

Programme CO2 « Captage et stockage du CO₂ »

Bilan et perspectives scientifiques

Christian Fouillac, Président du comité d'évaluation



Rappel du contexte et des enjeux en 2005

- **Le contexte mondial en 2005 :**
 - Un Rapport spécial du GIEC, reconnaît le CSC comme une option effective de réduction des émissions de GES)
 - Une dynamique mondiale (protocole de Kyoto, CSLF...)
 - Une stratégie européenne de R&D (FP3-FP7) et de déploiement industriel (plateforme technologique ZEP, ...)

- **En France:**

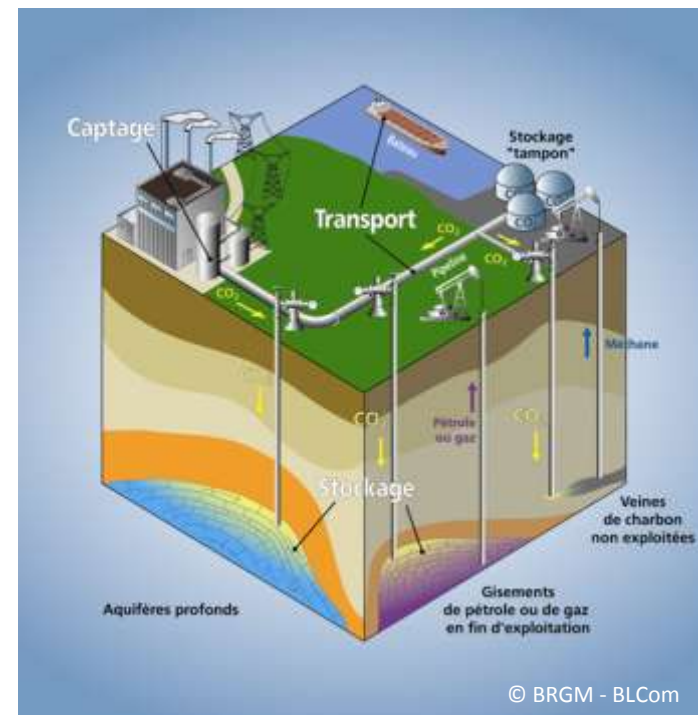
Un objectif de diviser les émissions de CO₂ par 4, une affirmation lors du « Grenelle de l'environnement » de l'intérêt du CSC

Mais:

Pas de communauté scientifique organisée sur le domaine

Absence de partenariats publics-privés conséquents et faible implication des PME

Une technologie clé pour lutter contre le réchauffement climatique et l'acidification des océans



Evolutions du Contexte - 2008-2012

➤ Scénarios prospectifs, objectifs et feuilles de route

- ✓ Scénario « blue map » de l'AIE (2008) : CSC = 20% de la réduction des émissions de CO2 par deux en 2050
- ✓ Feuille de route CSC de l'AIE (2009) pour un $\Delta t < 2^\circ\text{C}$ en 2050 : 100 installations avec CCS en 2020, 3,400 in 2050 (centrales thermiques et industries)
- ✓ France: En 2010, CSC identifié parmi les 18 Filières industrielles stratégiques de l'économie verte. Feuille de route CSC Ademe (2008, révision 2011)

➤ Préparation des démonstrateurs et de la réglementation

- ✓ Directive européenne stockage CO2 (2009), transposée en France en 2011
- ✓ Démonstrateurs européens à grande échelle (EEPR, NER 300) et démonstrateurs de recherche ADEME (2010-2015)

➤ Maintien de l'effort de recherche

- ✓ Programme CCS des Alliances EERA et ANCRE
- ✓ Roadmap ESFRI : ECCSEL pour le CCS (2009)
- ✓ En 2010, recommandations ZEP pour une R&D long terme (Communauté et Etats membres) pour soutenir le déploiement à partir de 2020

Les objectifs initiaux du programme CO₂



Objectifs stratégiques

- ❑ Créer une communauté nationale , fédérant les acteurs de la recherche industrielle et de la recherche publique
- ❑ Préparer, avant 2010, la réalisation des installations pilotes qui serviront de vitrine du savoir-faire national en vue de faciliter l'exportation de biens et de services
- ❑ Contribuer aux progrès de la compétitivité des équipes de recherche nationales et de l'industrie française sur les futurs marchés internationaux

Objectifs technologiques et sociétaux

- Réduire les coûts (facteur 2 à 3 à l'horizon 2010-2015) et la consommation d'énergie des procédés de captage.
- Réduire le coût de l'ensemble de la chaîne transport / compression et garantir la sécurité du transport.
- Préciser, avant 2010, les règles relatives à l'implantation, la surveillance et la sûreté des stockages de taille industrielle.
- Tester la viabilité socio-économique de la filière CSC - intégration dans les politiques sectorielles, financement, contraintes spatiales, acceptabilité sociale.

Un bilan chiffré



- 4 Appels à Projets de 2005 à 2008
- 33 projets sélectionnés, 27 M€ d'aide
- Des fluctuations entre 20 et 30% de la participation des entreprises
- 83% d'e l'aide à des organismes publics, 14% à de grands groupes
3% à des PME, dont la participation a graduellement augmenté

	2005	2006	2007	2008
Nb propositions	14	31	28	18
Nb projets financés	9	11	7	6
Nb partenaires (projets financés)	61 (36% industriels)	51 (22% industriels)	40 (30% industriels)	26 (27% industriels)
Taux succès en nombre de projets	64 %	35 %	25%	33 %
Taux de pression financière	54%	32 %	30%	23%
Aide moyenne (projets financés)	893 k€	684 k€	954 k€	794 k€

Périmètre et répartitions thématiques

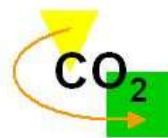


33 projets financés, pour un montant total d'aide de 27 M€HT

- **Axe 1 – Captage et transport du CO₂**
 - 10 projets, 28% de l'aide totale
- **Axe 2 – Stockage du CO₂ et MM&V (Monitoring, Mitigation et Vérification)**
 - 16 projets, 54% de l'aide totale
- **Axe 3 – Analyses de risque, critères de sécurité, réglementation**
 - 1 projet, 2% de l'aide totale
- **Axe 4 – Ruptures technologiques**
 - 5 projets (Captage: 3 Stockage : 2), 15 % de l'aide totale
- **Axe 5 – Evaluation socio- et technico-économique et environnementale, acceptabilité et légitimation sociale**
 - 1 projet, 2% de l'aide totale

Partenariat public-privé requis

Bilan scientifique – captage



- **Nouveaux matériaux**
 - Recherche de nouveaux solvants pour remplacer le MEA trop couteux
 - Garnissage composite 4D adapté au captage en postcombustion – matériaux alternatifs au C/C recherchés
 - Adsorbants à base de MOFs (Metal Organic Frameworks) orientés vers la séparation de produits à très forte valeur ajoutée
 - Autres type d'adsorbants recherchés : solides de type silice greffée par des amines, oxydes basiques
- **Procédés innovants**
 - Procédé de captage post-combustion par anti-sublimation
 - Procédés membranaires avec matériaux céramiques de nouvelle génération, applicables à la séparation H₂/CO₂ en précombustion
 - Contacteur membranaire basé sur le concept de fibres creuses à peau dense Lauréat 2010 d'un des Prix des Techniques Innovantes pour l'Environnement.
 - Production d'O₂ par une colonne de distillation diabatique - devrait permettre de réduire la pénalité énergétique du procédé d'oxy-combustion
 - Procédé cumulant les avantages de l'oxy-combustion et de la combustion sans flamme pour les fours sidérurgiques, les verriers, la pétrochimie
 - Procédé par boucle chimique (CLC) – test de nombreux transporteurs d'oxygène basés sur des oxydes métalliques
 - Procédé de rupture par piégeage du CO₂ sous forme d'hydrates de gaz

Présentation orale dans session parallèle captage CO2

Bilan scientifique – stockage



- **Caractérisation de sites de stockage**
 - Développement d'une méthodologie complète pour la sélection et la caractérisation d'un site. Application à un site propice à la réalisation d'un pilote national de stockage de CO₂ (100kt/an) dans le bassin de Paris.
- **Effets proche-puits**
 - Compréhension des processus complexes autour du puits d'injection qui ont un rôle fondamental sur l'injectivité et l'intégrité des couvertures et des puits
- **Modélisation**
 - Modélisation THMC des compartiments réservoir, couverture et puits et de leurs interfaces. Impact des hétérogénéités géologiques. Rôle des impuretés du CO₂.
- **Monitoring et surveillance**
 - Sonde de mesures couplées de pressions/déformation en forage
 - Capteurs infrarouges à fibres optiques innovantes pour détecter des fuites
 - Adaptation et développement de différentes méthodes géophysiques de surveillance (sismique, électromagnétisme, microsismique, source virtuelle) pour proposer un réseau de surveillance intégré en temps réel et à faible coût
 - Démarche intégrée de monitoring de surface d'un site de stockage basé sur des dispositifs innovants de métrologie géochimique pour mesurer flux/teneurs/origine des gaz - Compartiments géosphère (0,-100m), biosphère (0,10m) et atmosphère (10,1000m)
- **Etude de boues minérales à fort pouvoir de carbonatation (BMC) pour renforcer à titre préventif ou curatif les propriétés de confinement des sites de stockage**
- **Minéralisation in- et ex-situ**

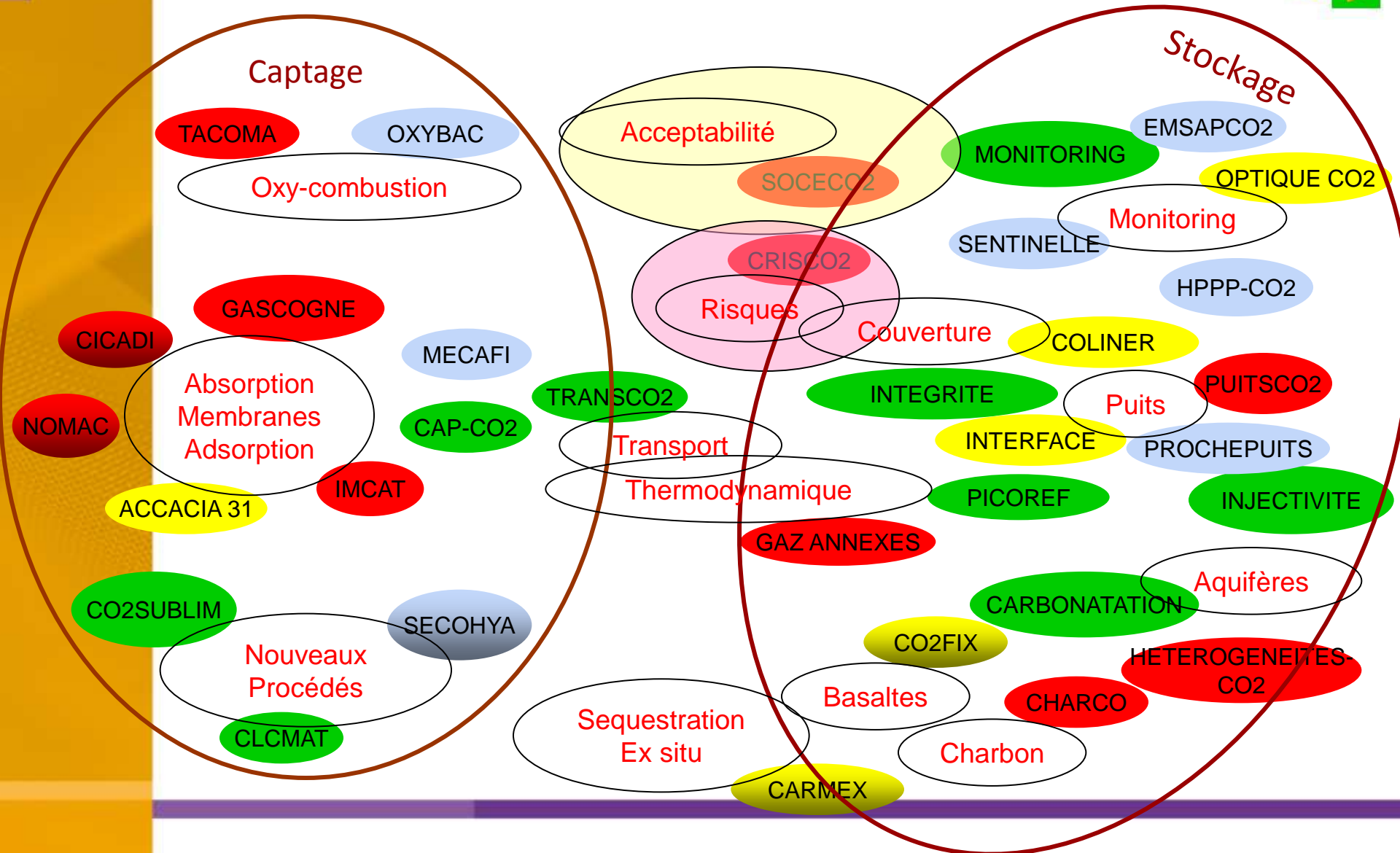
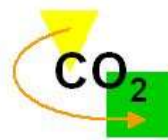
Présentation orale dans session parallèle stockage CO₂

Bilan scientifique – risques, socio-économie et perception sociétale



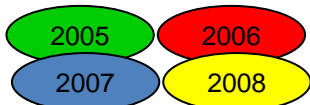
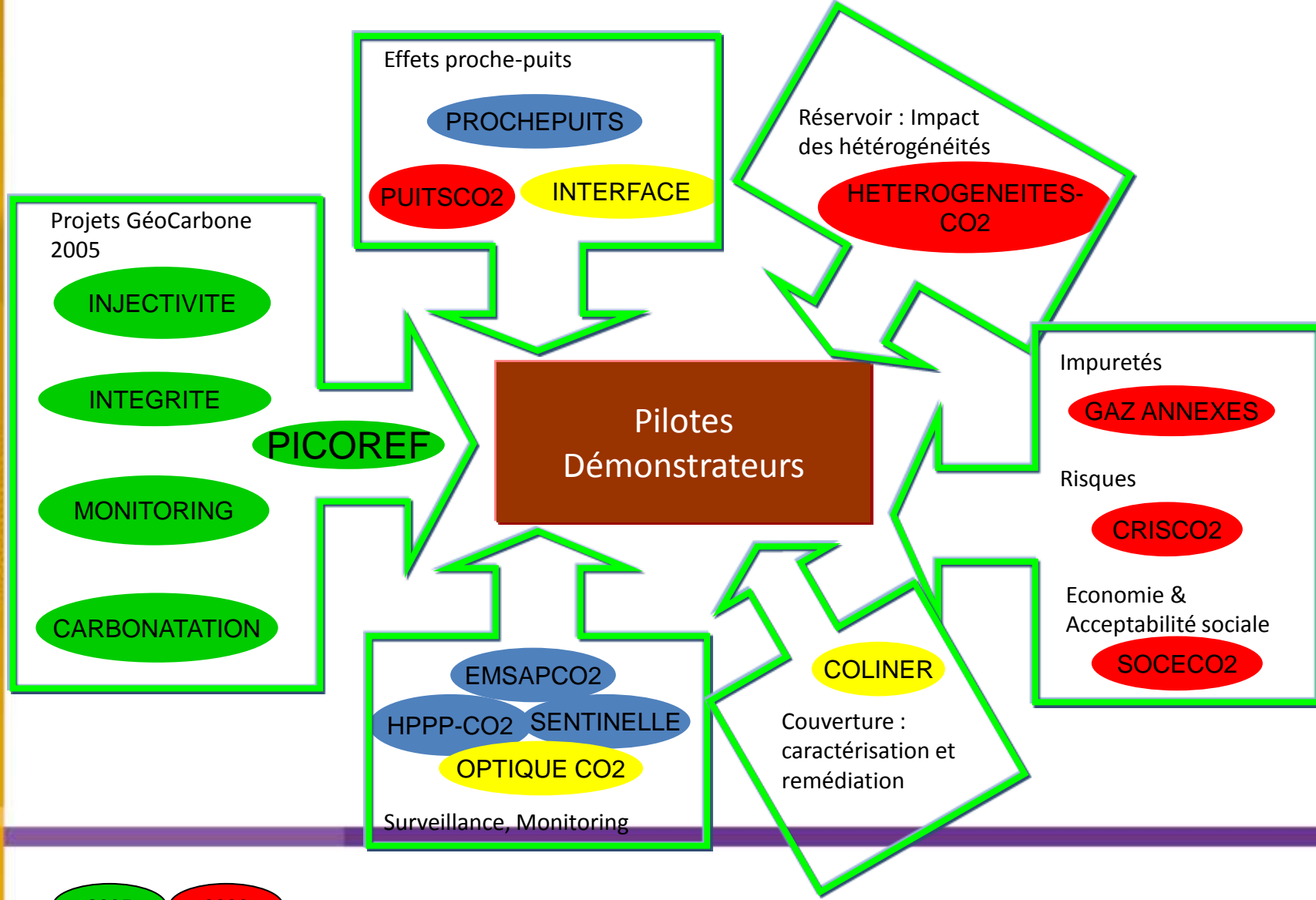
- ❑ Développement d'une approche simple et flexible (adaptable à chaque site) pour identifier les conditions garantissant la sécurité d'un site de stockage
- à destination des opérateurs de site et des autorités de contrôle
- ❑ Etude de trois scénarios technico-économiques de développement du CSC en France: Stockage de 1,06 GtCO₂ sur la période 2020-2050, de 40 Mt à 60 Mt de CO₂ en France en 2050 selon les zones de déploiement . Option complémentaire de stockage Mer du Nord envisagée.
- ❑ Un sondage d'opinion CIRED-TNS SOFRES et un atelier de dialogue social ont été organisés pour la 1ère fois en France (2007) – reproduit en 2010 (financement Ademe)
Le CSC est dans l'ensemble méconnu, les français sont sensibles aux enjeux mais parfois inquiets sur les conséquences du CSC.
La concertation sociétale doit encore faire de grands progrès.
- ❑ Un ouvrage intitulé « Le captage et le stockage du CO₂ : enjeux techniques et sociaux en France », a été publié en 2010 aux éditions Quae

Cartographie thématique des projets

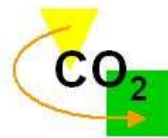


- 2005
- 2006
- 2007
- 2008
- Rupture

Vers la préparation des pilotes et démonstrateurs – contribution des projets stockage



Conclusion sur le programme CO₂



- A permis de structurer et d'élargir la communauté française sur tous les maillons de la filière (EPICs, Industriels, Académiques, PME)
- Fort impact sur la préparation des pilotes et démonstrateurs, tant en France qu'à l'étranger
- Pas d'AAP CO₂ en 2009-2010:
 - Raisons : baisse du nombre de projets et de la qualité des projets soumis, attente des démonstrateurs Ademe
 - Captage → dans **Programme EESI** créé en 2009 (« Efficacité Energétique et réduction des émissions de CO₂ dans les Systèmes Industriels » - 4 projets
 - Stockage orphelin
- **Programme SEED** « Systèmes Energétiques Efficaces et Décarbonés » (ouvert en 2011)
 - Axe 1 : Efficacité énergétique
 - Axe 2 : Valorisation de la chaleur
 - **Axe 3 : Captage, stockage et valorisation du CO₂**
- Ouverture internationale souhaitée - Par ex. avec Espagne et Canada
- Perception sociale : importance des recherches en SHS → **Programme Sociétés Innovantes** (ouvert en 2011)

Quelles perspectives pour la recherche dans ce domaine ? (1)

- Support et valorisation des projets de démonstration
 - Rôle des impuretés
 - méthodologies de maîtrise des risques, et des impacts environnementaux; outils de normalisation et standardisation,
 - Outils et méthodes du dialogue public
- Soutien au déploiement à grande échelle après 2020
 - Amélioration continue des briques technologiques captage-transport-stockage (performance, coûts)
 - Intégration du CSCV dans les différents secteurs industriels (production d'électricité, sidérurgie, cimenteries, raffineries, production de bio-carburants...)
 - Scénarios technico-socio-économiques à l'échelle d'un territoire
 - Caractérisation des aquifères profonds en territoire métropolitain
 - Synergies et conflits d'usage avec les autres usages technologiques du sous-sol profond

Quelles perspectives pour la recherche dans ce domaine ? (2)

- Vers le CSC « nouvelles générations »
 - Matériaux à haute performance pour l'Oxy-combustion
 - Fiabilisation du « Chemical looping »
 - Aval CSC de valorisation centralisée de biomasse, pour viser des « émissions négatives »
 - Stockage en aquifère et convection forcée pour accélérer les dissolutions
- Utilisation du CO₂
 - Couplage CSC et Géothermie (CO₂ EGS et CO₂-HSA)
 - Production assistée d'hydrocarbures (hydrates de méthane?)
 - Stockages réversibles: réutilisation chimique ou énergétique