



La maîtrise de l'innovation

© BERTIN TECHNOLOGIES / BT.D46.C/



Atmos'Fair 2010 – Lyon

Les technologies innovantes de traitement de CO₂



Bertin Technologies



Systèmes industriels

Développement
de moyens de mesures &
équipements spéciaux

Sciences de la vie

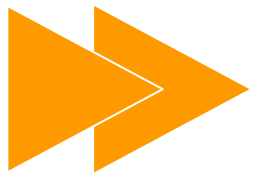
Développement
de produits biotechnologiques

Energie & environnement

Développement
de procédés innovants

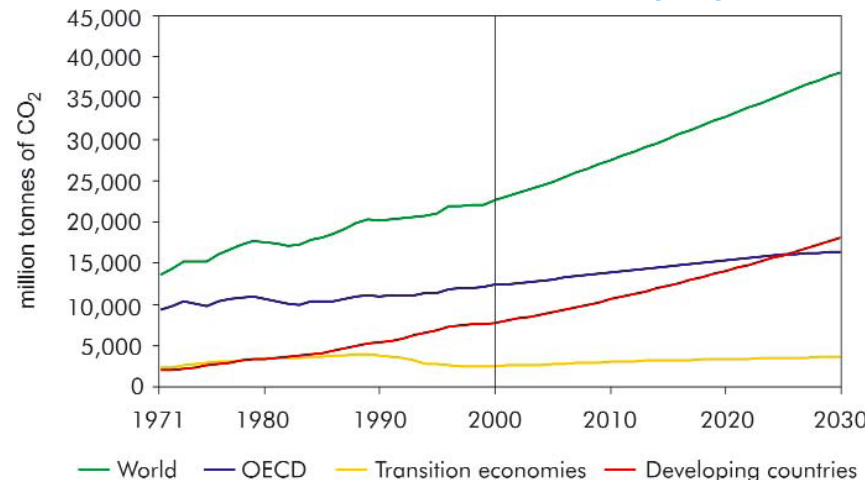


Intérêt pour le CO₂ via le traitement des atmosphères confinées.



Introduction

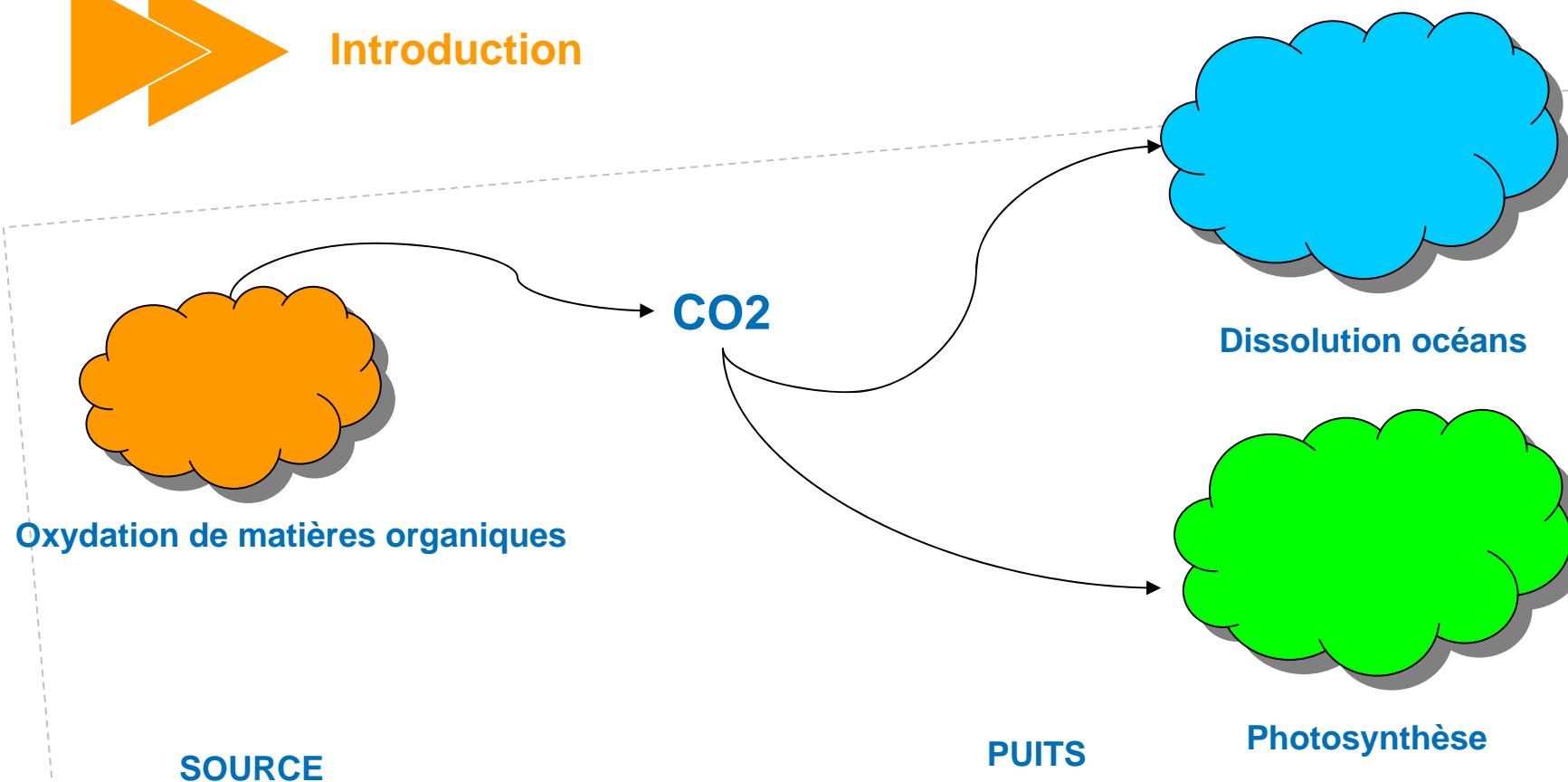
- ▶ CO2 fait partie des GES (Gaz à Effet de Serre)
- ▶ Augmentation due à l'activité anthropique



- ▶ Mise en place par l'UE de quota et de pénalités en cas de dépassement de ces quotas
- ▶ Nécessité écologique et réglementaire à réduire le CO2



Introduction



- ▶ Grande stabilité et inertie chimique de la molécule (dernier degré d'oxydation du C)
- ▶ Sources : Réactions d'oxydation diverses (combustion, incinération, dégradation chimique ou biologique)
- ▶ Puits : Gaz légèrement acide qui se dissout dans l'eau

BT.D46.C



Les grandes étapes du traitement de CO2

► Séparation du CO2 (enrichissement)

- Absorption
- Adsorption
- Cryogénie
- Séparation membranaire

► Séchage et compression du CO2 (transport facile du CO2)

► Stockage du CO2

► Utilisation / valorisation du CO2

- Valorisations classiques
- Développements de solutions de valorisation
 - Photosynthèse (Naturelle/Artificielle)
 - Electrolyse de CO2
 - Electro-réduction de CO2

BT.D46.C



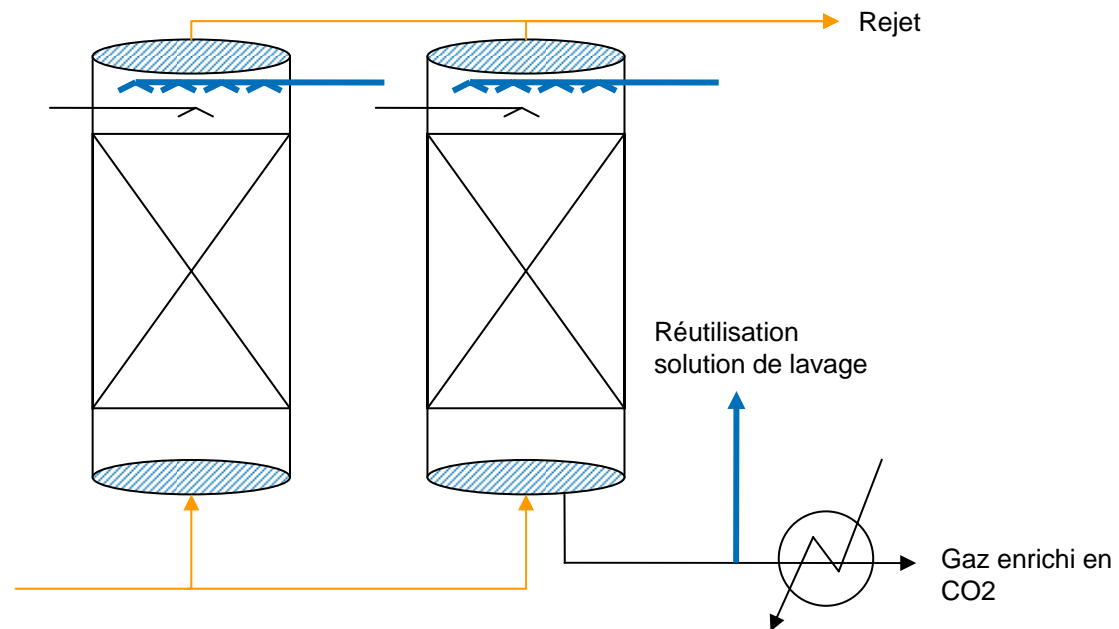
La séparation du CO₂

► Transfert gaz / liquide (Absorption)

► Tour d'adsorption avec une solution de lavage (amine) / une tour de régénération de la solution de lavage

► Régénération vapeur

► Appliqué au CO₂ produit par les centrales électriques (Augmente de 80 à 100% le prix de l'électricité produit dans ces centrales)



► Développements : amélioration des solutions de lavage

▷ Nouveaux produits chimiques : DiMéthylEther – PEG

▷ Utilisation d'enzymes (avec MDEA)

▷ Augmentation de l'efficacité de captation du CO₂ par le solvant

▷ Enzymes résistants à des hautes températures (fonctionnement direct dans la cheminée, meilleure survie à la régénération du solvant).

BT.D46.C



La séparation du CO2

► Transfert gaz / solide (Adsorption)

- Utilisation de produits poreux pour adsorption de CO2
- Procédé de désorption pour régénérer le solide et récupérer le CO2 sous forme enrichie

► Solides utilisés pour l'adsorption :

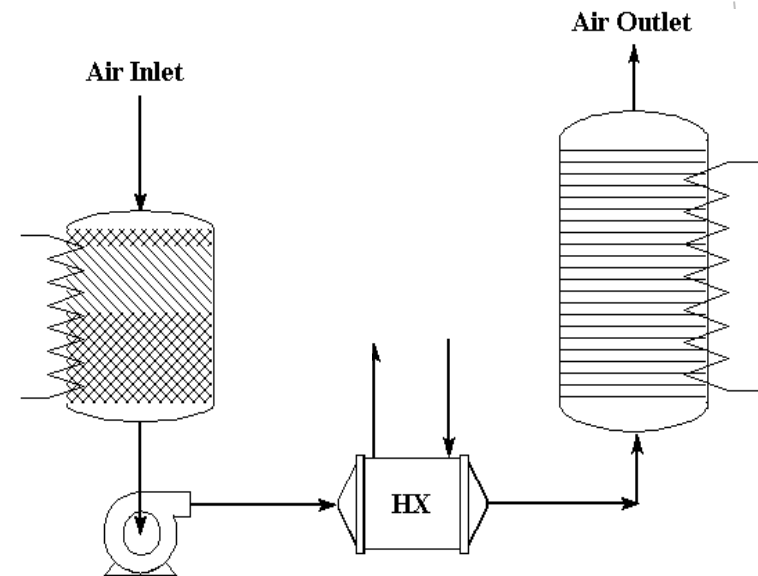
- ▷ Tamis moléculaire,
- ▷ Fibres de carbone activée,
- ▷ Produits chimiques (type amines) sous forme de billes ou de fibre
- ▷ Oxydes métalliques divers (Ag, Zn, ..)

► Avantages

- Simplicité de mise en œuvre et de fonctionnement

► Inconvénients

- Compétition réaction d'adsorption de CO2 et réaction d'adsorption de H2O (nécessité de sécher l'air au préalable)
- Régénération hautes températures



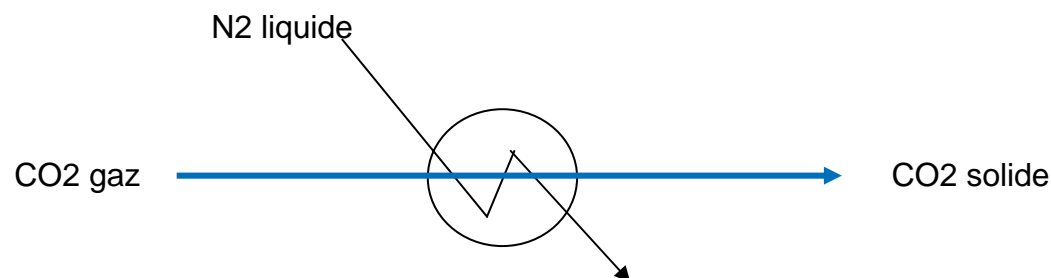
BT.D46.C



La séparation du CO₂

► Séparation par cryogénie

- Travail basses températures : - 150°C à Patm
- Echangeur direct alimenté par fluide frigorigène



► Avantages

- Simplicité de mise en œuvre et de fonctionnement
- Grande pureté de CO₂ récupéré

► Inconvénients

- Coût énergétique important
- Phase de séchage nécessaire avant de condenser

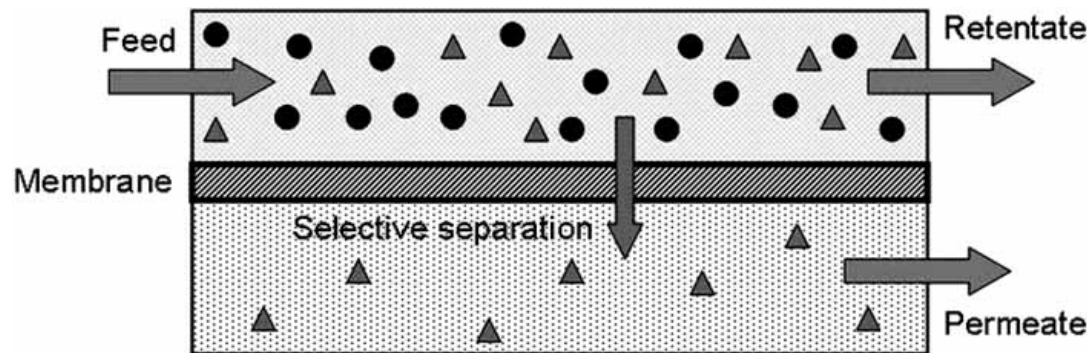
► Technique peu utilisée

BT.D46.C



La séparation du CO₂

► Séparation membranaire du CO₂



- Force motrice : différence de pression à travers la membrane
- Principe de séparation basée sur un passage des molécules à travers les pores de la membrane
- Différents types de membranes :
 - Polymères,
 - Développement de membranes Carbone
- Mais :
 - Mauvais rendement à faibles températures
 - Pb de colmatage des membranes

BT.D46.C

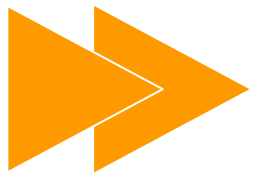


Valorisation du CO2

- ▶ Voies de valorisation classique
 - ▶ Industrie des engrais (production d'urée)
 - ▶ Carbo-chimie
 - ▶ Industrie pétrolière et gazière (réinjection du CO2 dans les puits)
 - ▶ Agro Alimentaire

- ▶ Diverses investigations ont été menés sur des procédés innovants de valorisation de CO2
 - ▶ Photosynthèse, décomposition, électrolyse, électro-réduction
 - ▶ Maturité des investigations:
 - ▶ Technique
 - ▶ Viabilité économique

BT.D46.C



Décomposition Laser du CO₂

- ▶ Processus photochimique d'absorption de lumière UV (casse la liaison CO-O) + conditions favorables (catalyseurs, T°....) pour éviter la recombinaison d'O₂

- ▶ La décomposition photochimique de CO₂ peut se traduire de la manière suivante



Réaction globale:



Polymère condensable et stockable

- ▶ Décomposition photochimique: longueur d'ondes de 1295 à 1470 Å. (UV)
- ▶ Transformation de CO en C₂O₃ longueur d'ondes autour de 1800 Å.
- ▶ Nécessité de 2 systèmes différents : lampe UV et laser.
- ▶ Inconvénients:
 - ▶ Protection des travailleurs (UV, laser), nécessité d'une très forte concentration en CO₂, utilisation de C₂O₃
 - ▶ Coûts (approximativement 220 kW/kg de CO₂ transformé)
- ▶ Pas d'application industrielle

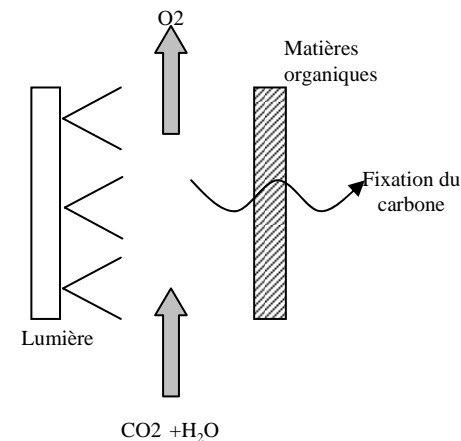
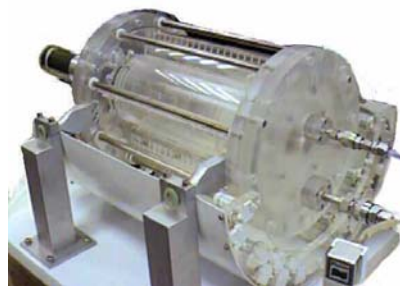


La photosynthèse

► Processus permettant aux plantes et à certaines bactéries de synthétiser de la matière organique (glucose), en partant de CO_2 , lumière et sels minéraux.



Principale voie de transformation du C minéral en C Organique



► Application de la photosynthèse de manière artificielle sur des photobioréacteurs

► Avantages

► Réaction simple à recréer

► Inconvénients

► Pas de maîtrise des déchets biologiques générés.

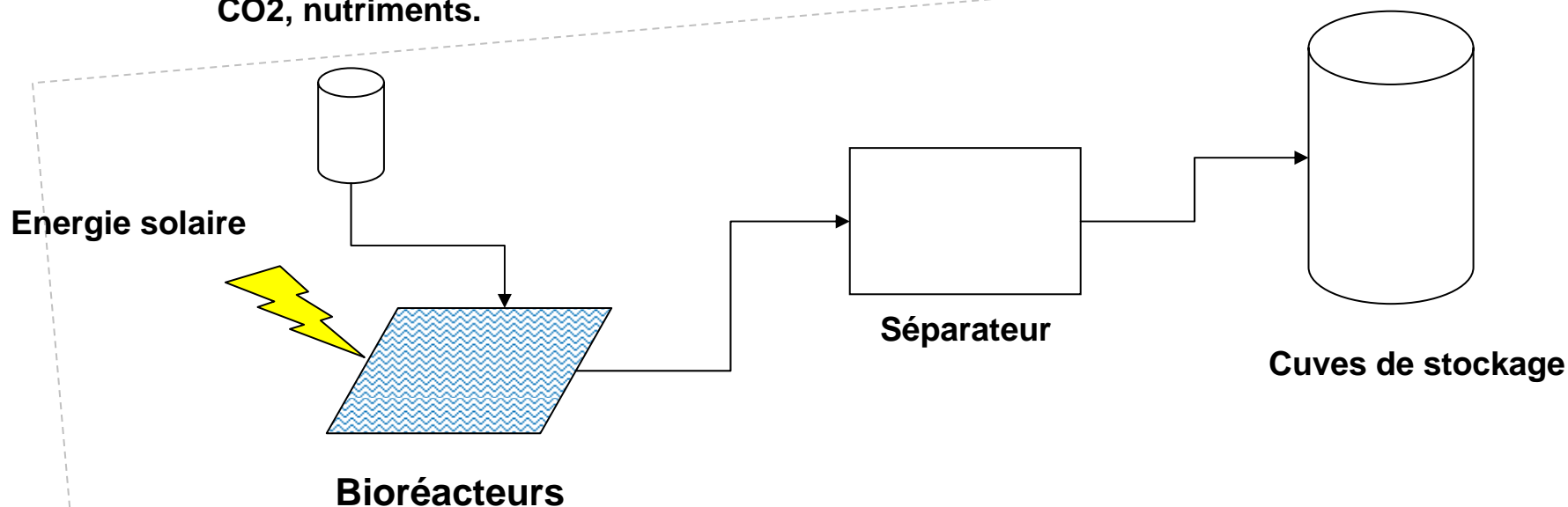
► Nécessité d'eau, d'énergie (lumière en continu), d'espace

► Conditions de fonctionnement sensibles : pH, température



La photosynthèse artificielle : réduction de CO₂ et production de biofuels.

CO₂, nutriments.



- ▶ Utilisation de microorganismes génétiquement modifiés pour créer des huiles et de l'éthanol (biofuels) à partir de CO₂ et de nutriments
 - ▶ Formation de biofuels en continu
- ▶ Test labo OK, Pilote semi industriel OK
- ▶ Avantages
 - ▶ Pas de besoin en eau,
 - ▶ Faible besoin d'espace
- ▶ Inconvénients
 - ▶ Procédé long

BT.D46.C



Réduction catalytique de CO2

► Réduction catalytique de CO2 en phase gazeuse

► Catalyseur à base de Cuivre

- ▷ Conditions température et pression ambiante
- ▷ Liaison de 2 molécules de CO2 pour former des oxalates
 $2 \text{CO}_2 \rightarrow \cdot\text{OOC-COO}\cdot$
- ▷ Application de sels de lithium → formation d'oxalate de lithium qui peut être transformé en acide oxalique (C2H2O4, donc produit de base à l'EtGlycol et de produits anti-gel)
- ▷ Régénération du catalyseur par courant électrique



BT.D46.C

► Avantages:

- Faibles coûts de fonctionnement

► Inconvénients

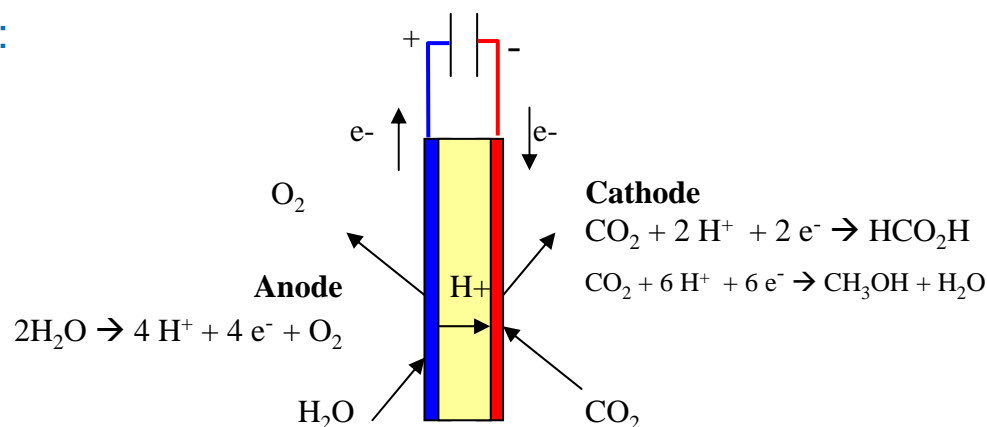
- Coûts de Li (sels de sodium en test)
- Durée du procédé,
- Application trop restreinte des produits chimiques formés



Electro-réduction de CO₂ (1/2)

► Utilisation d'un catalyseur couplé à une membrane

► Couplage de 2 réactions:



▷ Photocatalyse : $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$

▷ Electrocatalyse : $\text{CO}_2 + 6\text{H}^+ + 6\text{e}^- \rightarrow [\text{HC}] + 2\text{H}_2\text{O}$

- Possibilité d'éliminer la phase de photocatalyse si on travaille en solution aqueuse, avec H⁺ directement
- Possibilité de travailler avec différentes formes de CO₂ : gaz, dissous (eau ou solvant),
- [HC] : CH₄, Acide Formique, méthanol ou autres produits organiques, dépendant de l'intensité de courant, du type de catalyseurs choisis

► Différentes voies de développement:

- L'électrolyse en phase liquide (majorité des publications), en milieu aqueux ou aprotique
- L'électrolyse à membrane solide (PEM) de type Nafion® (plus récente et plus rare)

BT.D46.C



Electro-réduction de CO₂ (2/2)

- ▶ **Avantages:**

- ▶ Efficacité de la réaction,

- ▶ **Inconvénients:**

- ▶ On ne maîtrise pas forcément les produits chimiques formés

- ▷ Acide oxalique ou ion formiate (sels formiques) HCOO-
 - ▷ Acide formique
 - ▷ Monoxyde de carbone
 - ▷ Méthanal
 - ▷ Méthanol
 - ▷ Ethylène
 - ▷ Méthane

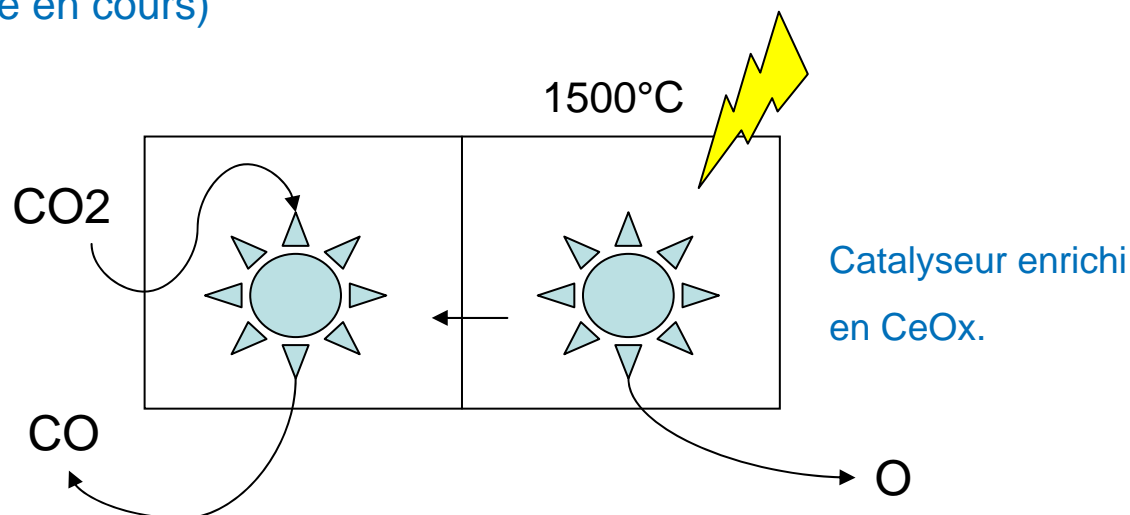
- ▶ Coûts du procédé (catalyseur, membrane)

BT.D46.C



La réduction solaire de CO₂ (1/2)

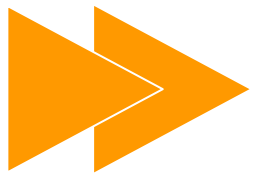
- ▶ Des travaux prometteurs...(Exemple du procédé Sandia - Tests labo batch, tests pilote en cours)
- ▶ Procédé



▶ Décomposition du procédé

- ▶ Catalyseur sous forme d'anneaux mis en place dans une chambre bi-compartment
- ▶ Utilisation d'énergie solaire pour chauffer un côté de la chambre à 1 500 ° C,
- ▶ Catalyseur sous forme d'anneaux abandonne un atome d'O
- ▶ Passage de l'anneau dans la chambre froide (refroidissement)
- ▶ Captation du CO₂ de l'air pour remplacer l'O manquant
- ▶ Transformation $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO} + \frac{1}{2} \text{O}_2$

BT.D46.C



La réduction solaire de CO2 (2/2)

- ▶ Réaction identique avec H₂O → H₂ (application initiale)
 - ▶ H₂ + CO → syngas, base pour réactions de gazéification.
- ▶ Développements : investigation sur la gazéification en utilisant également l'énergie solaire.
- ▶ Intérêt : chauffage par énergie solaire



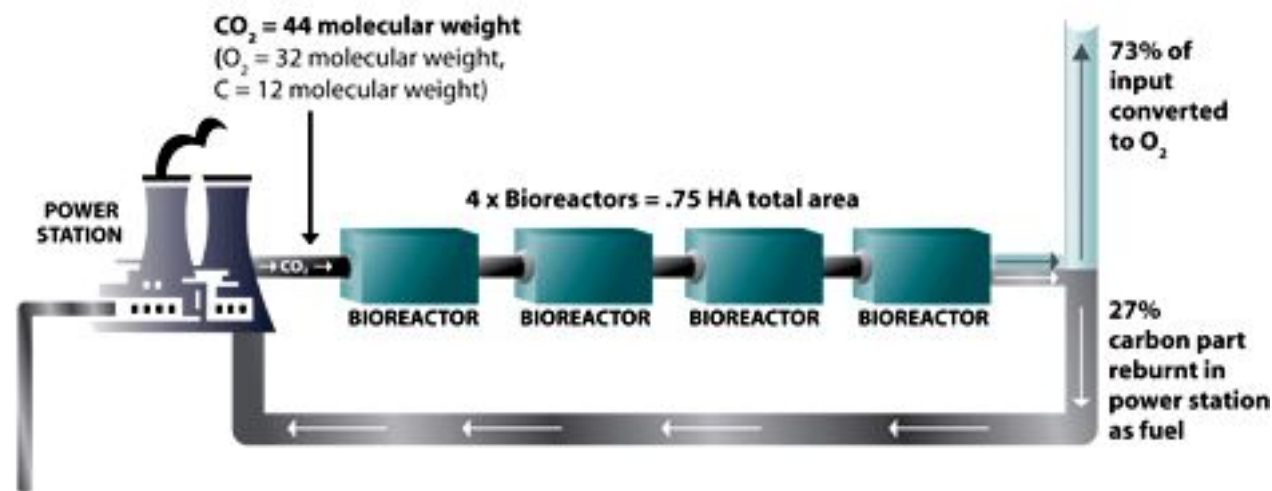
BT.D46.C



Conclusion

Beaucoup d'axes de recherches très prometteuses...

- ▶ La transformation du CO₂ en produits chimiques est une voie séduisante...Mais
- ▶ Beaucoup de CO₂ produit
- ▶ Peu de produits chimiques consommés
- ▶ Peu de retours d'expérience et données technico-économiques
- ▶ Attention aux coûts énergétiques



..... Le mouvement perpétuel n'existe pas.

La réduction de CO₂ à la source reste une valeur sûre...

BT.D46.C



Merci de votre attention

pcompain@bertin.fr

BT.D46.C