



## Séminaire national CSCV Focus R&D

Date 13 décembre 2021



13 décembre 2021 – séminaire CSCV

# 20 ans de recherches françaises

**Captage : situation et perspectives**

**Gauthier Perdu - TechnipEnergies**

Contributeurs: F. Del Corso (Air Liquide) – C. Streicher  
(Axens) – Mounir Mecheri (EdF) – Eric Favre (Université de



*Pilote DMX™ de Axens sur le site  
d'ArcelorMittal à Dunkerque*



# Le captage de CO<sub>2</sub> est une réalité industrielle

Les développements à ce jour captent 40 megatonnes/an



- Des unités de captages sont en opération et purifient les fumées de leur CO<sub>2</sub>
- Le stockage géologique du CO<sub>2</sub> est pratiqué à grande échelle, notamment en Mer du Nord, depuis 1998 (Sleipner Vest – 1 million de tonnes par an) et récemment en Australie (4 mtpa)
- Le CO<sub>2</sub> est capté majoritairement avec des technologies à solvant et cryogénie
- De nombreux projets sont en cours d'implantation et les investissements se multiplient



Bras de chargement de CO<sub>2</sub> liquide  
Technip Energies – sélectionnés pour  
Northern Lights (2021)



Captage et sequestration du CO<sub>2</sub> sur les  
Nouvelles usines NFE LNG de Qatargas (2021)



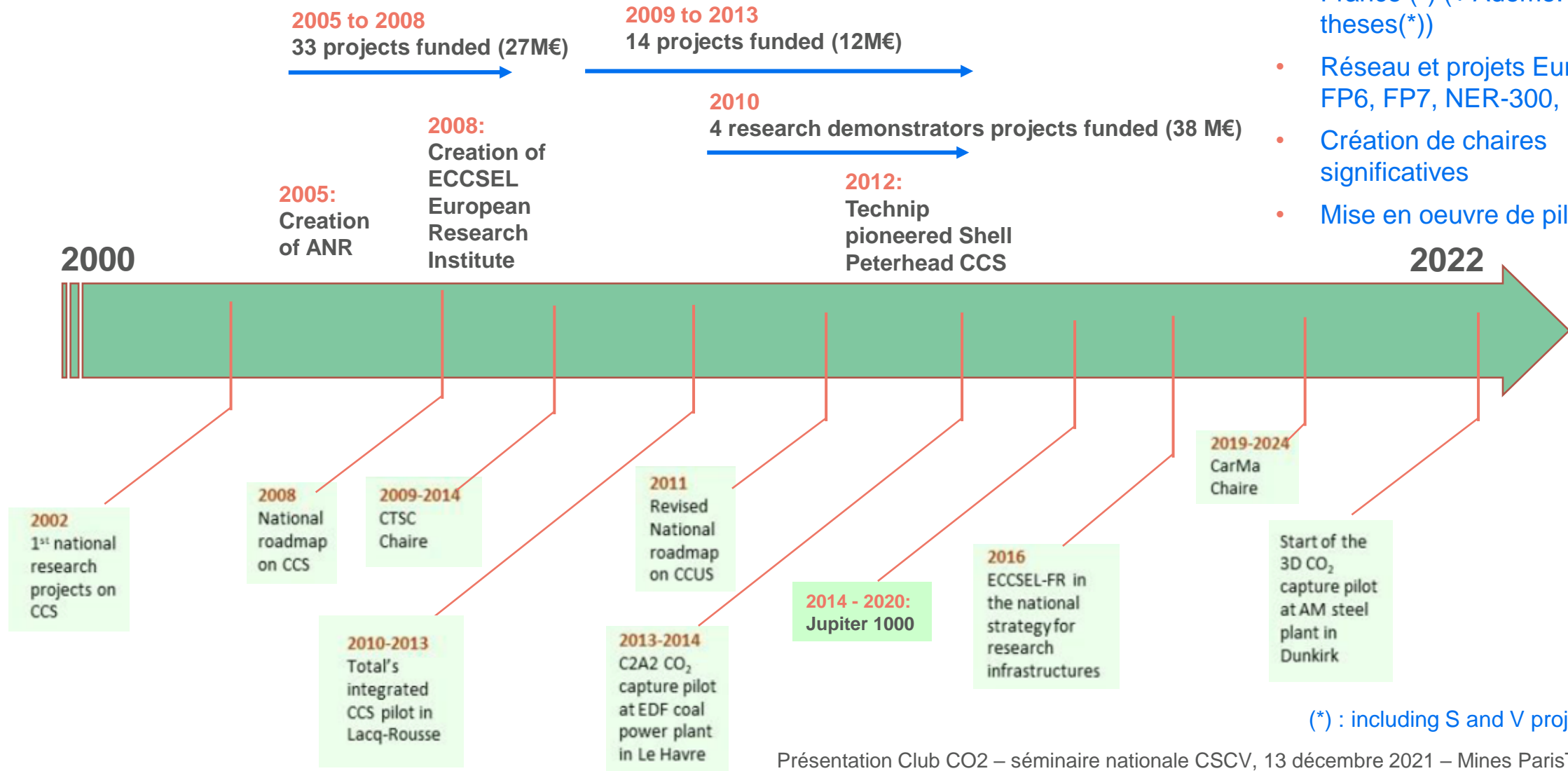
Captage de CO<sub>2</sub> sur une centrale de  
production d'électricité au Canada (3300  
tonne /j) depuis 2014

# 20 ans de recherche française sur le captage



Un contribution significative à l'essor des technologies

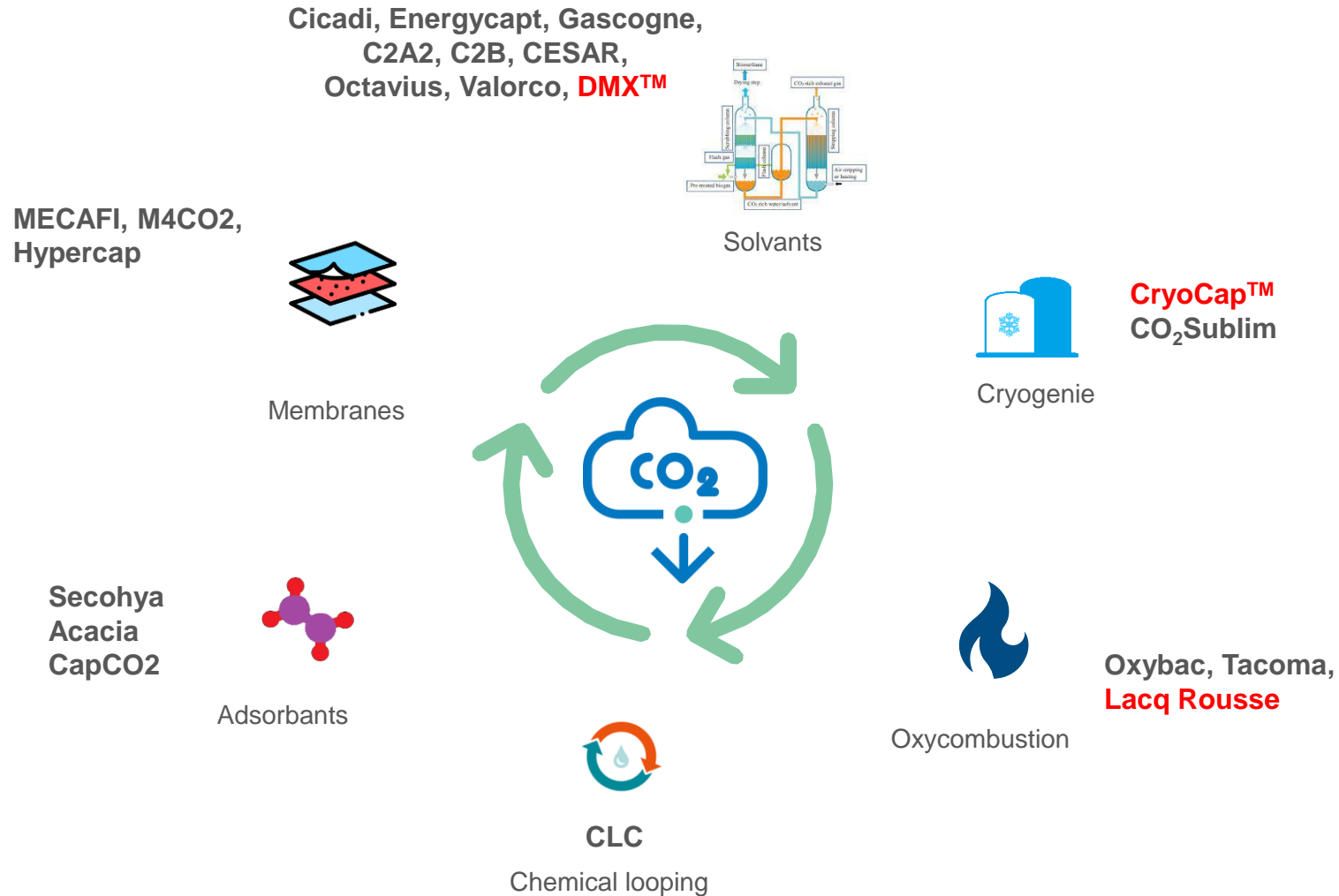
- 47 projets financés par la France (\*) (+ Ademe: 32 and 40 theses(\*\*))
- Réseau et projets Européens FP6, FP7, NER-300, H2020
- Création de chaires significatives
- Mise en oeuvre de pilotes



(\*) : including S and V projects

# 20 ans de recherche sur le captage

Les innovations principales, certaines ont atteint la maturité industrielle



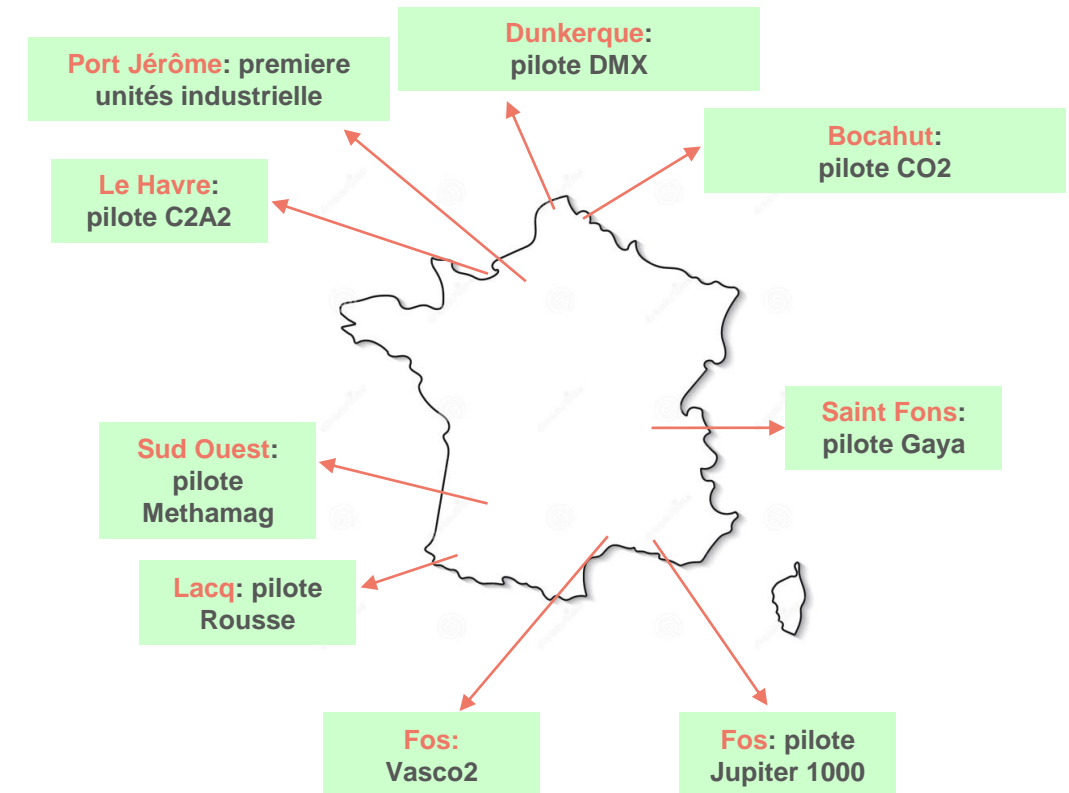
# 20 ans de recherche sur le captage



De nombreux projets collaboratifs pilotés par des entités françaises (\*)

- CASTOR (2004-2008), led by IFPEN
- CESAR (2005-2009) – participation of IFPEN
- INCA-CO2 (2004-2008) led by IFPEN
- ULCOS (2004-2010) led by ArcelorMittal
- GRASP (2006-2010) led by IPGP
- STRACO2 (2008-2009), led by BRGM
- COCATE (2010-2012) , led by IFPEN
- OCTAVIUS (2012-2017), led by IFPEN
- 3D (2019-2023), led by IFPEN
- C2FUEL (2019-2023), led by ENGIE
- LEILAC2 (2020-2025), led by CALIX – EUROPE
- TGR-BF project: led by ArcelorMittal
- C2A2 project: led by EDF
- Pil Ansu project: led by Armines
- CRYOCAP H2 (2011-2016): led by Air Liquide
- IGAR (2018-2022): led by ArcelorMittal
- DINAMX (2020-2024): led by Axens

Supportée par de nombreux démonstrateurs & pilotes de captage



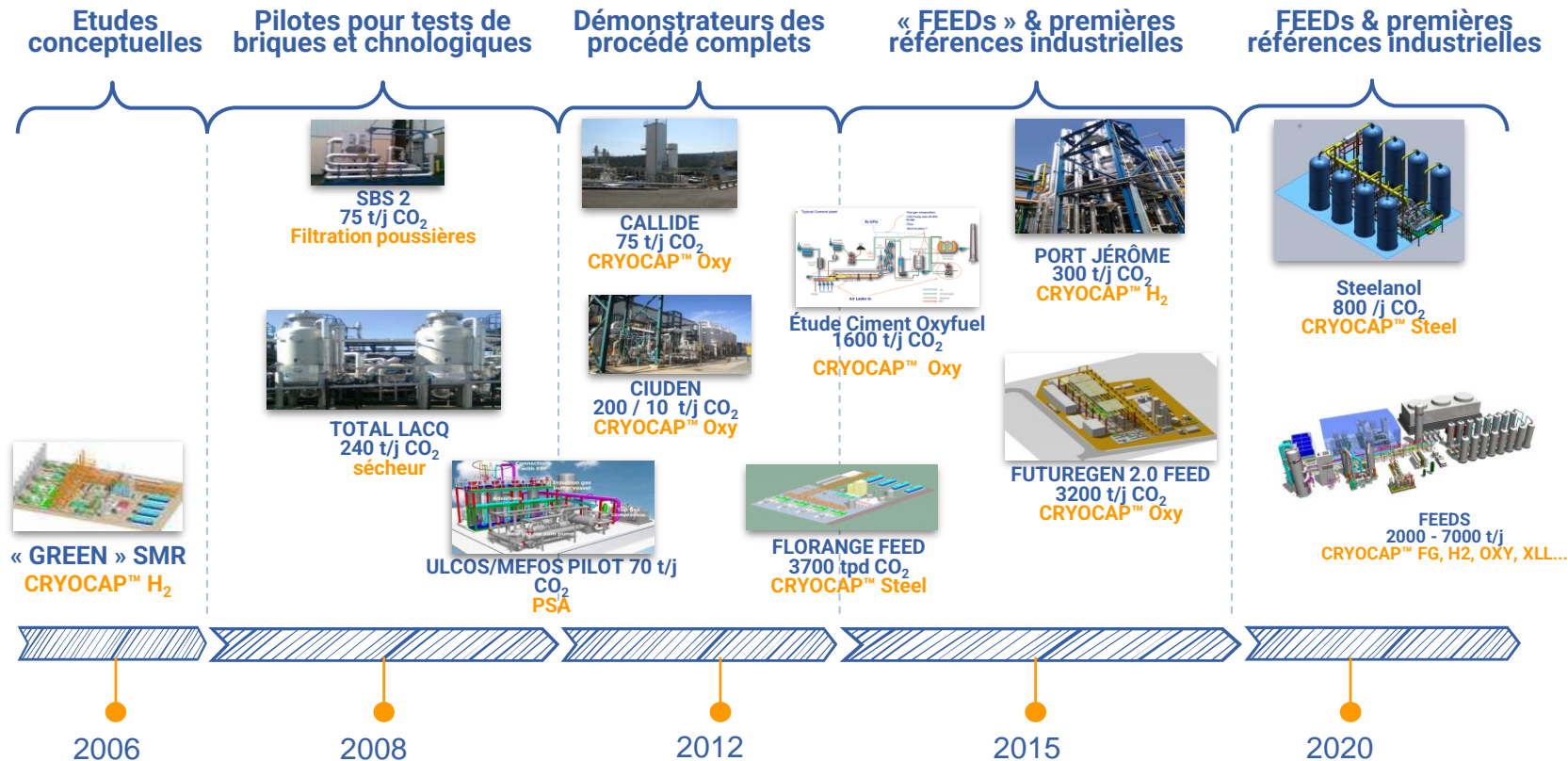
(\*) : liste non exhaustives des projets et pilotes – donnée pour information

(\*\*) in GHGT-15, 2021: The gradual integration of CCUS into national and regional strategies for climate change mitigation, energy transition, ecological transition, research and innovation: an overview for France



# De la R&D à l'échelle industrielle

## Exemple du CryoCap™ Air Liquide



H<sub>2</sub> Production



CRYOCAP™ H<sub>2</sub>

Oxycombustion



CRYOCAP™ OXY

Steel Production



CRYOCAP™ Steel

>15% Flue Gas (Cement, Refineries, H<sub>2</sub>...)



CRYOCAP™ FG

Natural Gas



CRYOCAP™ NG

CO<sub>2</sub> Liquefaction



CRYOCAP™ XLL

# De la R&D à l'échelle industrielle

## Exemple R&D Axens



Capacité =  
0.5 t CO<sub>2</sub>  
capturé/h



Démarrage:  
début 2022



Livré sur le site  
ArcelorMittal  
à Dunkerque



In Salah | Séchage CO<sub>2</sub>



Solaize | Essais Pilote



Sleipner | AdvAmine™



Brindisi | Essais Pilote



Rhourde Nouss | Séchage CO<sub>2</sub>



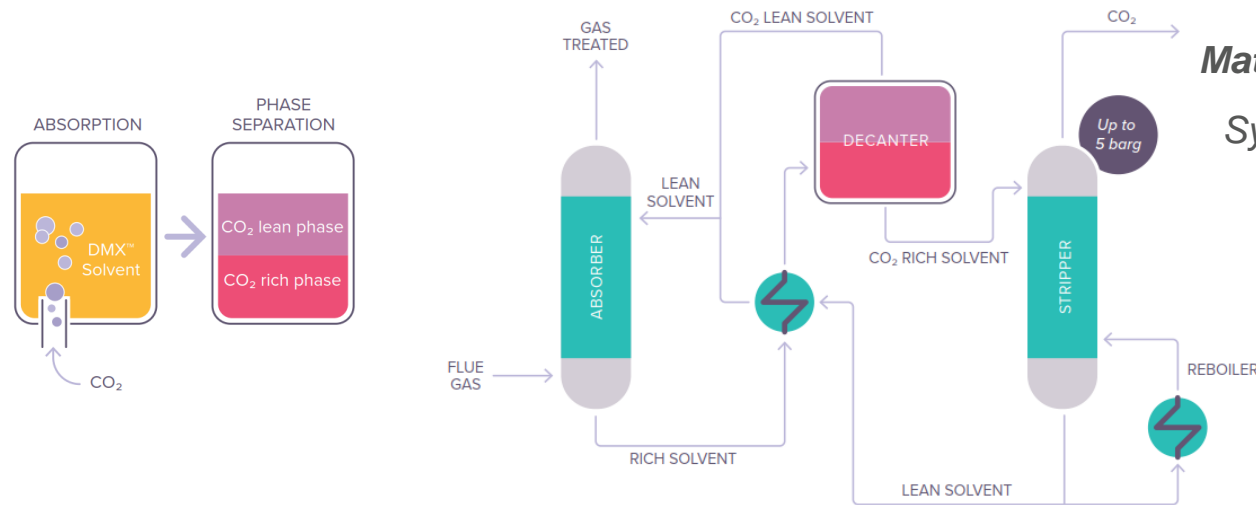


# Le procédé DMX™



## ■ Procédé post-combustion par solvant démixant

## ■ 15 ans de recherche @ IFPEN



- Recyclage direct d'une fraction du solvant par separation L/L
  - Débit réduit grâce à sa forte capacité d'absorption
  - Réduction de l'énergie de régénération par rebouillage du solvant
  - Production de CO<sub>2</sub> sous 5 barg
- ➔ Réduction de 30 % sur le coût énergétique du captage

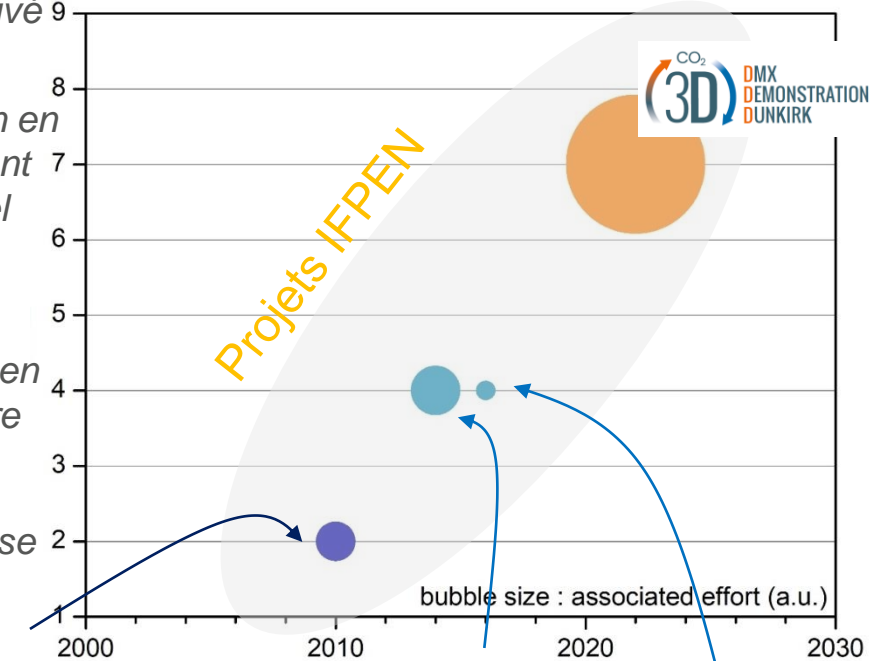
## Maturité technologique

Système réel prouvé

Démonstration en environnement opérationnel

Validation en laboratoire

Principes de base



Tests en labo @ IFPEN



Année

Cas Centrale à charbon

Cas Sidérurgie



OCTAVIUS  
OPTIMISATION OF CO<sub>2</sub> CAPTURE  
TECHNOLOGY ALLOWING VERIFICATION  
AND IMPLEMENTATION AT UTILITY SCALE



# Procédé Combustion en boucle chimique



## CHEERS Consortium



## Applications

- Besoins énergétiques industriels (vapeur, power)
- Chaudière biomasse ou CSR
- Production d'électricité

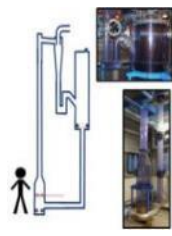
TGA



Batch FB unit



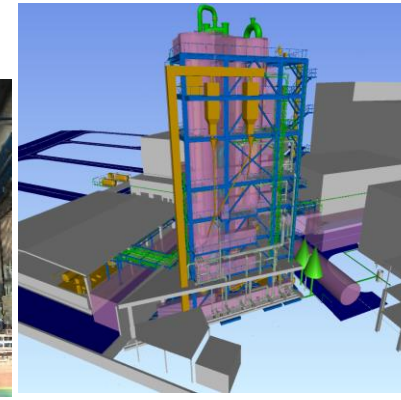
22 patents  
60 scientific pubs



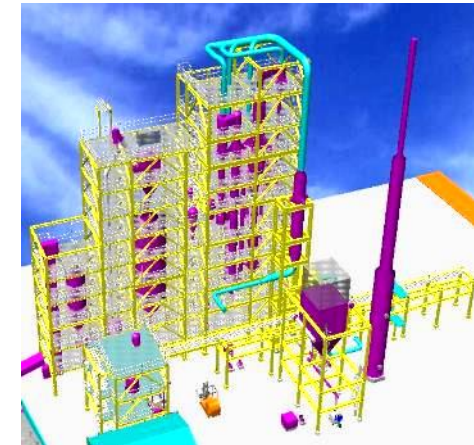
10 kWth



3 MWth Demo Unit



30-60 MWth



PHASE 1 : PROOF OF CONCEPT  
(TRL3)

PHASE 2: LAB SCALE DEMONSTRATION  
(TRL4)

PHASE 3 : SEMI-IND  
DEMONSTRATION (TRL6)

PHASE 4 : INDUSTRIAL DEMO/  
COMMERCIALIZATION (TRL7)

2008

2010

2017

2023-25





# De la R&D à l'échelle industrielle

## Le Pilote du Havre

Captage sur la centrale Charbon du Havre



ALSTOM



Capacité =  
1.0 t CO<sub>2</sub> capté/hr



Livré sur le site  
d'EDF le Havre



Fonctionnement:  
6 mois en 2014

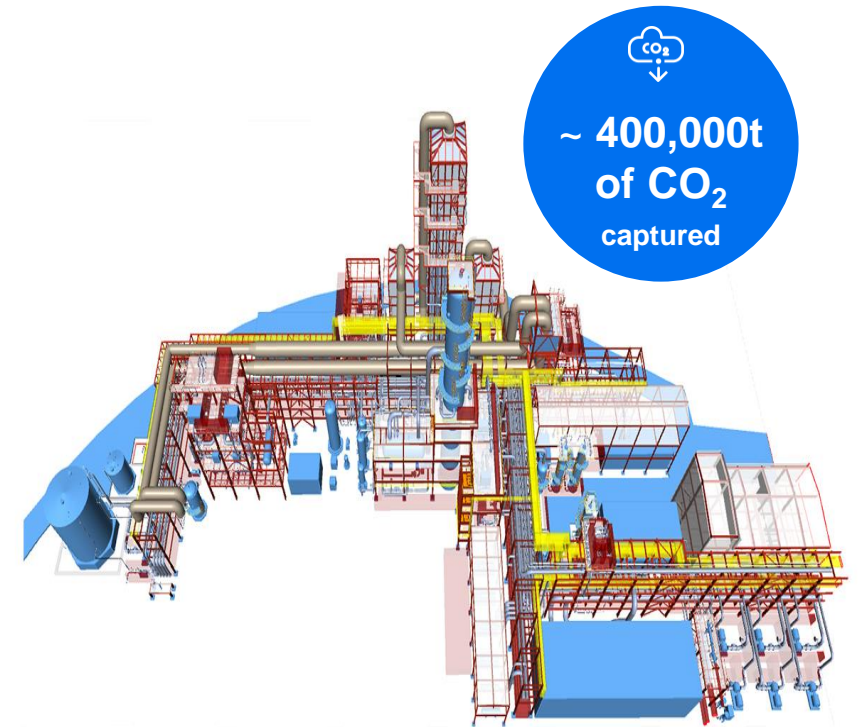




# Et maintenant ?

## Le captage doit continuer de convaincre de sa performance

- Un enjeu majeur pour atteindre les objectifs climatiques
- Une solution complémentaire mais nécessaire
- Les technologies de 1<sup>ere</sup> génération sont fonctionnelles, et bénéficient d'améliorations continues
- Des technologies ont atteint le stade du démonstrateur voire le stade industriel
- Les coûts doivent continuer de baisser
- Des technologies prometteuses ont marqué le pas (liquid ioniques)
- De nouvelles générations sont proposées (électrochimie, membranes), bas TRL
- L'industrialisation reste longue (Sorbents MOF)
- La recherche bas TRL réaccélère
- Un risque: l'illusion technologique



Usine de captage de FOV Fortum dans le projet Long Ship / Northern Lights (2021)



Le CO2 pourrait remplacer le pétrole grâce à cette drôle de machine

# Les perspectives

Des efforts R&D doivent être maintenus pour mettre au point les technologies de rupture



- Supports H2020, AMI, ADEME, ANR
- Solvants, adsorbants, membranes innovants?
- Intensification des procédés, technologies hybrides
- CCS couplé avec CCU
- Combustion CO<sub>2</sub> supercritique (cycle Allam / Netpower):
- Quelques mini-pilotes
- Tests 3D et nouveaux développements DMX
- Cellules électrolytiques
- Développements de membranes
- De nouveaux horizons:



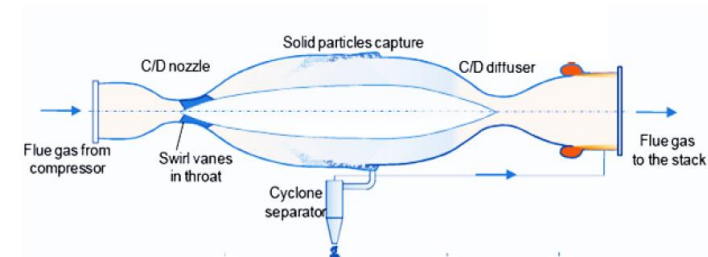
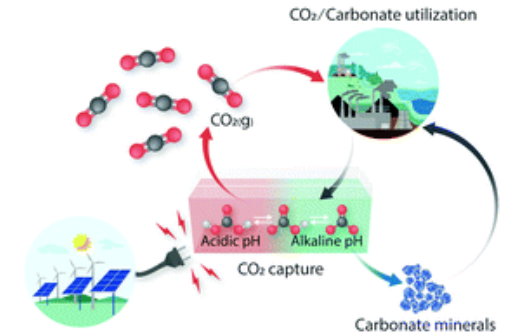
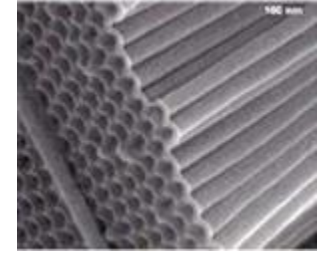
Supercritical  
CO<sub>2</sub>



Supersonic  
CO<sub>2</sub> separation



DAC



<https://arpa-e.energy.gov>