



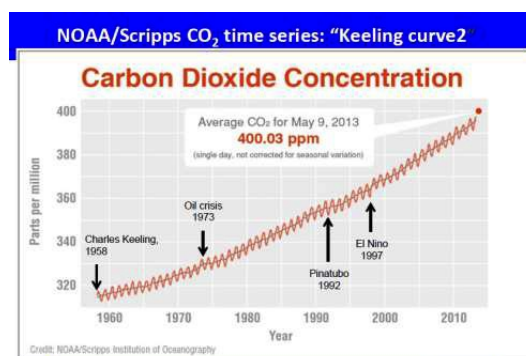
**Avis du Comité des sciences de l'environnement et du Comité de la recherche spatiale
sur le projet de mission du CNES MicroCarb
(mesure depuis l'espace du CO₂ atmosphérique)**

Adopté par l'Académie des sciences le 1^{er} décembre 2015

Le projet MicroCarb est proposé par le CNES comme un satellite d'initiative française pour la mesure continue de la concentration atmosphérique en CO₂.

1 - Objectifs scientifiques

Le cycle du carbone à l'échelle planétaire est une importante question scientifique qui, de plus, a une grande importance sociétale en raison de l'injection de CO₂ dans l'atmosphère du fait des activités humaines. La teneur en CO₂ est en effet un paramètre principal influençant l'évolution du climat, et elle est modifiée par le massif emploi anthropique de combustibles fossiles. Les mesures continues du CO₂ en un petit nombre de lieux sur Terre (en particulier à Hawaï pour la plus longue série) ont montré l'augmentation rapide de la teneur de ce gaz depuis le début de la révolution industrielle, superposée à sa modulation annuelle au fil des saisons. Environ la moitié du CO₂ anthropique rejeté dans l'atmosphère y reste tandis que les autres grands réservoirs que sont l'océan et la biosphère en absorbent approximativement chacun un quart. Cependant ce bilan moyen à l'échelle annuelle masque une grande variabilité saisonnière des échanges entre l'atmosphère d'une part, la biosphère et l'océan d'autre part. Ces échanges contribuent à fixer la concentration atmosphérique du CO₂, paramètre majeur influençant l'évolution du climat. On ne sait pas encore de façon assez précise comment ces échanges et les flux de CO₂ correspondants vont évoluer dans les prochaines décennies en fonction des évolutions du système climatique.



Mesure du rapport de mélange du CO₂ à la station de Mauna Loa (Hawaï) depuis 1958.

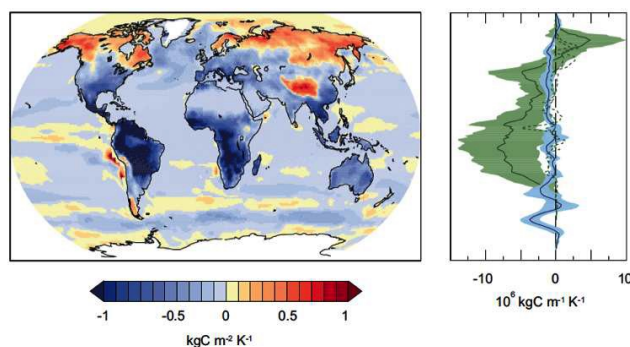


Illustration du couplage entre de nombreux paramètres : la carte et le profil en latitude correspondant montrent la variation des puits de CO₂ en fonction de la variation de température (en kg de carbone par mètre carré par degré. Source : Ciais et al. 2013, IPCC AR5.

L'objectif essentiel de MicroCarb est d'estimer les flux de CO₂ à la surface de la planète, la connaissance de ces flux étant indispensable à la compréhension du cycle du carbone à grande échelle. Cette estimation passe par la mesure continue de la colonne totale de CO₂. La mesure de la colonne de CO₂ doit être validée par les mesures effectuées dans les stations existant au sol. Le passage de la mesure de la colonne totale de CO₂ aux flux de surface se fait par « inversion », ou autrement dit par assimilation dans un modèle de transport global dans lequel les flux sont les variables de contrôle. La répétition des mesures avec une période d'environ deux semaines est bien adaptée à ces objectifs. La mesure de la colonne de CO₂ doit être validée là où des mesures au sol sont effectuées.

La résolution horizontale retenue de l'ordre de 300 km environ n'est pas adaptée à la surveillance des flux anthropiques mais elle est par contre bien adaptée pour l'estimation des flux biosphériques et océaniques.

De plus la mesure n'est fiable qu'en absence de nuages, ce qui nécessite l'obtention d'une image à plus haute résolution spatiale dans le visible réalisée en même temps que la mesure des 4 bandes spectrales dans l'infrarouge proche du CO₂ et du CH₄ (le méthane, gaz à effet de serre que MicroCarb peut aussi observer).

Les émissions anthropiques constituent une source additionnelle de CO₂ et provoquent un déséquilibre du climat en s'ajoutant à l'effet de serre naturel et en affectant les écosystèmes. Les flux anthropiques (émissions de carbone fossile) sont toujours positifs mais très hétérogènes. Les flux écosystémiques sont positifs ou négatifs selon les saisons. Ils sont plus homogènes aux échelles régionales, mais ils restent mal connus et soumis aux aléas des évolutions climatiques. En réaction à l'augmentation atmosphérique du CO₂, les écosystèmes terrestres et marins augmentent actuellement leur absorption de carbone, mais on ne sait rien de la stabilité de cette tendance.

L'enjeu est de suivre l'évolution de ces échanges pour pouvoir anticiper l'effet de la perturbation climatique. En résumé les objectifs scientifiques sont :

- la contribution à la quantification des flux de CO₂ sur des échelles de 300 km environ et à la réduction des incertitudes sur ces flux, notamment ceux liés à biosphère ;
- l'évaluation au cours du temps de la réponse des écosystèmes au changement climatique et aux variations saisonnières ou décennales ;

- le développement d'un instrument plus performant pour les mesures futures, en particulier à partir de satellites opérationnels.

L'instrument n'est pas conçu pour surveiller de façon détaillée les émissions anthropiques parce que sa résolution horizontale est trop faible.

2 - Concept et analyses des performances

Les cycles de l'eau et du carbone font partie des premières priorités scientifiques du CNES, telles que proposées lors du Séminaire de prospective de La Rochelle en Mars 2014 ; le projet MicroCarb a été retenu parmi les projets prioritaires mais sans avoir un contexte précis de réalisation. Il a par contre fait l'objet de développements technologiques.

Il est nécessaire de mesurer le CO₂ avec une précision de quelques ‰, soit mieux que 1 partie par million (ppm) sur une colonne totale intégrée de gaz d'environ 400ppm.

La mesure de la colonne densité intégrée de CO₂ se fait par spectroscopie du flux solaire réfléchi par la Terre. L'instrument MicroCarb utilise des bandes de fréquences différentes d'OCO-2 (satellite NASA) (les bandes du CO₂ à 1.6 et 2 μm qui permettent de réduire les incertitudes et qui permettent de mesurer aussi le CH₄). Il utilise un concept original de spectromètre échelle donnant une résolution spectrale de 25 000 dans un volume et un poids réduits d'un facteur 2 à 3 par rapport aux autres projets spatiaux.

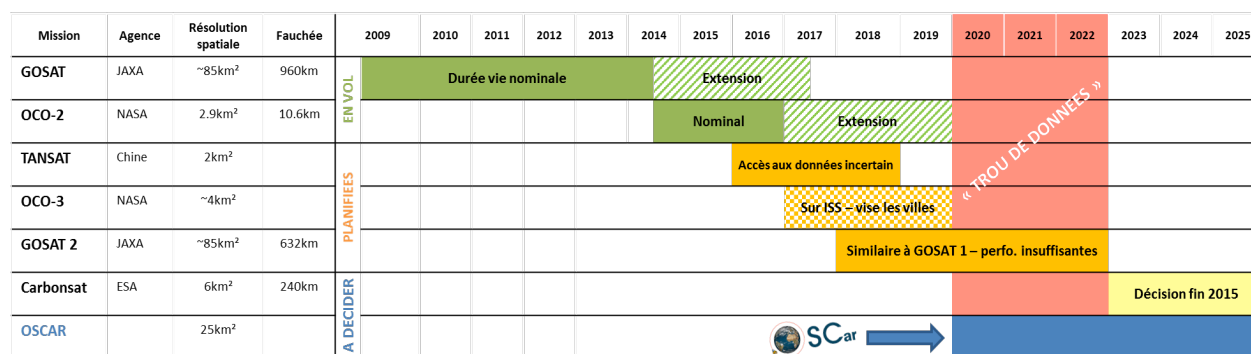
Des études détaillées par les ingénieurs du CNES ont montré par des analyses et un modèle de démonstration mis en œuvre au CST que cet instrument permet d'obtenir la précision désirée de quelque 10⁻³.

3 - Contexte international en novembre 2015

États-Unis : satellite/instrument OCO (OCO-2 lancé en 2014)

Japon : satellites GOSat (GOSat 1 lancé en 2009)

Chine : satellite Tansat (lancement prochainement)



(OSCar = MicroCarb)

ESA : Carbonsat (EE8) Le comité scientifique a mis la mission FLEX en priorité et il est très probable que Carbonsat ne sera pas sélectionnée, et donc ne volera pas avant 2025.

La non sélection de Carbonsat par l'ESAC pour la mission Earth Explorer 8 de l'ESA renforce l'intérêt de MicroCarb puisqu'il y aura une assez longue période sans observation du CO₂ depuis l'espace, qui seul permet la nécessaire couverture planétaire. Le satellite FLEX

qui a lui été recommandé pour EE8 apportera des informations complémentaires sur la biosphère.

Enfin dans la perspective des satellites opérationnels de mesures du CO₂ qui suivront la phase d'exploration scientifique le concept instrumental moins lourd et plus compact pour des performances comparables donnera à la communauté scientifique et aux industriels français un atout important sur ce sujet.

Recommandation

Le Comité de l'environnement de l'Académie des sciences, auquel s'étaient joints des membres du Comité de la recherche spatiale, a entendu une présentation par Jean-Loup Puget du contexte de cette mission lors de sa réunion du 13 octobre 2015. Lors d'une réunion commune aux deux comités le 23 novembre, le responsable scientifique de MicroCarb, François-Marie Bréon, en a fait une présentation scientifique et a répondu aux questions, y compris celles soulevées lors de la réunion du 13 octobre.

Dans le contexte particulier de la tenue de la COP21 à Paris en décembre et de l'avis de l'Académie « Changement climatique et transformation du système énergétique », les deux comités ont entendu et débattu de l'initiative nationale pour la mission spatiale MicroCarb. Ils considèrent que cette mission produira des données utiles pour comprendre le cycle du carbone et le comportement des écosystèmes en réponse à la perturbation anthropique des teneurs en CO₂ de l'atmosphère. Ces questions ont une haute priorité scientifique et sociétale. MicroCarb prépare les futures missions opérationnelles qui feront le suivi à long terme des flux de carbone, y compris les émissions anthropiques. Cela permettra aux équipes scientifiques et aux industries françaises d'y jouer un rôle important.

Ils recommandent donc au CNES, aux agences académiques et aux ministères concernés d'engager au plus tôt cette mission.