

TOTAL E&P FRANCE

Pilote d'injection de CO₂

CLIS, 12 Novembre 2012



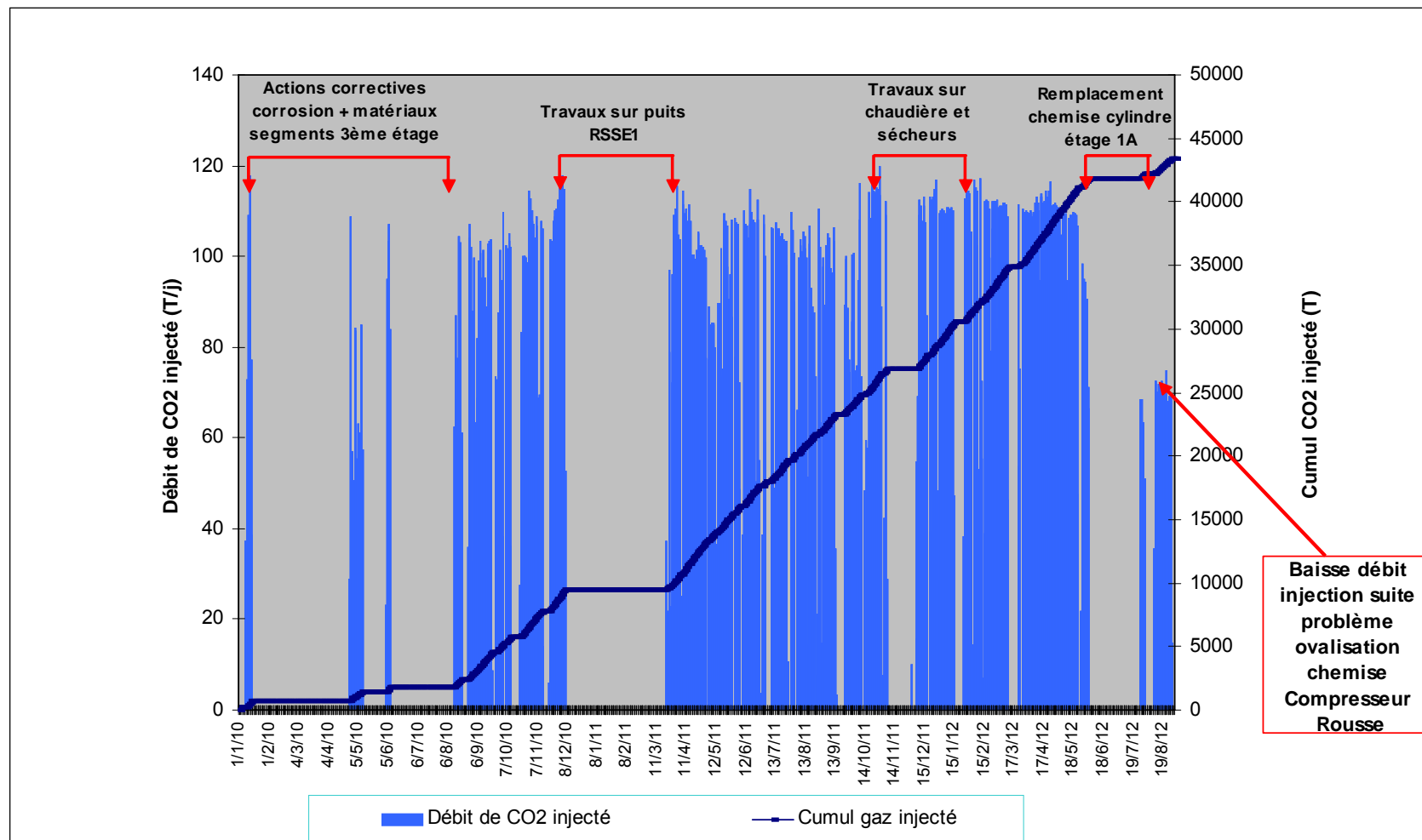
Agenda

- ▶ **Faits Marquants 2011-2012**
- ▶ **Programme de surveillance 2011-2012**
- ▶ **Bilan Carbone**
- ▶ **Programme de recherche**

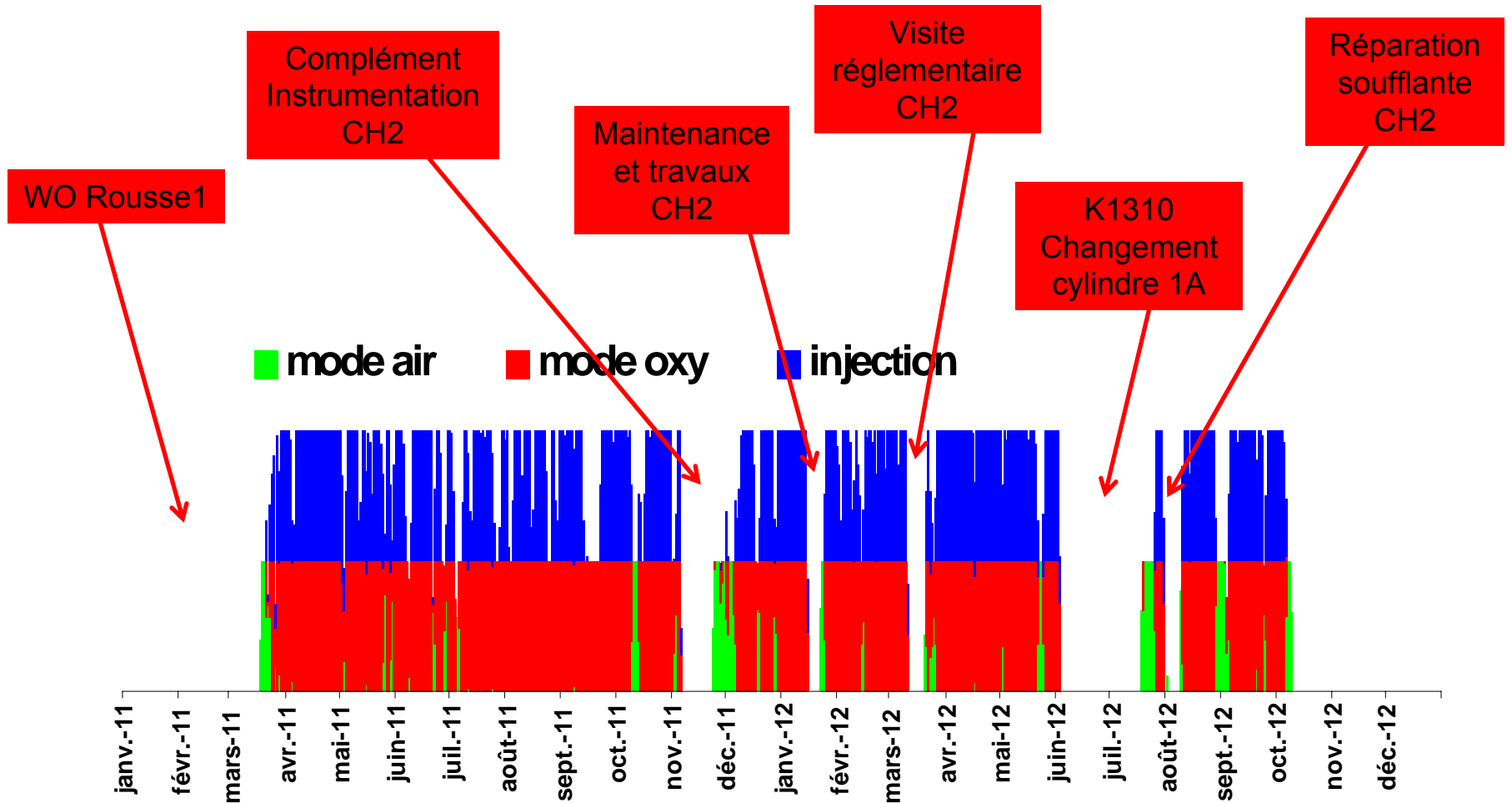
TOTAL E&P FRANCE

Faits Marquants 2011-2012

Bilan injection depuis démarrage du pilote



Fonctionnement du pilote depuis 01 janvier 2011



Faits marquants 2011 / 2012 :

► Quatre arrêts importants :

- 6 décembre 2010 au 17 mars 2011:
 - Work over Rousse: remplacement sondes microsismiques fond puits
 - Travaux sur chaudière pour permettre l'acquisition d'informations sur le transfert thermique dans une chaudière oxycombustion
 - Maintenance générale et remise en état réfractaires chaudière.
- 7 au 23 novembre 2011
 - Mise en place instrumentation complémentaire sur chaudière
 - Maintenance générale
- Du 15 au 23 janvier 2012, arrêt programmé pour travaux :
 - Remplacement charges absorbants sécheurs C1320 A et B,
 - Travaux sur chaudière, maintenance, réparation casing, révision soupapes, amélioration étanchéité (vannes, soufflets).
- Du 11 au 20 mars 2012 :
 - visite réglementaire barillet vapeur 60 bars (travaux centrale vapeur SOBEGI).
 - Travaux d'opportunité sur K1310 (échange segments et visite fond de cylindre 2ème étage).
- Du 3 au 30 juin 2012 :
 - arrêt programmé pour maintenance K1310 suite ovalisation cylindre.
 - Envoi du cylindre 1A chez LMF pour rechemisage.
 - Travaux d'opportunité sur le pilote et sur le compresseur de Rousse K1350.
- Du 31 juillet au 10 Août 2012 :
 - Réparation soufflante ch2 / réparation fuite eau sur ballon supérieur
 - Contrôle compresseur K1350 suite température importante → ovalisation cylindre

Bilan fonctionnement

► Activités dominantes :

- Exploitation de la chaîne complète (oxy-combustion, captage, transport, injection) avec de bons résultats sur le premier semestre,
- Réalisation d'essais sur brûleurs et sur chaudière oxy-combustion,
- Travaux et essais sur le compresseur :
 - les problèmes de corrosion rencontrés sont maîtrisés,
 - des progrès ont été réalisés sur la durée de vie des segments,
- Bon comportement de la canalisation, et des installations du site de Rousse 1,
- Bonne fiabilité des équipements en charge de la surveillance sismique du réservoir.
- Ovalisation des cylindres compresseur K1350 sur ROUSSE limitant la charge maxi à 25% soit 70T/j d'injection CO₂(contre 110T/j en moyenne précédemment)

► Gaz injecté en 2011 / 2012 :

- Quantité injection en 2011 : 20100 t,
- Quantité injection au premier semestre 2012 : 13 300 t,
- Quantité totale depuis le début des injections: environ 46 000 t,
- La qualité du CO₂ injecté est contrôlée et régulière :
 - teneur en CO₂ supérieure à 91 %_{vol},
 - principaux gaz associés : oxygène, l'azote, l'argon, NOx, CO.

Émissions atmosphériques

► Durée des émissions en 2011:

- 644 h en mode air, 1084 h en mode oxygène (AP <2 000 h/an).

► Durée des émissions en 2012:

- 200 h en mode air, 160 h en mode oxygène (AP <2 000 h/an).

► Bilan qualitatif 2012 :

- Les résultats des mesures continues des teneurs en CO, NOx, SO2 et O2 ont été contrôlées ; toutes les valeurs mesurées sont conformes aux exigences de l'AP.
- Les analyses COFRAC ont été réalisées en Septembre 2012 (S38) – résultats en attente.

► Bilan qualitatif 2011:

- Les analyses de contrôle ont été réalisées par un organisme accrédité COFRAC sur les points d'émission 1, 2 et l'évent de déshydratation.
- Toutes les mesures sont conformes aux exigences de l'AP

► Flux maxi 2011 / 2012

- Journaliers : conformes en mode air, conformes en mode oxycombustion
- Annuels : conformes en mode oxycombustion

Résultats des opérations de vérification et de maintenance

- ▶ **Les opérations réalisées au cours du premier semestre relèvent de la maintenance courante :**
 - Sur le compresseur de Lacq et ses annexes : faible durée de vie des segments malgré une nette amélioration. Problématique de l'ovalisation de la chemise du cylindre 1 A limitant la durée de vie des segments du premier étage (attente fonctionnement prolongé pour bilan suite changement cylindre 1A),
 - Sur le compresseur de Rousse durée de vie des segments se situant aux alentours des 4 000 heures de fonctionnement donc peu d'arrêts générés par la maintenance préventive du compresseur,
 - Sur la chaudière : réparation casing , révision soupapes , amélioration étanchéité (vannes, soufflets),
 - Ovalisation cylindres K1350 sur ROUSSE entraînant une limitation de charge à 25% soit une injection de 70T/j de CO₂ contre 110T/j précédemment.

Dysfonctionnements et incidents

- ▶ **Il n'a été constaté :**
 - Aucun dysfonctionnement d'équipement critique,
 - Aucun incident pouvant avoir un effet sur l'environnement.

TOTAL E&P FRANCE

Programme de surveillance 2011-2012

Suivi environnemental 2011

				Stations	Printemps	Eté	Automne
Qualité des eaux	Eaux de surface		physico-chimie	5	02-mai		10-oct
			bio-indicateurs	4	18-mai		17-oct
	Eaux souterraines	nappes perchées	physico-chimie	3	02-mai		10-13 oct
		aquifères profonds	physico-chimie	9	3-5 mai		11-13 oct
Biotope	Faune	amphibiens		44 (20 nocturnes)	26-27 avril + 2 juin		
		insectes		33	30 juin-4juil + 29 -31 août		
	Flore et Habitats naturels			33		27 mai+2-4 juin + 12-13 juil	
Gaz du sol			CO2 et méthane	35	9-10 mars		6-8 dec

Suivi environnemental 2012

				Stations	Printemps	Eté	Automne
Qualité des eaux	Eaux de surface		physico-chimie	5	22-mai		27-28 sept
			bio-indicateurs	4	14-15 mai		17-18 oct
	Eaux souterraines	nappes perchées	physico-chimie	3	22-mai		27-sept
		aquifères profonds	physico-chimie	9	22-24 mai		26-27 sept
Biotope	Faune	amphibiens		44 (20 nocturnes)	23-27 avril + 4-8 juin		
		insectes		33	2-6 juil + 27 -31 août		
	Flore et Habitats naturels			33		28 mai+ 1 juin + 9-13 juil	
Gaz du sol			CO2 et méthane	35	13-15 mars		dec

Qualité des eaux de surface

Mission	Année	Station	MOOX	NITR	PHOS	Acidification		Minéralisation			
						pH	Al	Cond.	Sulfates		
Hiver	2009	R1	3	3	2	1	1	1	1		
Printemps	2009	R1	1	2	1	1	1	1	1		
Eté	2009	R1	3	3	1	1	1	1	1		
Automne	2009	R1	3	3	2	1	1	1	1		
Printemps	2010	R1	1	3	2	1	1	1	1		
Automne	2010	R1	2	3	2	1	1	1	1		
Printemps	2011	R1	1	3	2	1	1	1	1		
Automne	2011	R1	1	2	2	1	1	1	1		
Printemps	2012	R1	1	3	3	1	1	1	1		
Hiver	2009	R2	2	2	1	1	1	1	1		
Printemps	2009	R2	1	2	1	1	1	1	1		
Eté	2009	R2	2	3	1	1	1	1	1		
Automne	2009	R2	3	2	1	1	1	1	1		
Printemps	2010	R2	3	3	1	1	1	1	1		
Automne	2010	R2	1	3	1	1	1	1	1		
Printemps	2011	R2	1	3	1	1	1	1	1		
Automne	2011	R2	1	2	1	1	1	1	1		
Printemps	2012	R2	1	3	1	1	1	1	1		
Hiver	2009	R3	2	2	1	1	1	1	1		
Printemps	2009	R3	1	2	1	1	1	1	1		
Eté	2009	R3	2	2	1	1	1	1	1		
Automne	2009	R3	2	3	1	1	1	1	1		
Printemps	2010	R3	2	2	1	1	1	1	1		
Automne	2010	R3	2	3	1	1	1	1	1		
Printemps	2011	R3	1	2	1	1	1	1	1		
Automne	2011	R3	Pas de prélèvements								
Printemps	2012	R3	1	2	1	1	1	1	1		
Hiver	2009	R4	1	2	1	1	1	1	1		
Printemps	2009	R4	1	2	1	1	1	1	1		
Eté	2009	R4	3	2	1	1	1	1	1		
Automne	2009	R4	2	2	1	1	1	1	1		
Printemps	2010	R4	3	2	1	1	1	1	1		
Automne	2010	R4	2	2	2	1	1	1	1		
Printemps	2011	R4	1	2	1	1	1	1	1		
Automne	2011	R4	1	2	1	1	1	1	1		
Printemps	2012	R4	1	2	1	1	1	1	1		

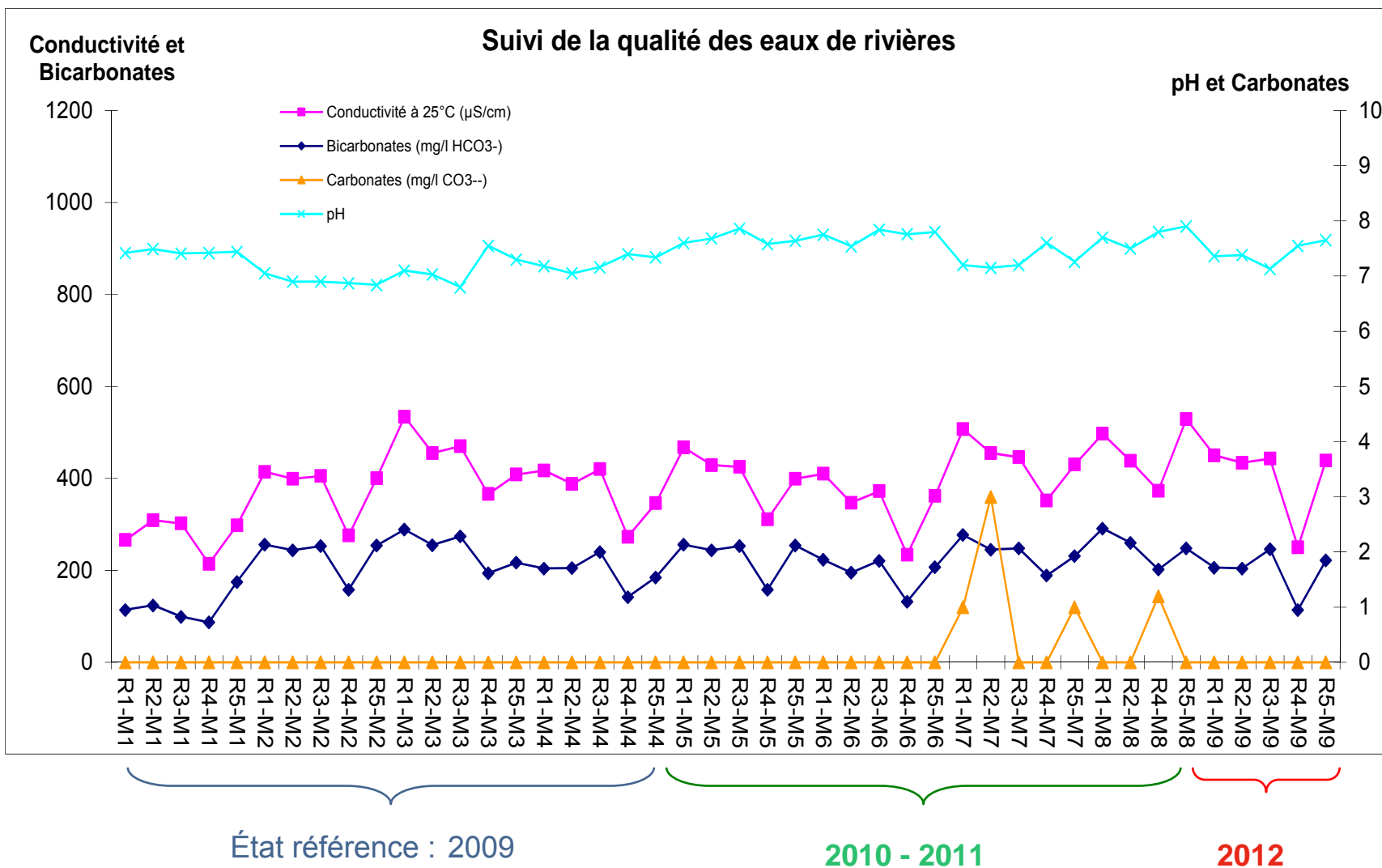
Grille d'évaluation selon
SEQ-Eau

Légende :

1	Très bonne
2	Bonne
3	Moyenne
4	Médiocre
5	Mauvaise

Qualité d'eau globalement similaire aux années précédentes

Eaux de surface : paramètres physico chimiques



Eaux de surface : Indicateurs biologiques IBGN et IBD

► IBGN (Indice Biologique Global Normalisé) - faune invertébrée aquatique:

- Aucun impact sur qualité des peuplements d'invertébrés aquatiques
- Absence de taxon acidophile

► IBD (Indice Biologique Diatomées) - algues microscopiques :

- Peuplement majoritairement d'espèces alcalinophiles (affinité pour pH >7) avec faible part d'espèces neutrophiles
- Absence d'espèces acidophiles
- Très bonne qualité de l'eau au sens de l'IBD

Eaux de surface: conclusion

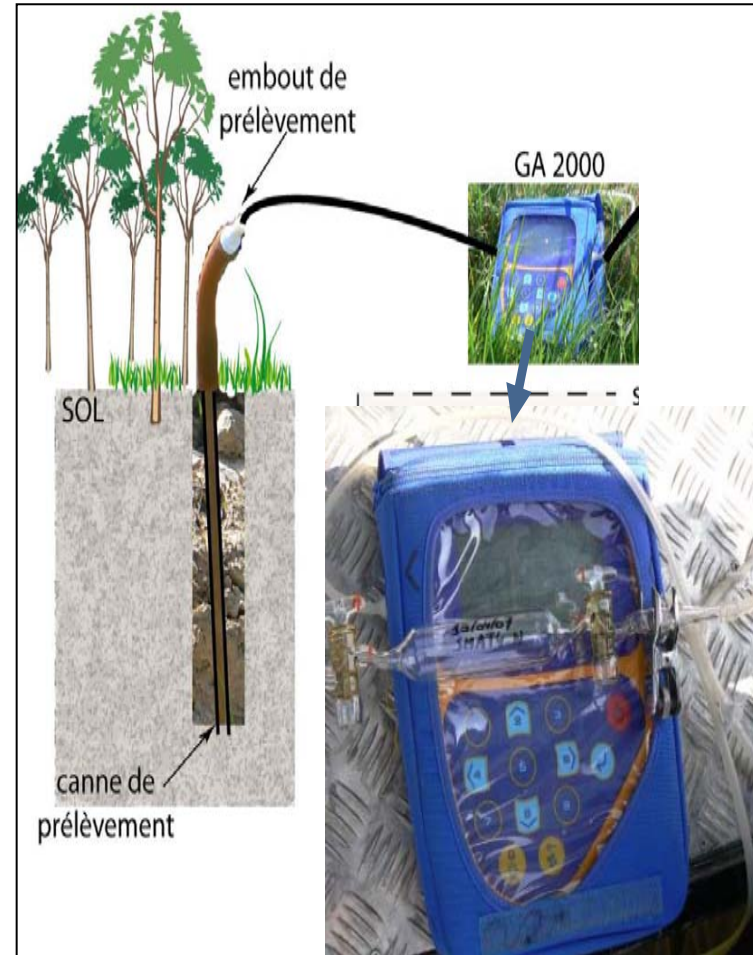
- ▶ **Qualité de l'eau dans les rivières : bonne à très bonne /système d'évaluation SEQ-Eau Adour Garonne**
- ▶ **Valeurs stables en pH , en conductivité et carbonates**
- ▶ **Aucune pollution aux métaux lourds, hydrocarbures ou HAP**
- ▶ **Aucune espèce acidophile n'a été mise en évidence**
- ▶ **Variations observées entre l'état de référence en 2009 et les campagnes en 2010-2012 non significatives**

Eaux souterraines

- ▶ **Comparaison avec les valeurs de référence pour les paramètres clés liés (pH – conductivité – carbonates – hydrogénocarbonates) à la chimie du carbone : pas de variations notables par rapport à l'état de référence**
- ▶ **Aucune pollution aux métaux lourds, hydrocarbures ou HAP**
- ▶ **Variations observées ne sont pas significatives d'un changement notable en relation avec les injections de CO₂ sur Rousse**

Analyses gaz du sol

- ▶ 35 points de mesure (maillage 1 pt/km)
- ▶ Canne de prélèvement à 1 m profondeur pour mesures de concentration en méthane et CO₂ par Infra Rouge - mesures par BRGM
- ▶ Chambre à accumulation (enceinte de 50x50 cm) pour mesures de flux - mesures par INERIS



Analyses gaz du sol : méthane

- ▶ Pas de détection de teneur en méthane : < LD : 0.01%
- ▶ Pas de détection de flux en méthane : < LD : 0.01 cm³/min/m²

Analyses gaz du sol : CO₂

► Teneur en CO₂ :

- Valeurs < seuil de vigilance de 5.4% sauf 5 points (valeurs à 5.45 à 10%) > seuil de vigilance

► Teneur en flux :

- valeurs < seuil de vigilance de 7.4 cm³/min/m² sauf dont 16 pts (valeurs de 7.4 à 12.4 cm³/min/m²) > seuil de vigilance

► Pas de dépassement seuil de vigilance :

- Rappel : le mode « Vigilance » est déclenché si, au cours d'une campagne de mesure, 5 points parmi les 35 suivis dépassent simultanément les valeurs limites en teneur en CO₂ et en flux de CO₂.

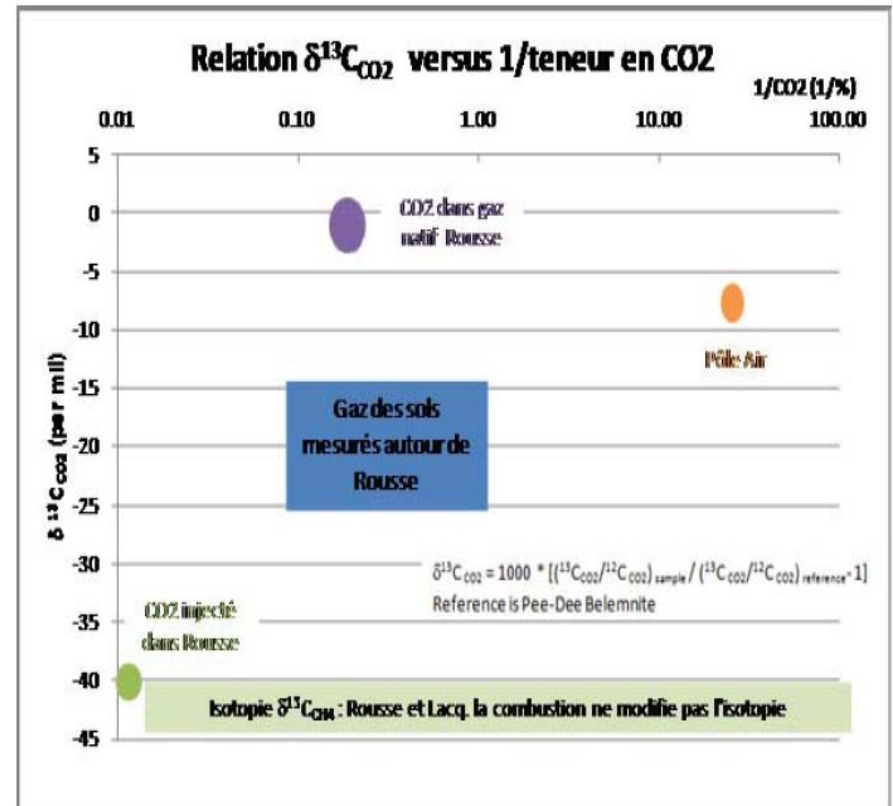
- **En mars 2012 : activité biologique favorisée par températures exceptionnellement élevées (maxi à 26° C) + humidité du sol optimale favorable à émission de CO₂ à la surface du sol**

Gaz du sol : isotopie du carbone

Rapport isotopique $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ du CO_2 :

-10 mesures par campagne

-Très différent entre CO_2 injecté
et CO_2 d'origine biologique



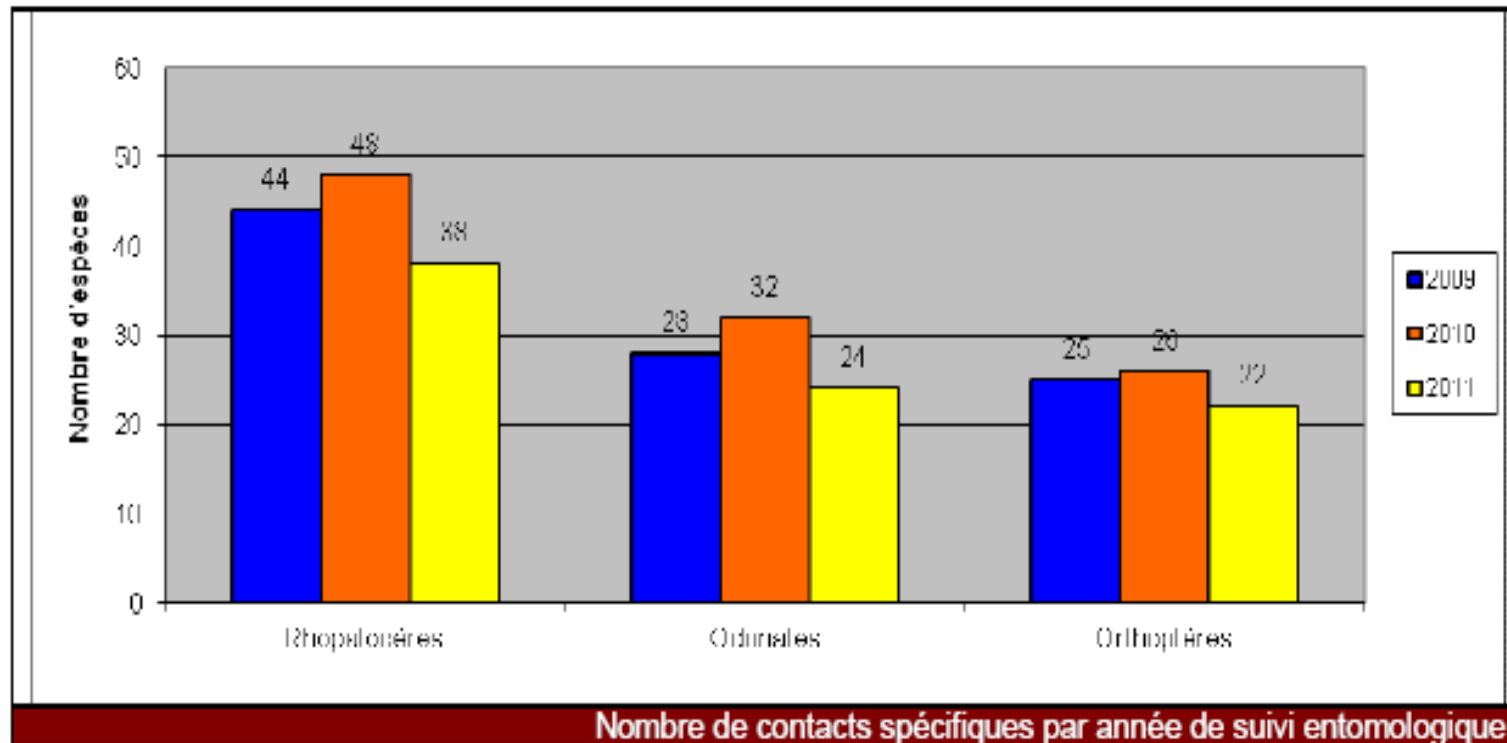
Habitats naturels - flore

- ▶ **Composition floristique relativement proche de celle établie lors de l'état initial**

- ▶ **Quelques variations observées dues :**
 - Changement de nature de l'habitat : jonchaie évoluée en prairie ou des prairies qui ne sont plus entretenues
 - Variations liées aux conditions météo : un printemps doux et avancé entraînant un développement de la végétation ou des fauchages plus précoces

Suivi entomologique

- Orthoptères : grillons - sauterelles
- Odonates : libellules
- Rhopalocères : papillons



Conclusion

- ▶ **Variations observées sur les indicateurs de suivi environnementaux ne sont pas significatives d'un changement en relation avec les activités d'injection de CO₂**
- ▶ **Variations observées entre l'état de référence en 2009 et les campagnes en 2010-2012 non significatives**
- ▶ **Aucune espèce acidophile n'a été mise en évidence dans les eaux de surface**
- ▶ **Aucune pollution aux métaux lourds, hydrocarbures ou HAP**



Bilan carbone

J.Monne

OBJECTIFS ET MÉTHODE BILAN CARBONE®

Objectifs

- Effectuer un inventaire complet des émissions de GES selon la méthode Bilan Carbone® déposée par l'ADEME pour différents schémas de captage de CO₂ appliqués à une chaudière gaz
- Apporter une réponse à une question posée au CLIS du pilote de Lacq (Comité Local d'Information et de Suivi) sur le bilan carbone du pilote

Méthode appliquée

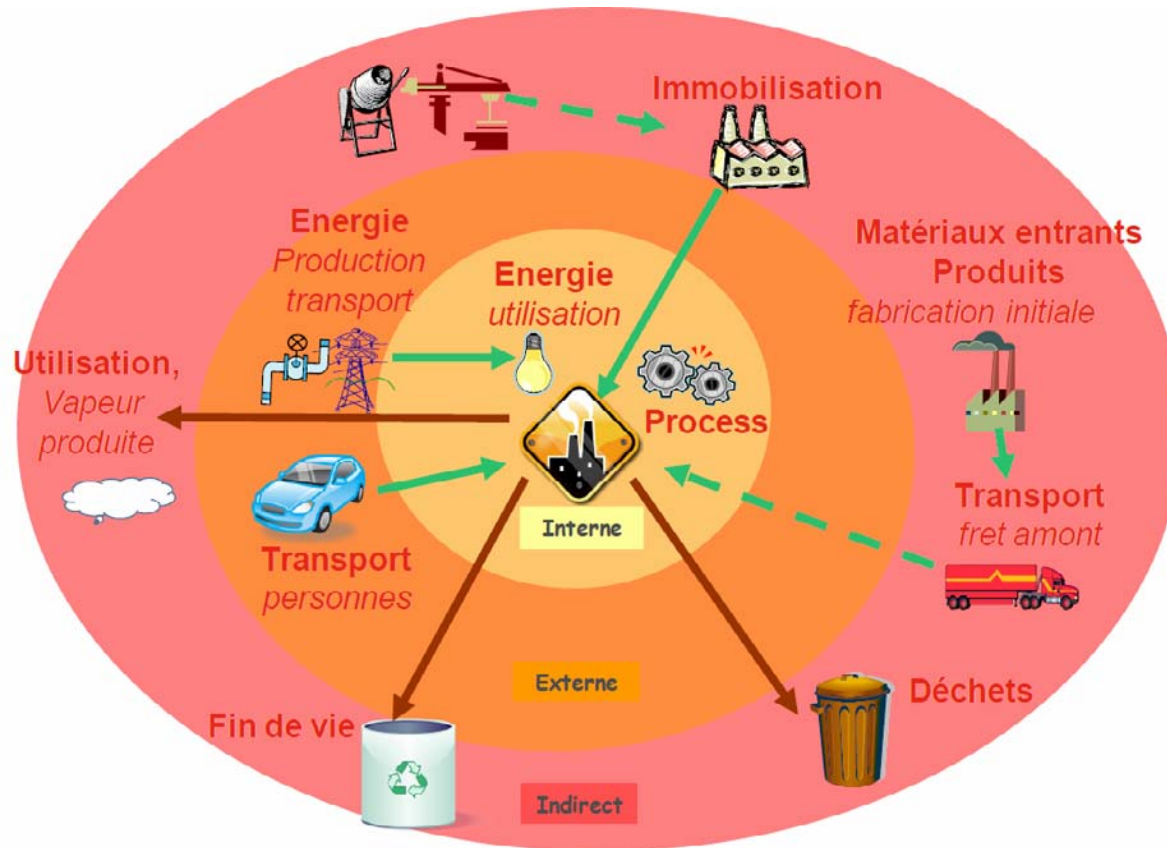
- Méthode Bilan Carbone® développée par l'ADEME
- Elle vise à quantifier les émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie d'une activité, d'un produit, d'un procédé...
- Les résultats sont compatibles avec les formats internationaux (Quotas EU Emission Trading System - GHG protocol - Norme ISO 14064...)

Déroulement de l'étude

- MGR: Collecte de toutes les données requises à partir de l'étude "Joslyn North Mine CO₂ capture" réalisée en 2009/2010
 - OxyCombustion: Technologies ASU et Purification AIR LIQUIDE
 - PCC solvants: Technologie PCC MEA FLUOR
- APESA (Pau): application de la méthode Bilan Carbone® - APESA est accrédité par l'ADEME pour cette méthode

PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE

Cycle de vie: de la fabrication des matières premières...à la construction...à la production et au traitement du gaz naturel...à l'exploitation et la production de vapeur...jusqu'au démantèlement des installations en fin de vie et au traitement des déchets



Postes d'émissions étudiés pour cette étude

LES CAS ÉTUDIÉS

	Comburant chaudière	Vapeur dispo.	Technologie de captage	Provenance électricité	Périmètre étude
Cas 1	Air	662 t/h	N/A	N/A conso élec négligeable	Chaudière
Cas 2	Oxygène	662 t/h	OxyCombustion	Importé	ASU, chaudière, traitement eau, purification CO2, séchage, compression (102bar), transport pipe (30km)
Cas 3	Oxygène	662 t/h	OxyCombustion	Généré sur site (turbine à vapeur + génératrice)	
Cas 4	Air	662 t/h	PCC solvant amine	Importé	Chaudière, PCC solvant, séchage, compression (102bar), transport pipe (30km)
Cas 5	Air	662 t/h	PCC solvant amine	Généré sur site (turbine à vapeur + génératrice)	

► Pour tous les cas

Durée d'exploitation = 25ans

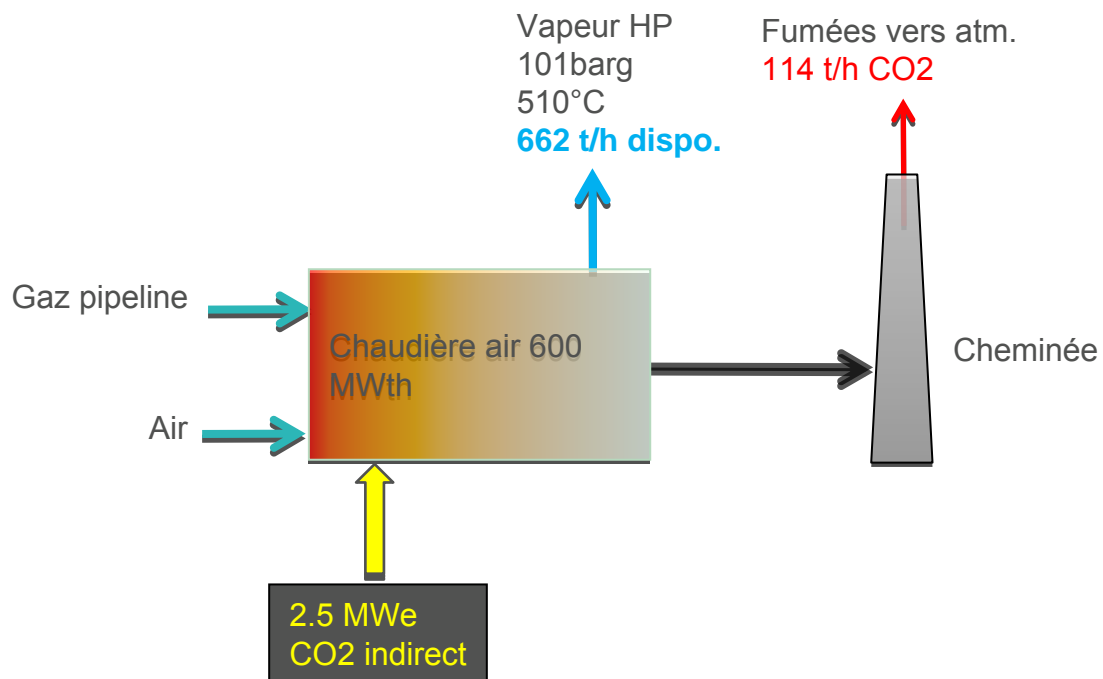
La même quantité et qualité de vapeur est disponible: 662t/h @101bar, 510°C

Pour les cas avec captage, la qualité du CO2 est comparable: $[CO2]_{oxy} = 97.8\%$ et $[CO2]_{PCC\ Solvant} = 97.8\%$

La comparaison entre cas est donc possible

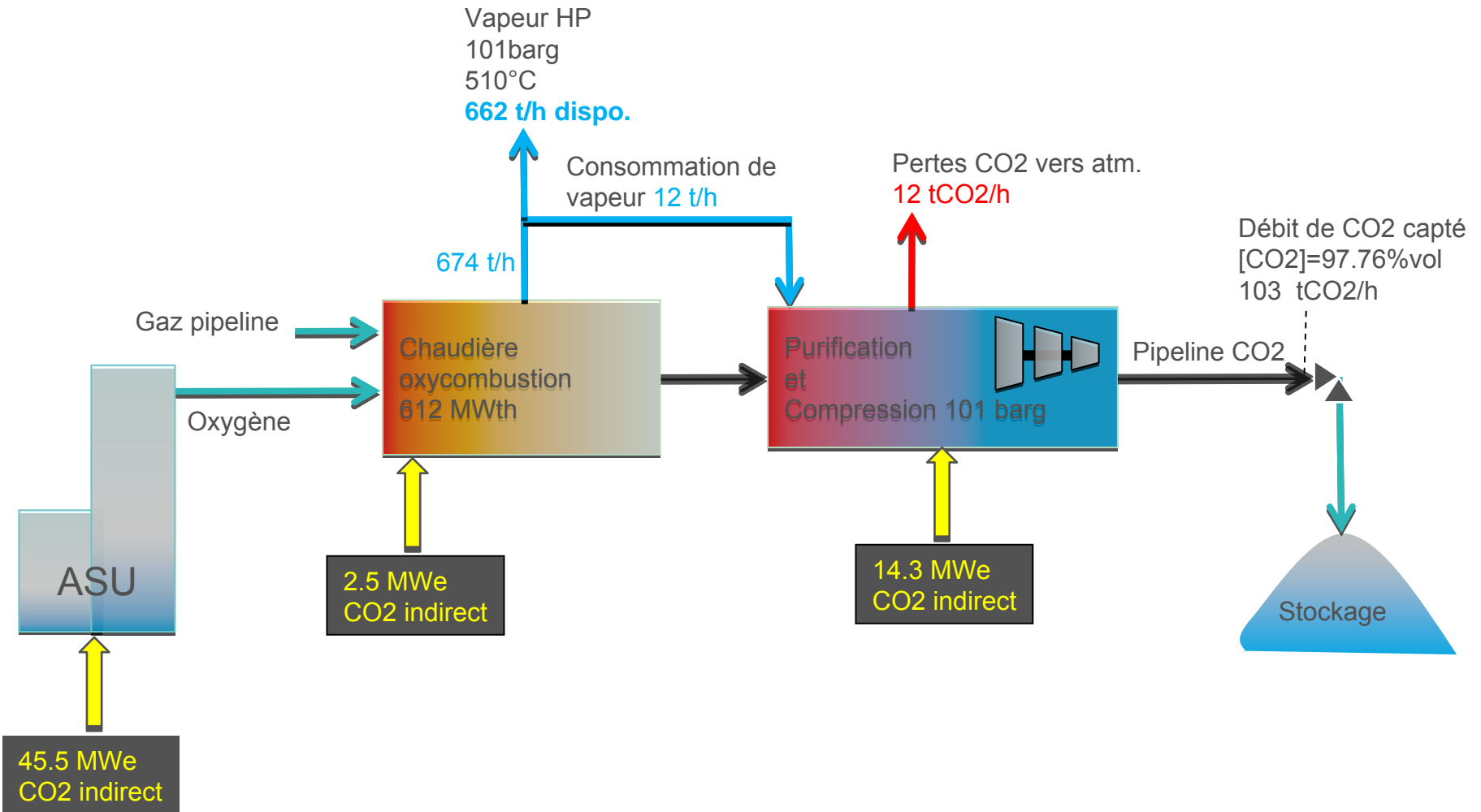
CAS 1: CHAUDIÈRE AIR SANS CAPTAGE CO2

Bilan CO2 lié à la consommation énergétique:
CO2 direct = 114 t/h
CO2 indirect pour la production de 2.5 MWelec

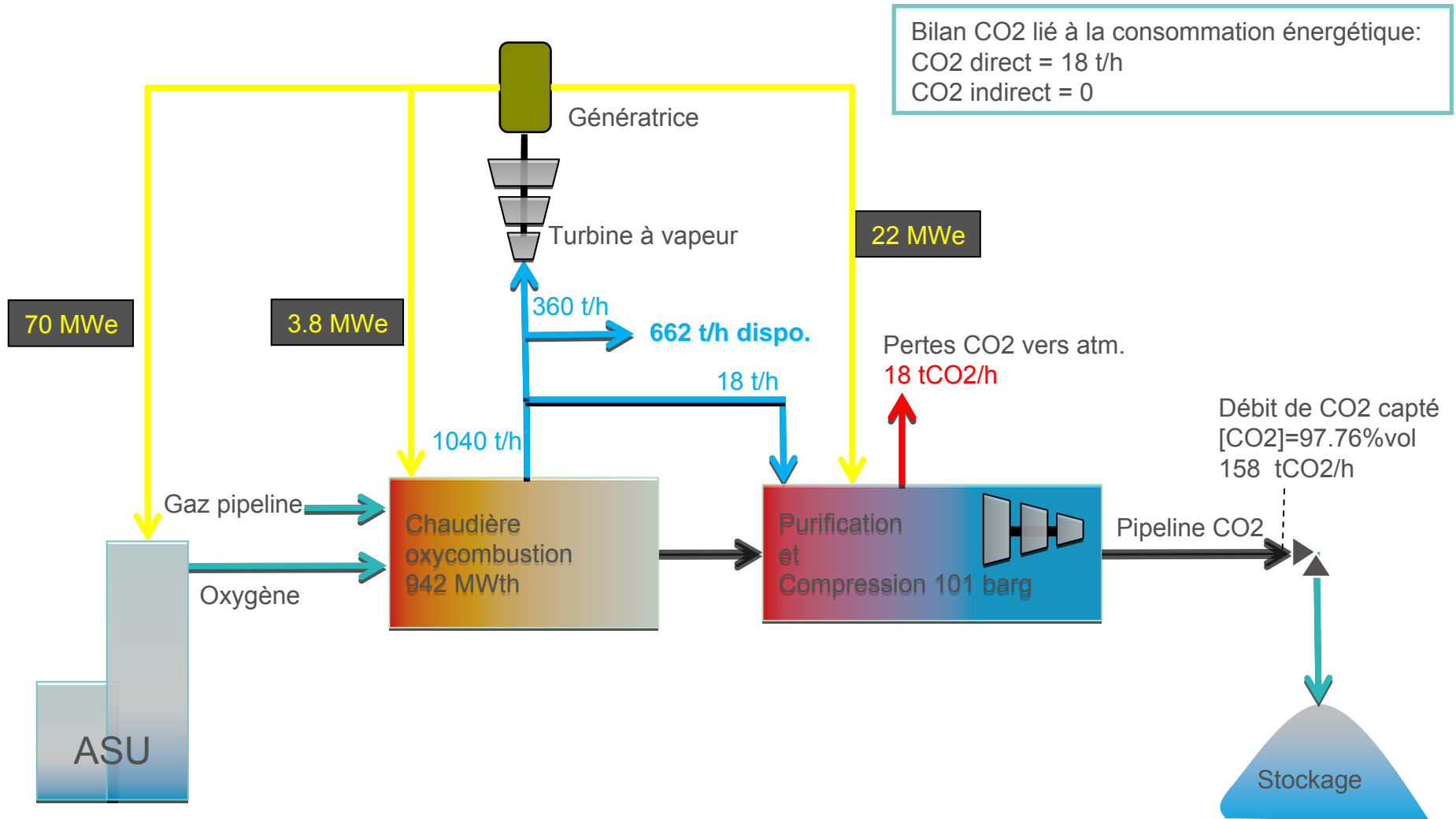


CAS 2: OXYCOMBUSTION AVEC CAPTAGE CO2 ELECTRICITÉ IMPORTÉE

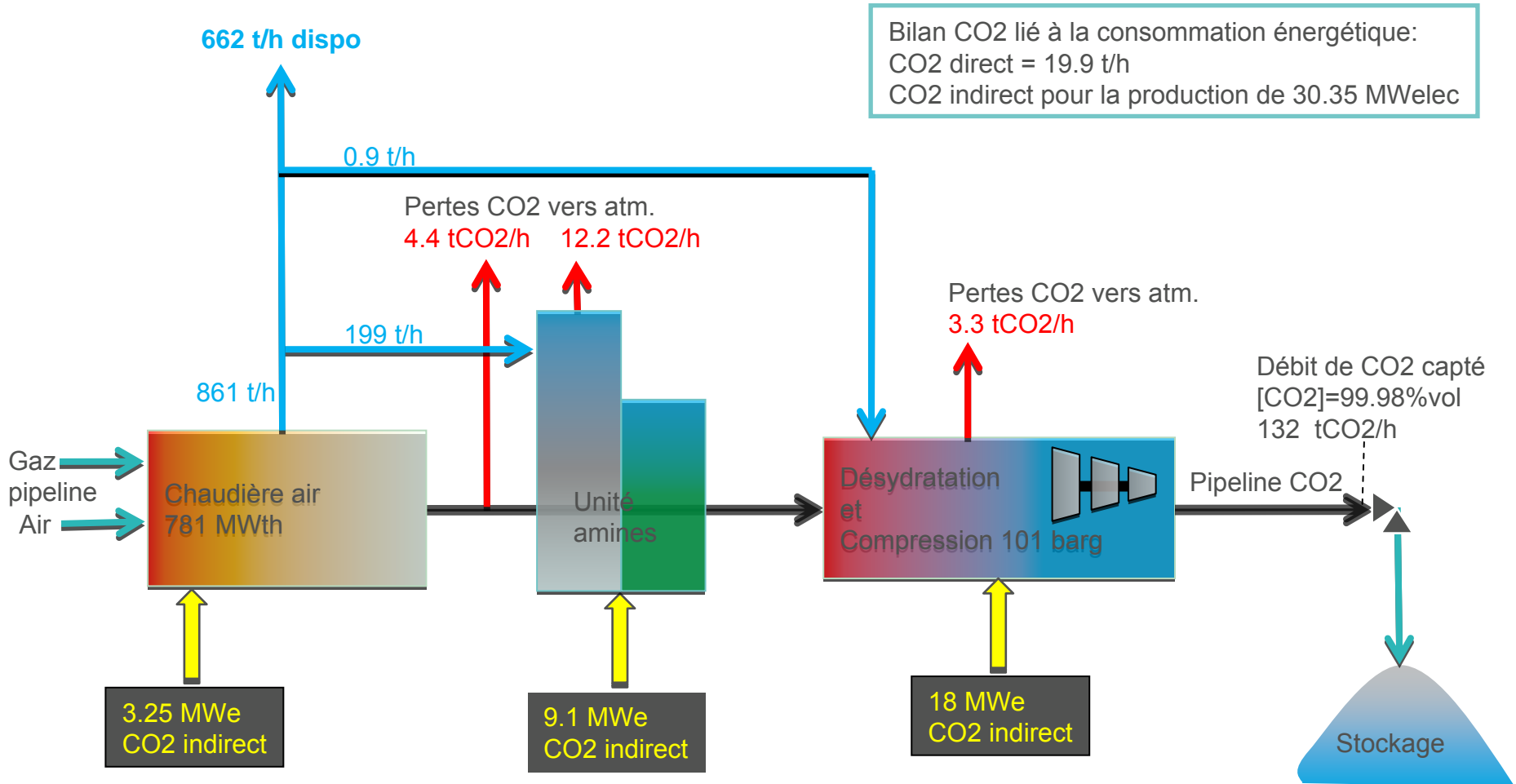
Bilan CO2 lié à la consommation énergétique:
 CO2 direct = 12 t/h
 CO2 indirect pour la production de 62.3 MWelec



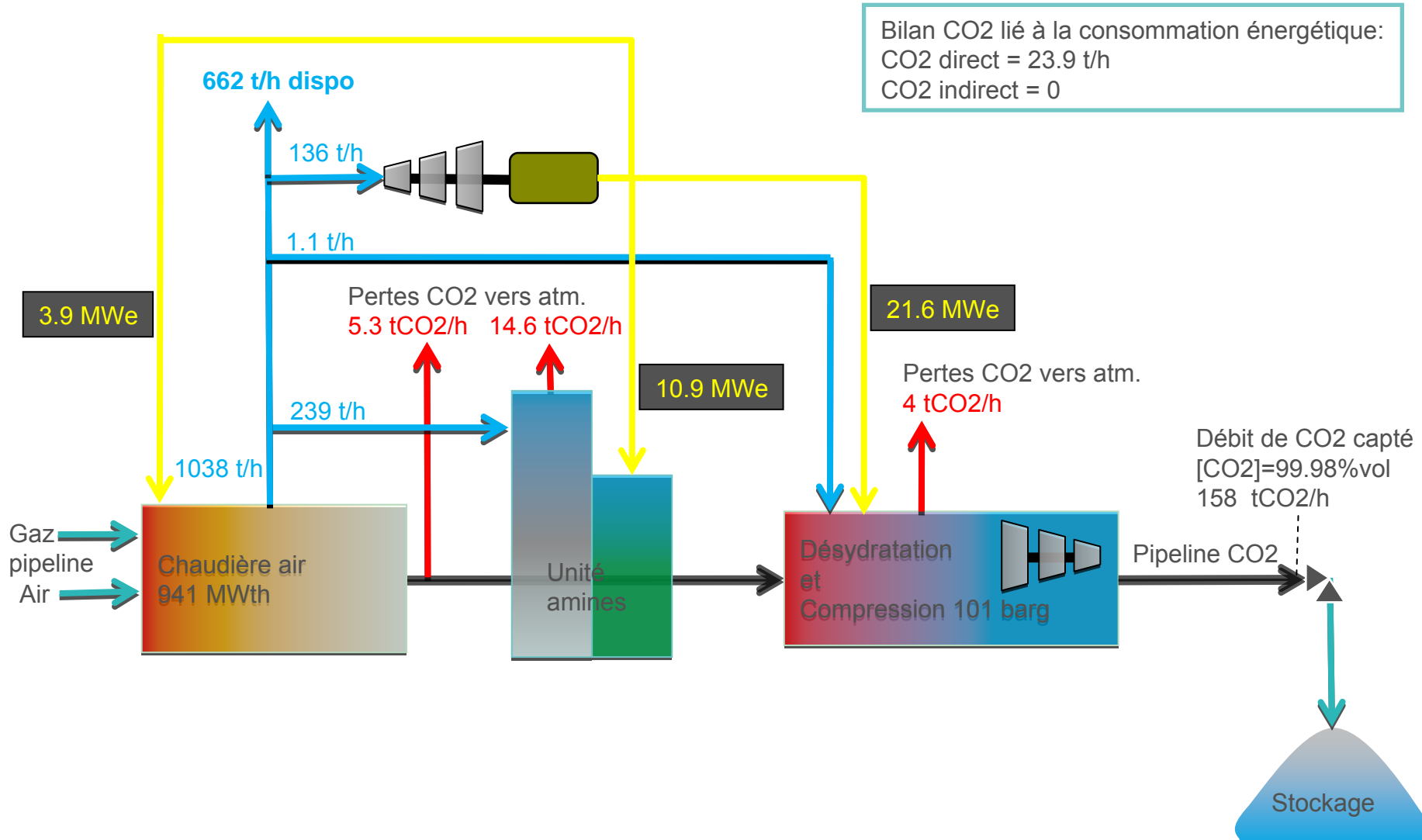
CAS 3: OXYCOMBUSTION AVEC CAPTAGE CO2 ELECTRICITÉ GÉNÉRÉE SUR SITE



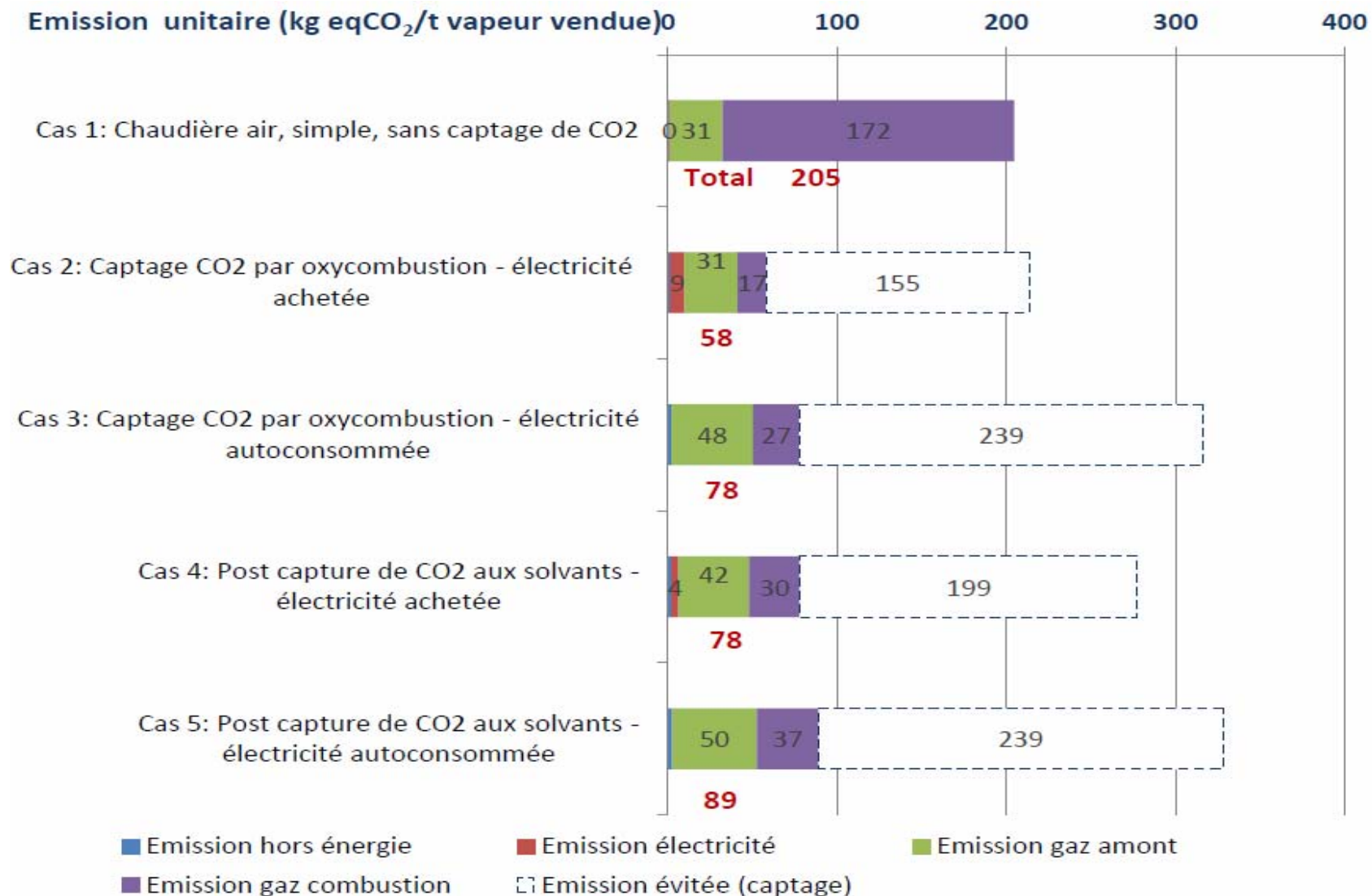
CAS 4: POST CAPTURE AUX SOLVANTS ELECTRICITÉ IMPORTÉE



CAS 5: POST CAPTURE AUX SOLVANTS ELECTRICITÉ GÉNÉRÉE SUR SITE



BILAN CARBONE KG EQ. CO2/T DE VAPEUR DISPONIBLE COMPARAISON DES 5 CAS



BILAN CARBONE KG EQ. CO2/T DE VAPEUR DISPONIBLE

CAS 2 – SENSIBILITÉS PROVENANCE ÉLEC ET GAZ

Emission unitaire (kg eqCO₂/t vapeur vendue)

100

200

300

Captage CO₂ par oxycombustion - électricité achetée (France)



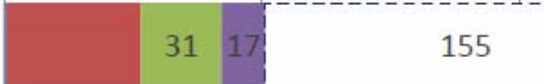
Total : 58

Captage CO₂ par oxycombustion - électricité achetée (Canada)



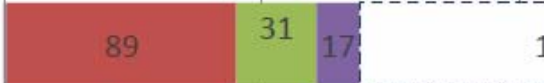
Total : 69

Captage CO₂ par oxycombustion - électricité achetée (Royaume Unis)



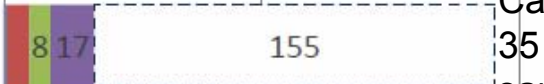
Total : 102

Captage CO₂ par oxycombustion - électricité achetée (Alberta)



Total : 138

Captage CO₂ par oxycombustion - électricité achetée (France) - Gaz extrait localement



Total : 35

Cas du pilote de Lacq
35 à comparer à 205 kgéqCO₂/tvap sans captage

■ Emission hors énergie

■ Emission électricité

■ Emission gaz amont

■ Emission gaz combustion

□ Emission captée



CONCLUSIONS

Généralités

- **Les principales sources de GES pour les cas étudiés sont**
 - Les émissions directes de CO₂ de la chaudière
 - Les émissions liées à la production, au traitement et au transport du gaz combustible
 - Les émissions liées à la production d'électricité
- **Les émissions de GES “hors énergie” sont négligeables (1 Kg..)**

OxyCombustion vs Post Combustion MEA

- La surconsommation énergétique liée au captage de CO₂ est de nature différente:
 - Essentiellement énergie électrique pour l'oxy
 - Essentiellement énergie thermique pour la PCC solvants
- Néanmoins, pour des schémas avec production d'électricité sur site (cas 3 et 5), les technologies sont proches, légèrement en faveur de l'oxy-combustion (78 vs 89 kgeq.CO₂/t vapeur disponible)
- Si l'électricité est importée, tous les cas de figure sont possibles:
 - En France, oxy très favorable (électricité nucléaire)
 - Au Canada, oxy est favorable (mix contenant une forte proportion d'hydraulique)
 - En Athabasca, la tendance est très largement inversée (centrales au charbon)
 - ...

Le pilote de Lacq cumule les aspects favorables

- Localisé en France (électricité nucléaire)
- La production de gaz est locale, donc moins émettrice de GES
- C'est le cas idéal avec des émissions de GES de 35 vs 205 (kgeq.CO₂/t vapeur disponible) pour le cas de base (chaudière sans captage de CO₂)



Programme de recherche – Pilote de Lacq

J.Monne



Les principaux objectifs du programme de recherche

- Prouver la faisabilité technique d'une chaîne industrielle complète de capture, transport et d'injection de CO2 dans le cadre de la production de vapeur Haute Pression**
- Conception d'une chaudière gaz optimisée pour un fonctionnement en oxy-combustion d'une capacité industrielle (200MWth)**
- Développer une méthodologie de qualification et de surveillance d'un stockage géologique et prouver son intégrité long terme**

Prouver la faisabilité technique d'une chaîne industrielle complète de capture, transport et d'injection de CO2 dans le cadre de la production de vapeur Haute Pression

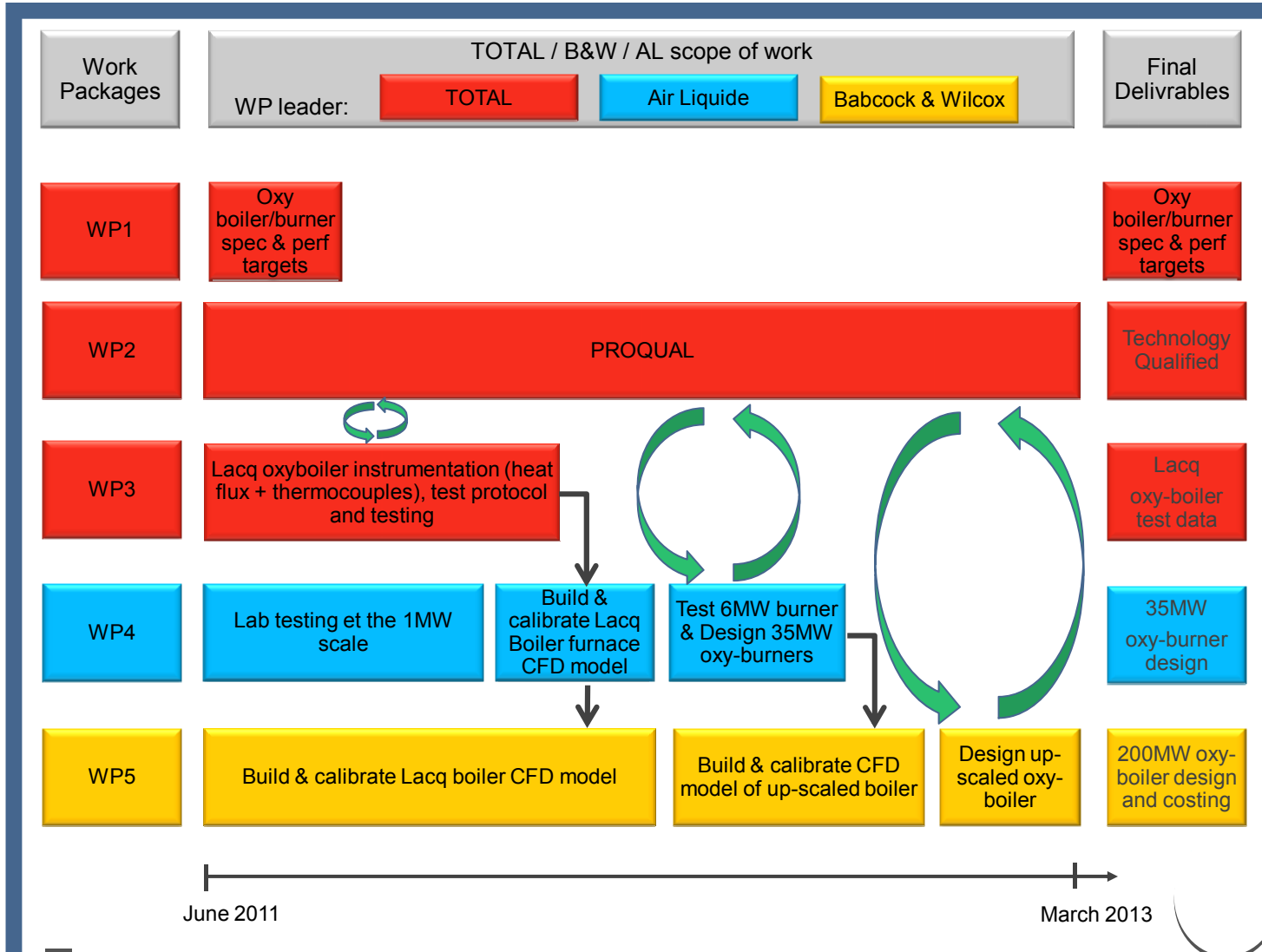
- Le très bon taux de fonctionnement atteint en 2011 et jusqu'à mi-2012 a prouvé que cet objectif est atteint
- Les performances de la chaudière d'oxycombustion sont en conformité avec les attentes

Design d'une chaudière gaz optimisée pour un fonctionnement en oxycombustion d'une capacité industrielle (200MWth)

- Les tests de capacité nécessaires au design ont été réalisés sur la chaudière d'oxycombustion de Lacq en Novembre 2011 avec nos partenaires .
- Les résultats sont satisfaisants. Aucun test additionnel n'est à prévoir.



Conception d'une chaudière de 200 MWth



Développer une méthodologie de qualification et de surveillance d'un stockage géologique et prouver son intégrité long terme

Adéquation mesures-modèle réservoir

- L'évolution de la pression du réservoir est en accord avec les prévisions des modèles.
- Injecter d'avantage ne permettrait pas de réduire les incertitudes, principalement induites par les 30 années de déplétion.

Validation des performances du dispositif micro sismique

- Le dispositif a fait ses preuves en termes de sensibilité de détection.
- Le plan de monitoring post-injection peut dorénavant et déjà être défini sur la base des 2,5 années d'injection (cf. Etude de risques en cours).
- Les événements micro sismique restent de très faible magnitude.

Suivi de l'injectivité

- Les jauges de pression installées semblent ne pas pouvoir permettre une interprétation fine. Une interprétation plus grossière montre que l'indice d'injectivité ne varie pas au premier ordre. (interprétation en cours)

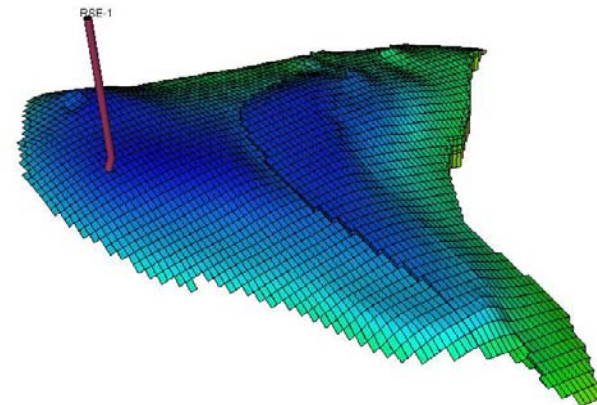
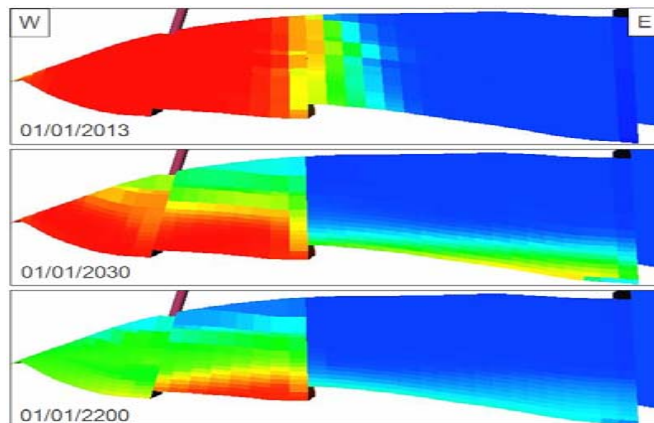
Cohérence des modèles de pertes de charges

- Les calculs de pertes de charges sont en cours. Nous disposons à priori de suffisamment de données pour les mener à bien.



Devenir à long terme du CO₂ injecté

- CO₂ vu sa densité s'accumule en points bas du réservoir, le méthane quant à lui se retrouve en partie haute en dessous de la couverture
- Après 10000 ans : 60 % solide , 10 % dissous dans l'eau résiduelle du réservoir, 30 % reste en phase gazeuse.



Performance du système microsismique



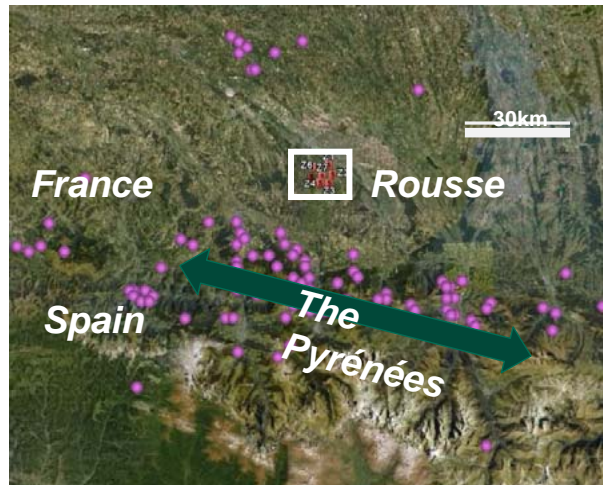
➤ Activité micro-sismique faible: trois événements localisés au niveau du puits d'injection enregistrés avec les équipements de surface :

Magnitude : $-1.1 < M < -0.3$

Rappel : énergie d'un événement de magnitude 2 est 27000 plus importante que celle d'un séisme -1

➤ Depuis April 2011, les événements microsismiques enregistrés par les capteurs R&D de fond ont des magnitudes comprises entre -1.4 et -3.2

- Localisation des événements en cours

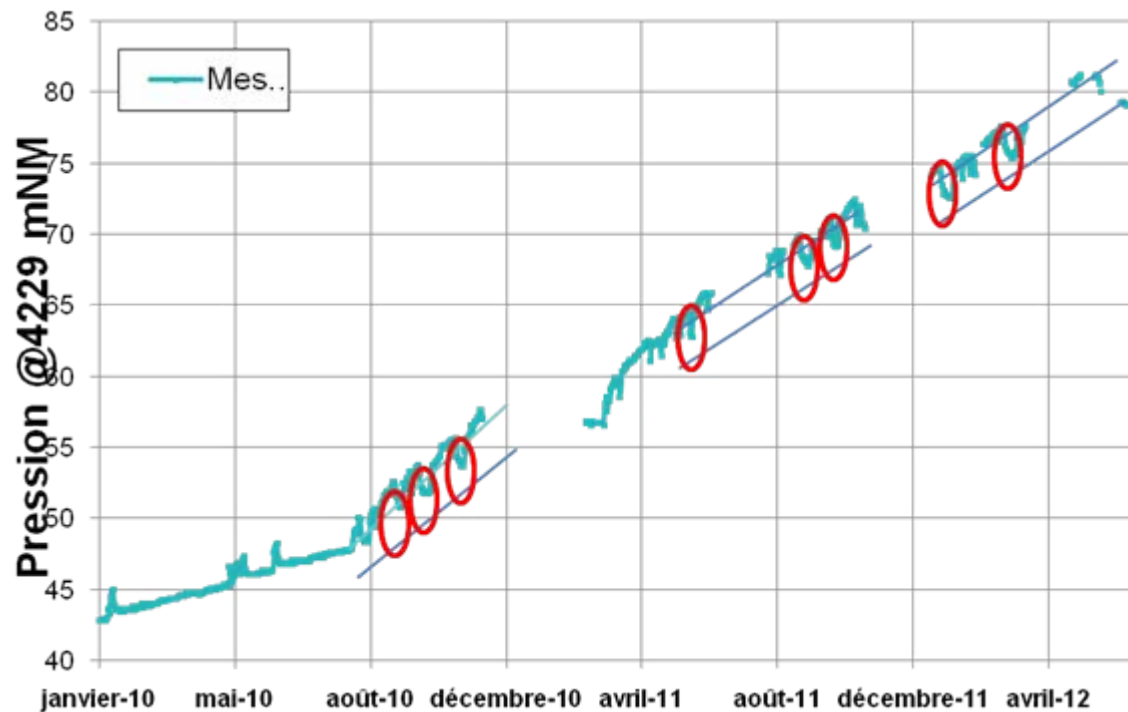


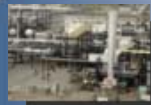
Ces événements n'ont aucune incidence sur l'intégrité du réservoir (Faible magnitude).



Variation de l'index d'injectivité de janvier 2010 à juillet 2012

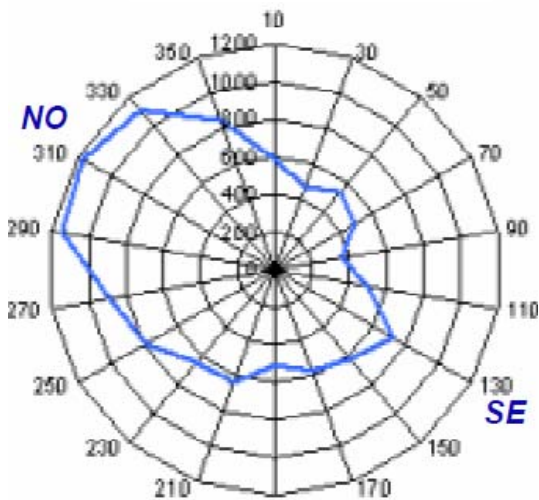
- *Pas d'évolution notable de l'index d'injectivité*
- *En accord avec les études de géochimies réalisées par les universités*
- *Pas de modification notable de la porosité de la roche*





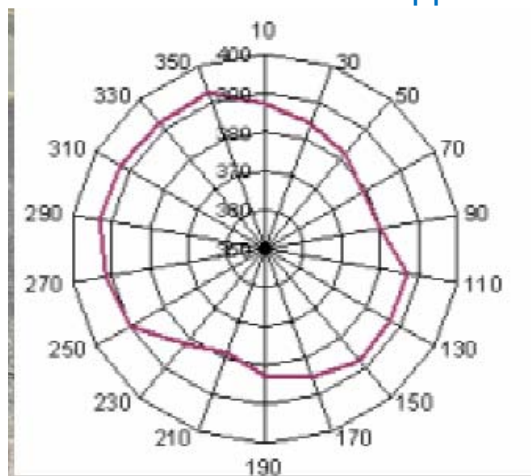
Mesure de la concentration en CO₂ (0 – 5 m)

Wind Direction



Sept 2009 à Juin 2010

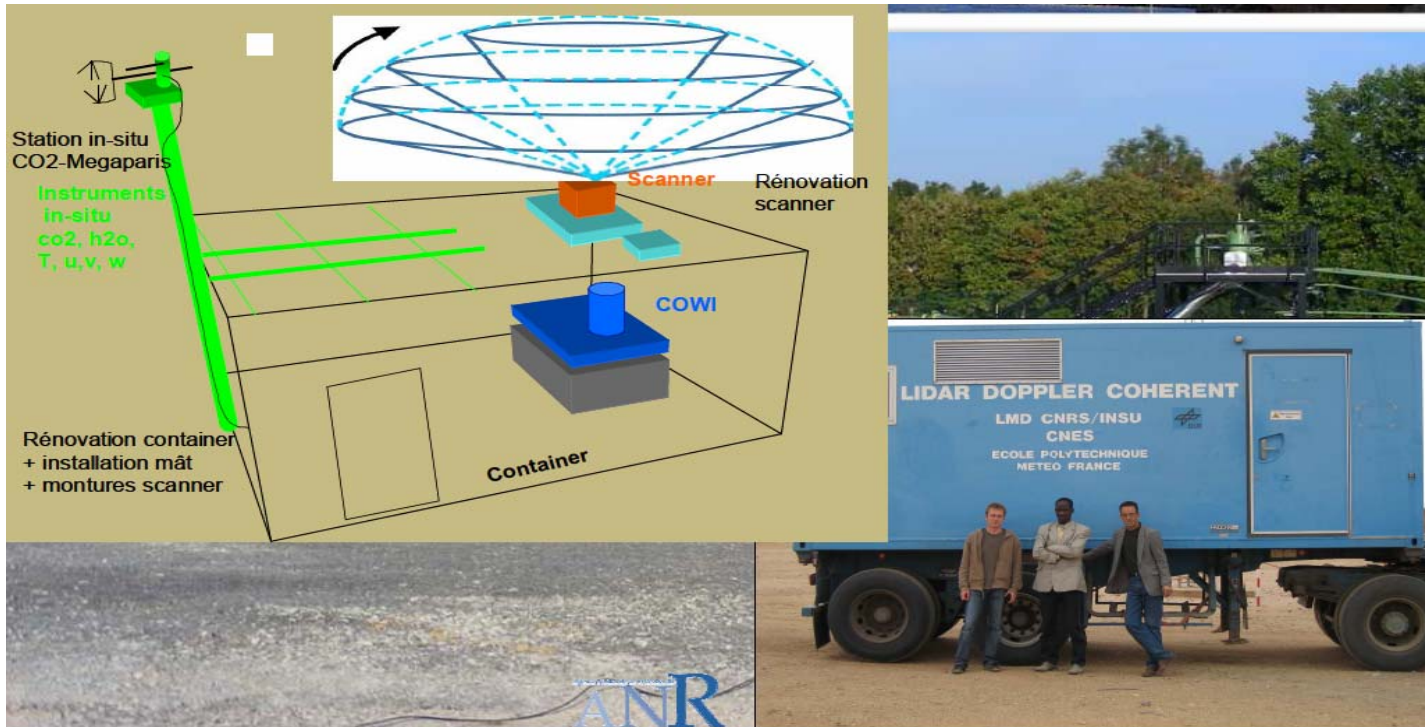
CO₂ Concentration in ppmv



Temp.
Humidité
Pression atm
Vit du vent 3D
CO₂
(flux, conc)



Mesure de la concentration en CO₂ (0-5000m)



Laser de type «Lidar Cowi » (CO₂ and Wind Lidar)

Mesures volumiques

La vitesse du vent et la concentration en CO₂ de l'atmosphère mesurées

Simultanément chaque minutes

Une précision de 4 ppm

Couverture spatiale de 100 à 5000 mètres