Bio-Refinery Project*

Italy

24. CCS Ravenna Hub*



* Project where IOGP members are involved
Projects listed in **bold** are in operation

> 100

Références de projets collaboratifs R&D

> 20

Publications scientifiques & communications /an

> 70

Familles de brevets

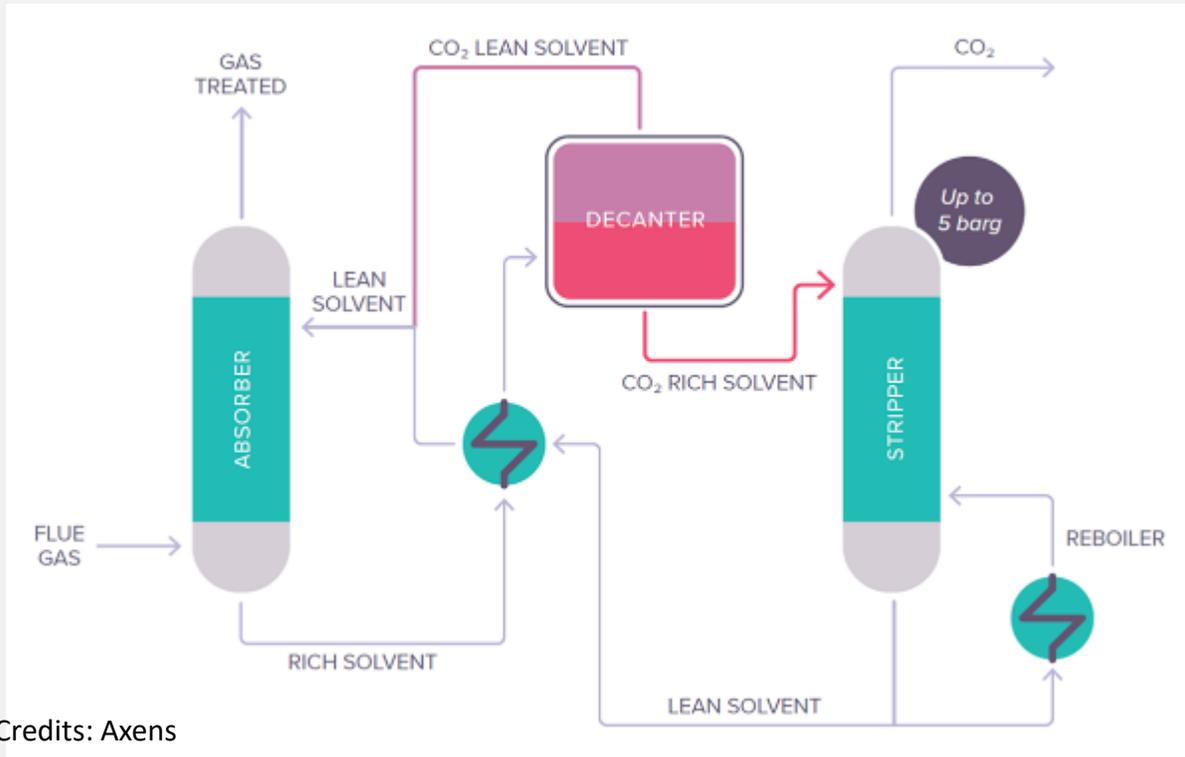


Contribution dans les réseaux nationaux et européens

	Présidence IFPEN		

Technologie de captage de CO2

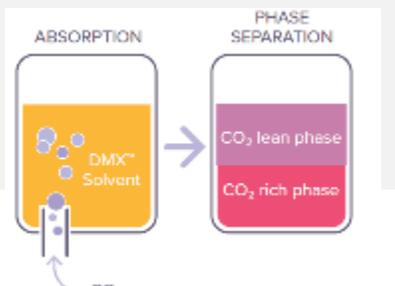
Le procédé DMX™



Avantages

- 30% cout de captage
 - Consommation plus faible d'énergie : 2.3-2.9 GJ/tonCO2
 - Solvant stable thermiquement : Faible dégradation du solvant
 - Possibilité de produire du CO2 en pression (jusqu'à 5 barg) : Coûts de compression plus faibles
- Fort taux de captage (>90%) et haute pureté du CO2

Credits: Axens



Credits: IFPEN

+10 ANS DE RECHERCHE SUR LE CAPTAGE CO2 PAR DMX

Climate,
environment
and circular
economy

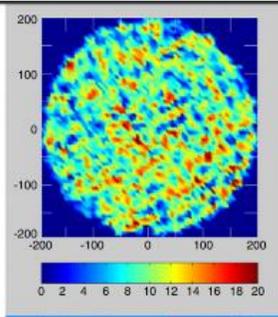
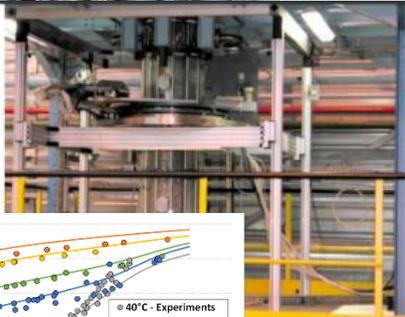
Renewable
energies

Responsible
oil and gas

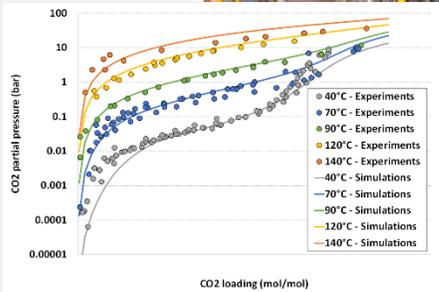
Selection du Solvant



Simulations et experiences en
maquette froide



Credits: IFPEN



Modélisation du Procédé

Thermodynamique,
cinétique, propriétés
physico chimiques

Laboratoire

Pilote
0.2 kg CO₂/h

Demonstration
industrielle
0.5 tCO₂/h



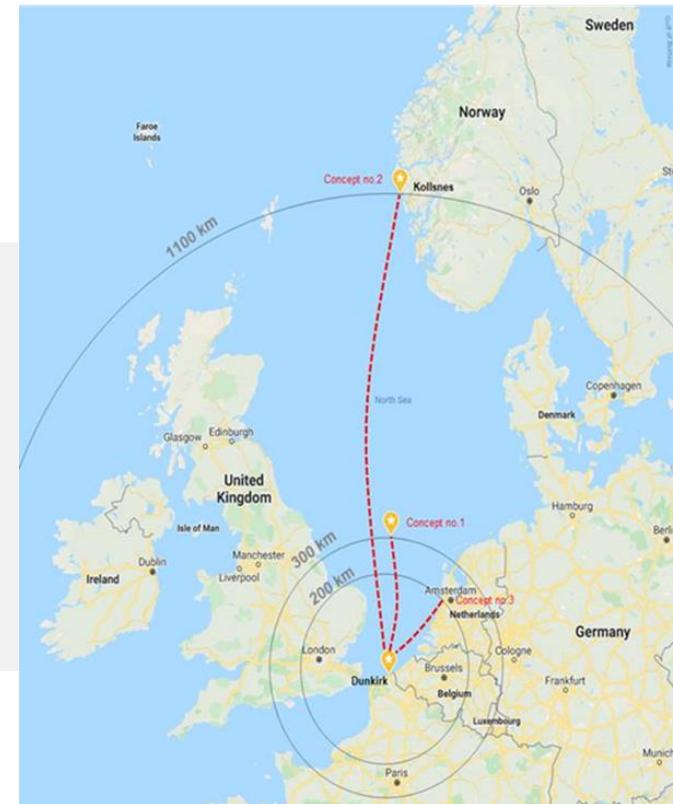
Credits: IFPEN



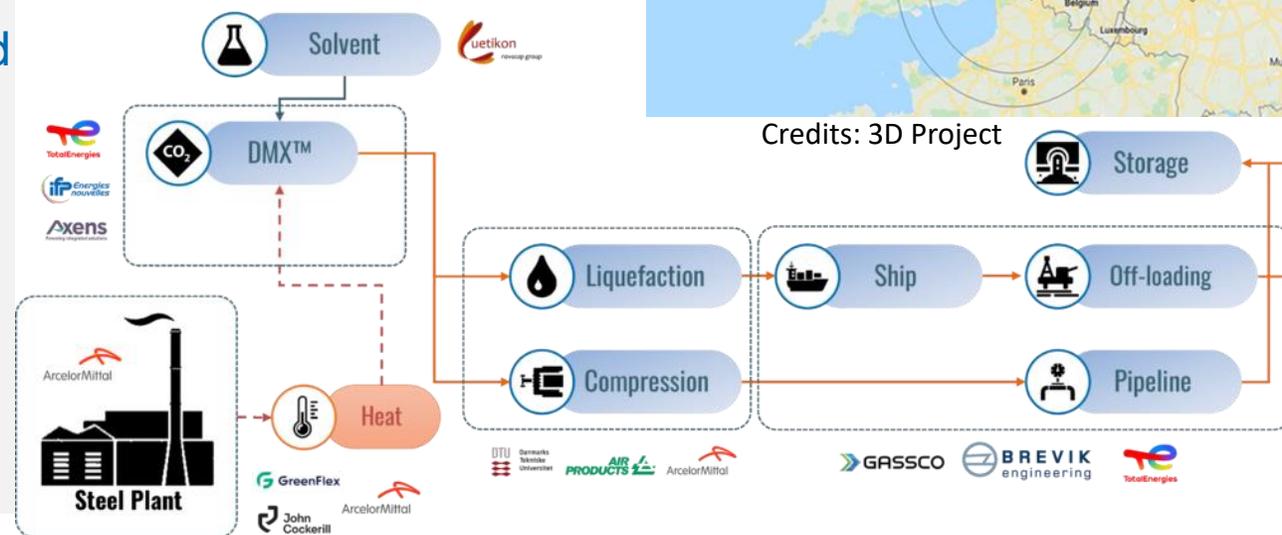
Credits: IFPEN

PROJET 3D EN BREF

- **Projet H2020 (Financement Européen)**
- **Objectives**
 - Démontrer le procédé **DMX™** pour le captage de CO₂
 - Construire une unité de captage de CO₂ (0.5 tCO₂ /h) sur le site d'ArcelorMittal à Dunkerque
 - Préparer le 1^{er} démonstrateur de captage, conditionnement et transport de CO₂
 - > 1M tCO₂eq/y
 - Etudier le Hub CCS 2035 Dunkerque- Mer du Nord
 - 10 MtCO₂eq/y
- **Début du projet : Mai 2019**
- **Durée: 48 mois + 18 mois d'extension**



Credits: 3D Project



Social Sciences and Humanities, Life Cycle Analysis and Cost

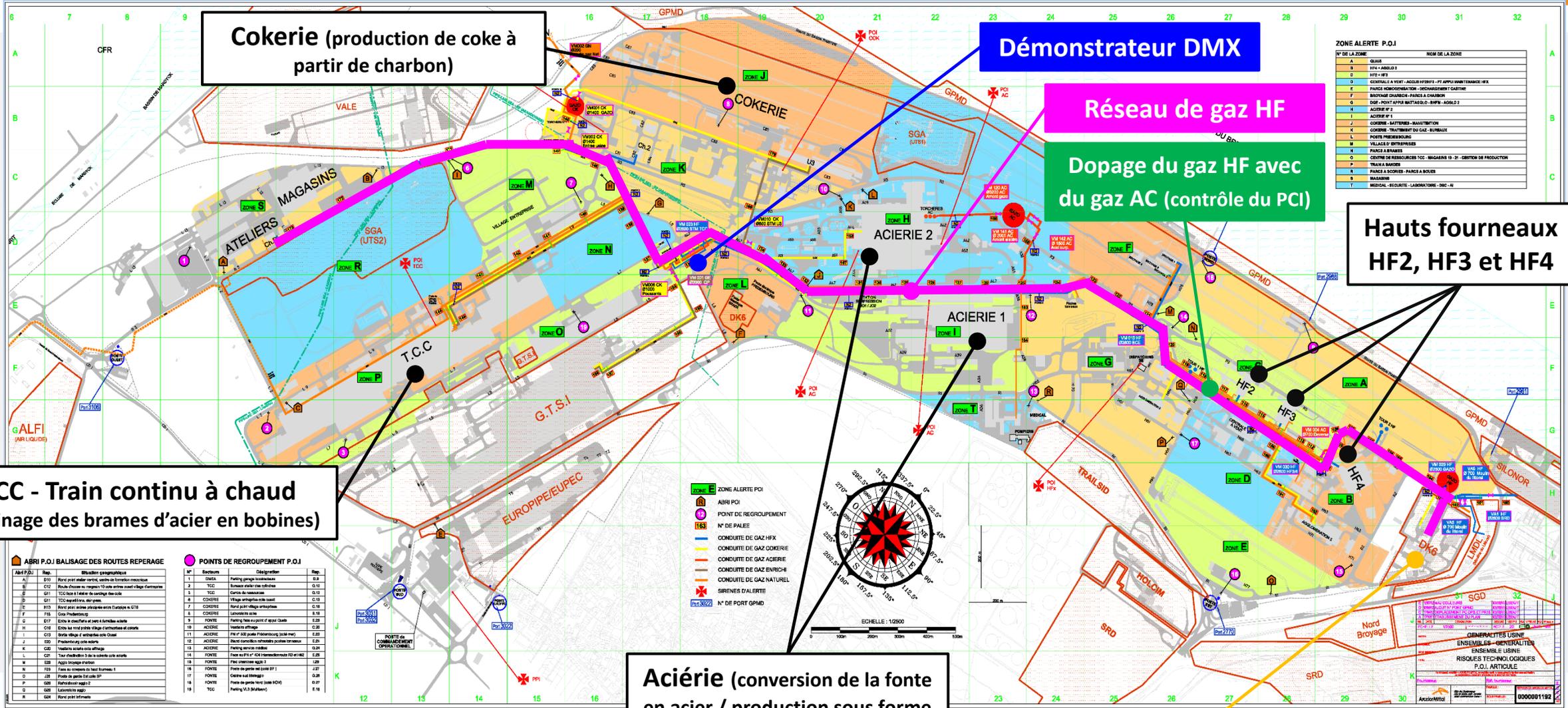
CCS cluster 2035 in Dunkirk

LE DÉMONSTRATEUR DMX SUR LE SITE AMF DUNKERQUE

Climate,
environment
and circular
economy

Renewable
energies

Responsible
oil and gas



Cokerie (production de coke à partir de charbon)

Démonstrateur DMX

**Réseau de gaz HF
Dopage du gaz HF avec du gaz AC (contrôle du PCI)**

Hauts fourneaux HF2, HF3 et HF4

TCC - Train continu à chaud (laminage des brames d'acier en bobines)

Acierie (conversion de la fonte en acier / production sous forme de brames)

DK6 (production d'électricité à partir de GHF et GAC)

ZONE ALERTE P.O.I

N° DE LA ZONE	NOM DE LA ZONE
A	GAZ
B	HF4 - AGGLO 2
C	HF4 - HF3
D	GENTILLE & VERT - AGGLO HFHF1 - PT APPUI MAINTIENNE HF3
E	PANCS MONDOPANON - INCINERATION COASTINE
F	BOUTIQUE DIVISION - PANCS & COUVERT
G	DOF - PORT APOTI MATIASLO - HFHF - AGGLO 2
H	ACIERIE # 2
I	ACIERIE # 1
J	COBRIE - MATIERES - MAINTIENNE
K	COBRIE - TRAITEMENT DU GAZ - ALUMINAUX
L	POSTE PRODUCTION
M	VILLAGES D'ENTREPRISES
N	PANCS A BRAMES
O	CENTRE DE RESSOURCES SCC - REGIERS 10 - 21 - CRITON DE PRODUCTION
P	TRAIKA SANDS
R	PANCS A SCORIES - PANCS A BOUES
S	BALEINE
T	MEDICAL - SECURITE - LABORATOIRE - SEC - AJ

ABRI P.O.I. BALISAGE DES ROUTES REPERAGE

Abri P.O.I.	Rep.	Situation géographique
A	101	Rond point de la gare, entrée du site industriel
B	102	Rond point de la gare, entrée du site industriel
C	103	Rond point de la gare, entrée du site industriel
D	104	TCC dans le secteur de la gare
E	105	TCC dans le secteur de la gare
F	106	Rond point de la gare, entrée du site industriel
G	107	Rond point de la gare, entrée du site industriel
H	108	Rond point de la gare, entrée du site industriel
I	109	Rond point de la gare, entrée du site industriel
J	110	Rond point de la gare, entrée du site industriel
K	111	Rond point de la gare, entrée du site industriel
L	112	Rond point de la gare, entrée du site industriel
M	113	Rond point de la gare, entrée du site industriel
N	114	Rond point de la gare, entrée du site industriel
O	115	Rond point de la gare, entrée du site industriel
P	116	Rond point de la gare, entrée du site industriel
Q	117	Rond point de la gare, entrée du site industriel
R	118	Rond point de la gare, entrée du site industriel
S	119	Rond point de la gare, entrée du site industriel
T	120	Rond point de la gare, entrée du site industriel

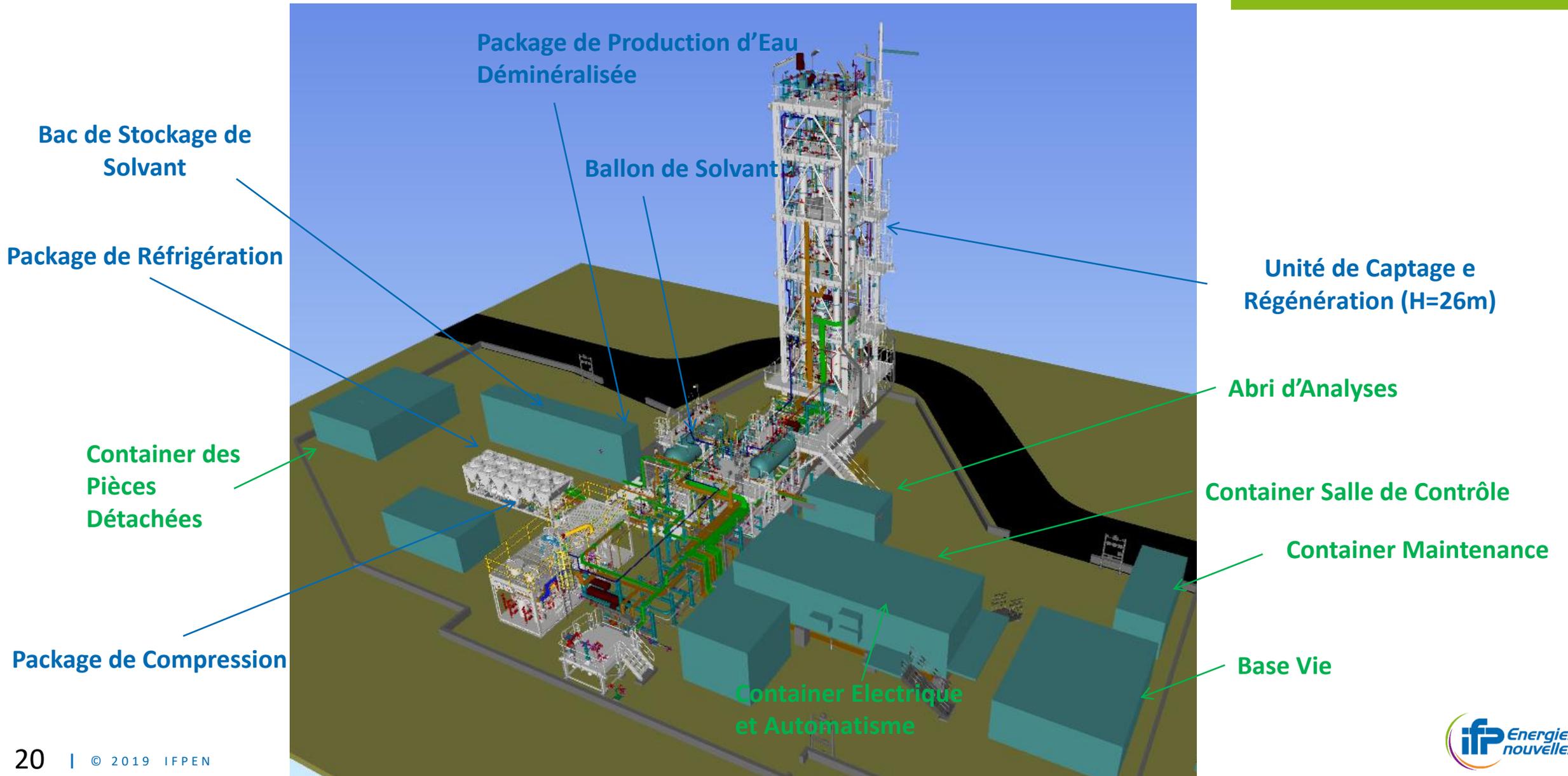
POINTS DE REGROUPEMENT P.O.I

N°	Structure	Désignation	Rep.
1	TOC	Bâtiment usine	0.1
2	TOC	Bâtiment usine	0.1
3	TOC	Bâtiment usine	0.1
4	TOC	Bâtiment usine	0.1
5	TOC	Bâtiment usine	0.1
6	TOC	Bâtiment usine	0.1
7	TOC	Bâtiment usine	0.1
8	TOC	Bâtiment usine	0.1
9	TOC	Bâtiment usine	0.1
10	TOC	Bâtiment usine	0.1
11	TOC	Bâtiment usine	0.1
12	TOC	Bâtiment usine	0.1
13	TOC	Bâtiment usine	0.1
14	TOC	Bâtiment usine	0.1
15	TOC	Bâtiment usine	0.1
16	TOC	Bâtiment usine	0.1
17	TOC	Bâtiment usine	0.1
18	TOC	Bâtiment usine	0.1
19	TOC	Bâtiment usine	0.1



VUES DE LA MAQUETTE 3D : SITE DE 50 M X 80 M

NEW ENERGIES



Credits : IFPEN



- Site
 - Site 50 m x 80 m
 - Hauteur 26 m
- Personnel sur site
 - 3 ingénieurs + 5 techniciens
- Conditions
 - Inventaire de solvant : **10 m³ environ** de solution aqueuse
 - Débit de gaz à traiter: **1100 Nm³/h sec**
 - Débit de solvant: **6.9 m³/h**
 - Capacité de l'unité: **0.5 tonne CO₂/h**
 - Taux de captage CO₂ visé: **90 à 99%** selon les cas d'étude

MAR-OCT 2022 : FIN DE CONSTRUCTION ET COMMISSIONNING DU DEMONSTRATEUR DMX A DUNKERQUE SUR LE SITE D'ARCELORMITTAL

Climate,
environment
and circular
economy

Renewable
energies

Responsible
oil and gas



Erection du module des colonnes



Connection de l'unité au site d'ArcelorMittal



Equipe de Commissioning



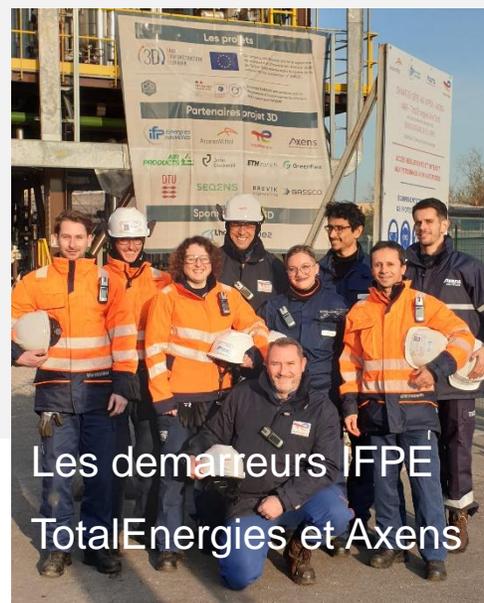
OCTOBRE-AVRIL 2023 : START-UP



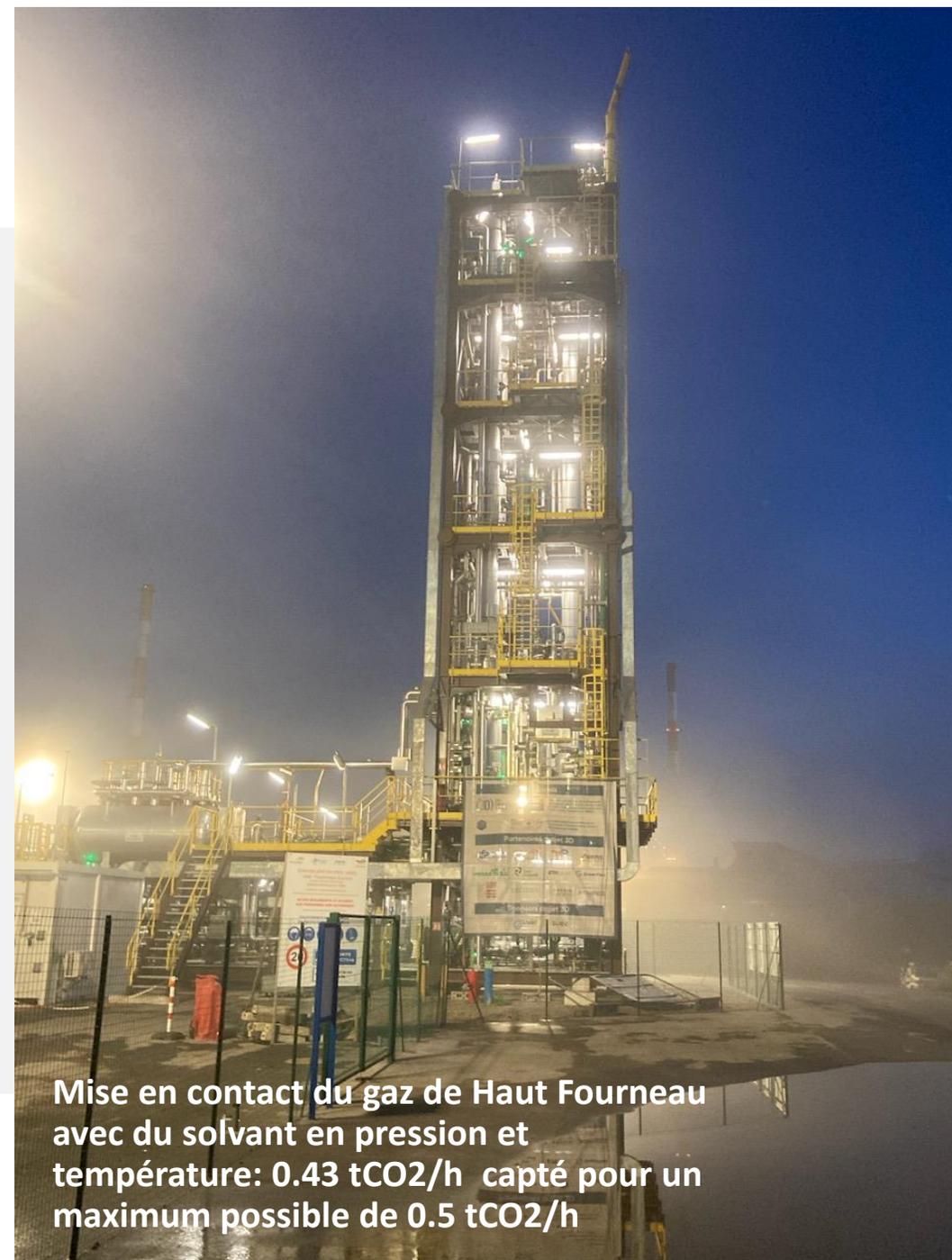
Démarrage en direct
Dunkerque/Solaize



Démarrage en direct
Dunkerque/Solaize



Les demarreurs IFPE
TotalEnergies et Axens



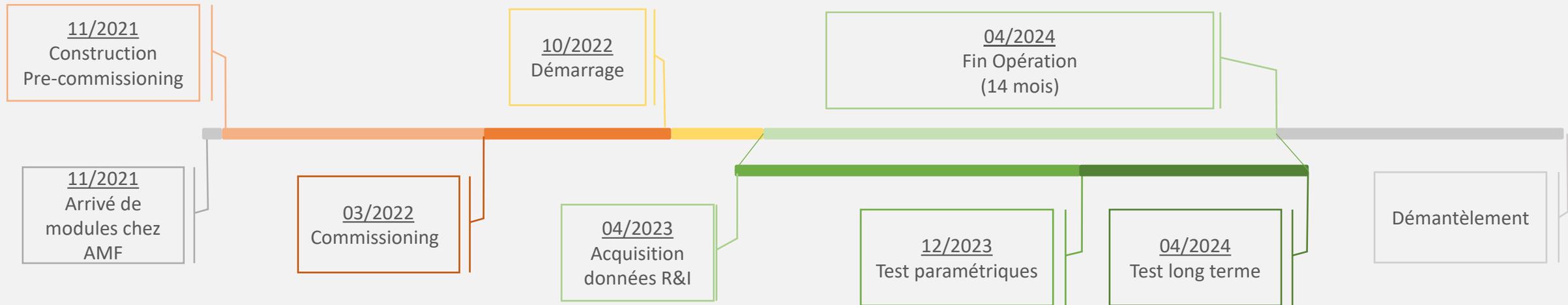
Mise en contact du gaz de Haut Fourneau
avec du solvant en pression et
température: 0.43 tCO₂/h capté pour un
maximum possible de 0.5 tCO₂/h

ETAPES DE LA DÉMONSTRATION

Climate,
environment
and circular
economy

Renewable
energies

Responsible
oil and gas



● Première phase de tests paramétriques réalisée avec succès

- Performances du procédé DMX conformes aux attentes
- Bonne stabilité du solvant (formulation stable et faible dégradation)
- Bonne prédiction du simulateur du procédé DMX pour le design et l'optimisation des futures unités industrielles

LA SUITE DE LA DÉMONSTRATION ET DU PROJET 3D UNITÉ INDUSTRIELLE

Climate,
environment
and circular
economy

Renewable
energies

Responsible
oil and gas

- **Project de décarbonation AMF**
 - Partie résiduelle de CO₂ à capter pour stockage et/ou utilisation
- **Etudes réalisés dans le projet 3D : unité industrielle capable de capter 1MtonCO₂/an**
- **Technologie Française**
- **Technologie commercialisée par Axens à partir de 2025**

CONCLUSION

LE DMX, TECHNOLOGIE D'AVENIR

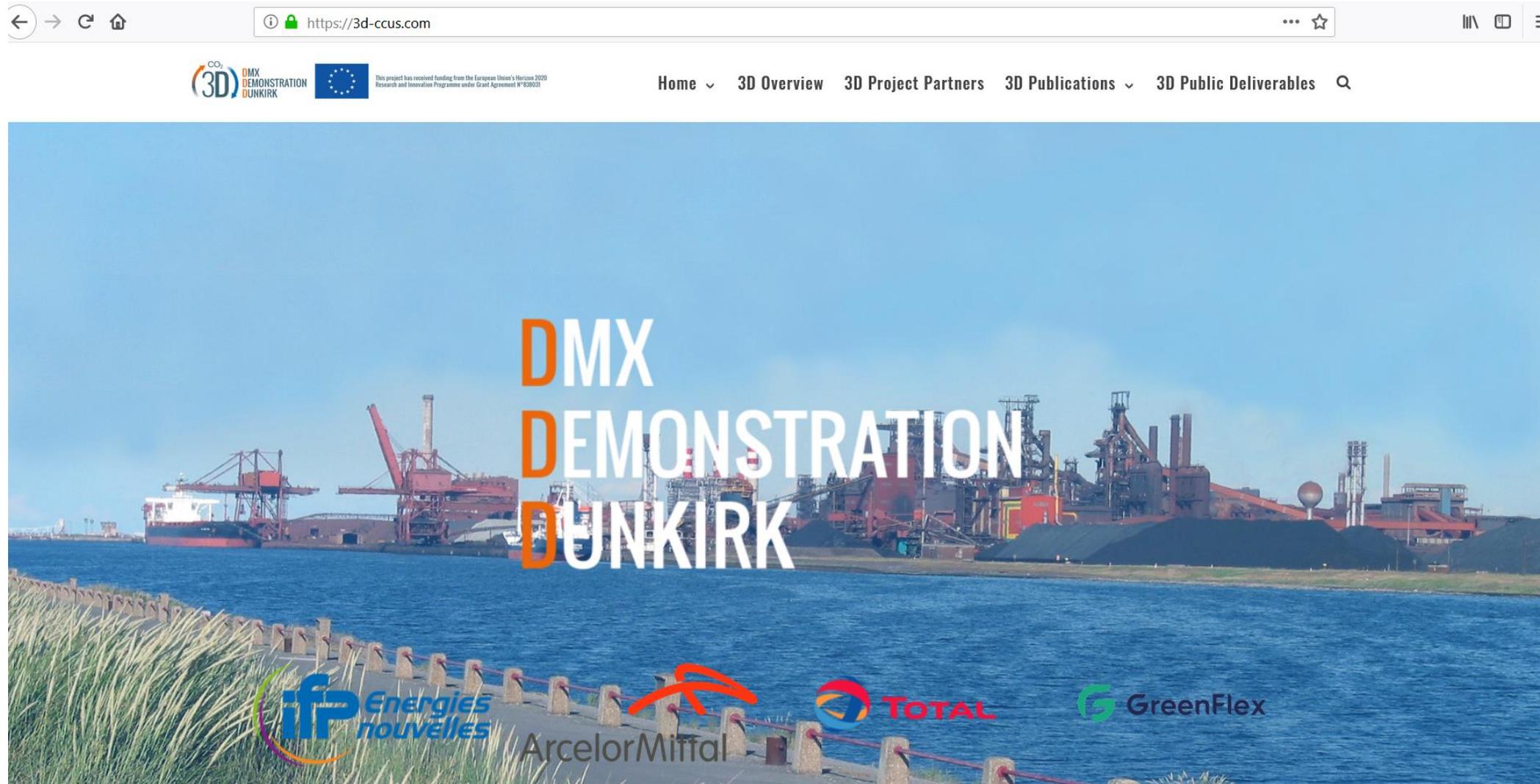
Climate,
environment
and circular
economy

Renewable
energies

Responsible
oil and gas

- **Technologie DMX = une réponse au besoin de réduction des émissions de CO2**
 - Développement d'une industrie bas carbone
- **Technologie Française et un savoir faire Français**
 - Export de la technologie DMX à l'International (renforcement des équipes AXENS et des équipementiers Français)
- **Création de valeur et emplois en France**
 - Création d'emplois pour la mise en œuvre de la chaîne CCS
- **Trafic navire CO2 dans les ports**

For more information... <https://3d-ccus.com/>



ACKNOWLEDGEMENT

- This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement No 838031.



- Le projet DINAMX est soutenu par le Programme d'investissements d'avenir (PIA) opéré par l'ADEME



- Sponsors

