



Colloque international – 10 et 11 Oct. 2017 – Toulouse

Le climat a besoin d'Espace

QUESTIONS / REPONSES

Question : M. Pinty, sur la planche 9 de votre présentation, était indiqué un objectif de 200 à 400 tonnes par an. Qu'est-ce que ça veut dire ?

B. Pinty : C'est une estimation faite sur la base des inventaires actuels. Ce qui m'intéresse c'est d'avoir un ordre de grandeur quand on parle d'un changement tous les cinq ans. Dans le rapport, on essaie d'aller plus loin pour décomposer tous les éléments qui permettent d'arriver à ces quantités-là. C'est le genre de changement auquel on peut s'attendre. On a pris la Belgique comme exemple d'un pays émetteur de taille raisonnable mais qui reste modérée. Ça vous paraît peut-être faible. Cette estimation est basée sur la base de données Edgar et sur une autre qui vient des Pays-Bas, je leur fais confiance. Cela dit, ce ne sont pas des chiffres gravés dans le marbre. Il est très difficile de traduire les accords de Paris et ce que les gens en attendent en termes de spécification, notamment instrumentale.

Question : Avec ce qu'on vient de voir on a l'impression qu'on peut mesurer le CO₂ anthropique, qui serait facilement distingué du CO₂ naturel. Est-ce que le problème de faisabilité va être adressé dans le colloque ? Les deux orateurs peuvent-ils nous en dire un peu plus là-dessus ?

R. Séférian

Oui, François-Marie Bréon parlera de ces questions de faisabilité cet après-midi.

Question : C'est plus un commentaire qu'une question. M. Pinty, j'ai vu votre planche (doc Pinty 13) présentant les spécifications d'un instrument destiné à implémenter le chemin général. Je voudrais souligner qu'aujourd'hui au niveau européen on n'a pas décidé de mission carbosat, on n'a pas mis en place de mission de démonstration de notre capacité à faire des mesures avec le niveau de précision que vous avez évoqué. J'identifie une difficulté majeure, nous sommes là sur des spécifications extrêmement difficiles à tenir. Actuellement on réalise en Europe, en particulier dans notre industrie, des spectromètres avec des performances assez difficiles à tenir. L'instrument qui est évoqué et décrit ici est extrêmement ambitieux. Arrivera-t-on à le réaliser avec le niveau de précision demandé ? Si on regarde vers le passé, que ce soit les Japonais avec Gosat, les Américains avec OCO ou les Chinois avec Tansat, on galère tous un peu à faire ces mesures avec un niveau de précision exigeant, un niveau de résolution spatiale qui n'est pourtant pas du tout celui que vous décrivez. C'est un défi technique, sans parler de celui consistant à inverser ensuite la mesure pour propager tout ça et remonter à l'émission de CO₂ anthropique.

B. Pinty : Votre commentaire est tout à fait valide. Nous ne sommes pas inconscients des difficultés qui se présentent, c'est pour ça qu'on essaie d'embarquer tout le monde à bord. Je ne pense pas que ce soit irréalisable sinon on n'aurait pas été à ce niveau-là. Il y a des enjeux partout, à tous les niveaux, dans ce qu'on veut faire. Ma réponse est double : si on n'essaie pas d'observer, on n'avancera jamais ; il faut commencer maintenant pour être prêt dans dix ans. Deuxième chose, il faut prendre conscience des forces gagnées grâce aux connaissances qu'on a acquises. Il est évident que c'est très compliqué d'aller aux émissions anthropiques, mais si on ne se pose pas la question maintenant on est sûr de ne jamais y arriver. Les enjeux sont gigantesques, il ne faut pas en avoir peur. Des missions déjà en vol

nous apprennent énormément de choses : OCO, Gosat, Tansat bientôt. D'autres missions, poussées notamment par la communauté française, promettent une grande richesse. Il faut se placer dans une échelle de temps relativement longue ; si dans dix ans on a quelque chose d'intelligent à dire ce sera bien. Ma position de base est de dire : il est plus que temps d'observer. Il faut se rendre compte que concernant toutes les actions dérivées des accords de Paris, sur lesquels tout le monde s'existe beaucoup, il n'y a pas une mesure de CO₂ qui rentre correctement... Il faut aussi considérer les choses de manière équilibrée, les vrais enjeux se trouvent également dans les gros pays émetteurs, notamment la Chine, l'Inde de plus en plus, les incertitudes y sont énormes. Les incertitudes du *reporting* fait par les Chinois équivalent aux émissions de l'Allemagne. On a de la marge pour avancer...

Question : Le constat CO₂ c'est une intégration d'effets. Le plus difficile n'est pas la construction d'une constellation de satellites. La difficulté n'est-elle pas la montée en puissance des modèles concernant les différents effets (biosphère, océan...) ? Le couplage de toutes les boîtes ?

R. Séférian : Quoi dire de plus si ce n'est que je suis d'accord ?

B. Pinty : C'est une question récurrente. Il y a plusieurs façons de voir. On regarde la possibilité d'extraire de l'information pertinente à partir de capteurs comme le NO₂, puisque quand on brûle des fossiles on émet du NO₂, les panaches de CO₂ s'accompagnent de panaches de NO₂. La difficulté est que le NO₂ est un gaz très réactif donc qui ne reste pas longtemps, il est plus difficile à capturer proprement. La partie intéressante au niveau spatial qui devrait nous aider, c'est la partie Imageur. Avec ses capacités d'imagerie, on va interpréter les observations pour retrouver des panaches. C'est une façon d'aider sachant qu'on connaît à peu près la localisation des sources ; on n'a pas besoin de lancer un capteur de CO₂ pour trouver où sont les villes et les usines ! Enormément d'informations *a priori* sont utilisables. Ce sont des concepts de type FFDAS (Fossil fuel data assimilation system), mais pas seulement. Il y aura beaucoup à faire, mais déjà on va essayer de poser les problèmes dans leur entièreté. On ne cherche pas à vous vendre un cochon bon pour la viande, qui produirait aussi du lait, pondrait des œufs, servirait le café ! On essaie simplement d'aborder un problème dimensionné sur les dix prochaines années. Il faut se préparer maintenant de manière à avoir quelque chose à dire d'un peu solide dans dix ou douze ans.

Question : On a parlé de l'ambiguïté du mot *verification*. Un autre mot est ambigu : le mot détection. On l'utilise souvent dans ce domaine, or il a une connotation policière, comme si quelqu'un avait commis un crime et n'avait pas déclaré une source majeure de CO₂. Quelle peut être la compréhension correcte du mot détection dans ce cadre ?

B. Pinty : On est dans les questions de sémantique ce matin ! Il y a en Inde une forte zone d'émission que personne n'avait identifiée, une source très importante. Tout un tas de sources diffuses sont également à prendre en compte, en Chine notamment. Il faut peut-être réinventer des mots pour ça. Dans les premières études faites par les Américains, dont une très belle réalisée par un regroupement d'universités, qui tendaient bien avant la COP 21 à élaborer le genre de système qu'on est en train de mettre en place (avec moins de contraintes car les accords de Paris n'étaient pas là), ils utilisaient le mot *validation* qui quelque part dans le contexte spatial correspond à peu près à ce qu'on pensait faire. On en est loin, mais c'est ce vers quoi on pousse, un système intégré, non indépendant des inventaires ou des *reportings*. C'est difficile de trouver les mots justes, effectivement ces mots-là peuvent être inappropriés dans certaines circonstances, selon les interlocuteurs en présence. Il faut un petit lexique, d'ailleurs dans le rapport Rouge j'en ai rajouté un de 4 ou 5 pages, pour expliciter ce que veulent dire les mots.

Question : On voit qu'il s'agit d'un système à plusieurs étages, avec les Etats, la Commission européenne et le niveau international. Dans quel contexte se développe l'activité européenne ? Quels sont les échanges prévus de modèles par exemple ? Je pense aux données relatives aux mesures sol, car comme la météo il faut à la fois avoir de mesures satellitaires à l'échelle de la planète et d'autres au niveau local, sans les données sol il est difficile d'avoir des prévisions climatiques fiables. Qu'est-ce qui est prévu dans ce domaine au niveau des échanges internationaux ?

B. Pinty : Ce que j'ai présenté se place dans le cadre de l'évolution de Copernicus, qui est le programme de suivi de l'environnement de l'Union, avec la composante spatiale comme composante majeure. Copernicus ne se désintéresse pas des données *in situ*, mais c'est un peu particulier car la priorité de la gestion du niveau local est laissée aux Etats membres. Concernant la partie spatiale, tout s'inscrit dans le cadre des discussions qui ont lieu au niveau du **CEOS**. Le prochain président du **CEOS** va d'ailleurs venir à la Commission et un des points importants abordés sera le CO₂. Il est hors de question de travailler en isolation. Les Américains ont un satellite en orbite et un programme pour éventuellement en faire voler d'autres ; vous savez qu'ils sont actuellement en difficulté sur ces questions avec leur administration. Les Japonais sont présents avec des satellites, les Français devraient l'être bientôt, les Chinois bien sûr... La Commission propose dans le cadre international de coopération l'échange de données bien entendu ; des données que l'on garderait pour soi n'auraient aucune valeur concernant ce qu'on envisage de faire dans le cadre de l'**IPCC** (le **Giec**) et du *reporting* par exemple. Il est par ailleurs évident que même si on parvient à mettre en place une constellation de trois satellites dans le cadre de Copernicus, c'est tout à fait insuffisant. Il faut viser le travail qui se fait à travers le **GCOS** et le livre blanc (*the White Paper*) qu'ils sont en train de sortir, avec une stratégie couplant différents types de technologies, d'orbites, les géostationnaires, les **LEO** avec **IASI**, et différents types de constellations. La partie dont j'ai parlé n'est qu'une pierre à l'édifice.

Question : Je travaille pour le groupe Suez, nous ne sommes pas des experts en satellite en revanche nous faisons les inventaires CO₂ des villes, nous évoluons sur le marché des crédits carbone. Vous citez comme objectif pour Copernicus d'arriver au niveau des villes. Sera-t-on capable de descendre sous l'échelle de la ville concernant la mesure des émissions ? Mesurer par exemple un impact au niveau d'un quartier pour avoir des données directement utilisables dans le suivi des actions de la ville, de ses programmes de rénovation énergétique ? Et ma deuxième question : D'ici à 2027, est-ce que sur la base de satellites qui vont être lancés on pourra obtenir des choses qui pourraient nous aider à enrichir soit nos inventaires, soit la partie mesure d'impact, sans que ce soit forcément totalement automatique, mais qui déjà apporte de la valeur ?

C. Clerbaux : Les interventions à venir, plus concrètes concernant les échelles, devraient apporter des éléments de réponse.

S. Briggs : L'agence européenne étudie les exigences d'intégration à l'heure actuelle, mais un système WiFi et mondialisé ne fait pas encore l'objet d'études dans le cadre européen.

P. Bousquet : Déjà à l'échelle de la ville c'est compliqué alors descendre en dessous de cette échelle par satellite, je ne vendrais pas ça aujourd'hui. Même pour le méthane, on peut probablement faire de la détection un peu on/off sur certains hot-spots qu'on n'aurait pas vus, mais aller sur des quantifications précises de sous-quartiers, ça me semble une ambition excessive. On est pour l'heure sur l'échelle de la méga-cité. En revanche, avec d'autres méthodes d'observation plus *in situ*, à base de capteurs mobiles, de drones, de choses qu'on peut penser autour de sites industriels, de quartiers,

on pourra coincer les émissions peut-être plus facilement. Il ne faut pas penser le satellite tout seul, il s'inscrit dans un réseau d'observation complet depuis le sol jusqu'au plafond...

Question : Je ne peux qu'appuyer l'importance de la coopération internationale sur ces questions. Nous sommes à Météo-France, on n'a pas fait de la météorologie en travaillant tout seul dans son coin. C'est important d'avoir des discussions au niveau du CO₂, la présidence de la Commission européenne à ce titre est très importante. Le Président Macron organise un sommet du climat à Paris en décembre, ce sera l'occasion pour le **CNES** d'inviter la veille de ce sommet les chefs des agences spatiales à débattre et à discuter de la coopération internationale sur ces questions. La discussion est bien engagée entre les différents acteurs. J'ai une question pour M. Pinty : Copernicus est un programme qui délivre des services, quel est l'état d'avancement ? quels sont les services qui seront rendus dans le contexte des problématiques de changement climatique et de gaz à effet de serre ?

B. Pinty : Dans le contexte large des changements climatiques, il existe le service changement climatique en tant que tel, et en parallèle un service de monitoring de l'atmosphère (CAMS). Tous les deux sont implémentés par l'**ECMWF**. Ce qui me semble faire sens c'est qu'un service de type CO₂, CO-méthane même, soit implémenté aussi par ces parties-là, mais il aura sa propre existence. Ça me paraît raisonnable de s'appuyer sur ces forces-là au niveau européen.

Je voudrais ajouter un commentaire. La question qui se pose c'est de savoir comment on peut mettre en place cette globalisation. Ça peut être un des attracteurs que l'on peut avoir dans le cadre du **CEOS**, parce que même si on est très bien coordonné au niveau spatial, on n'ira jamais beaucoup plus loin que la quantité qu'on appelle l'**XCO₂**, c'est-à-dire un niveau 2 présentant la quantité totale de CO₂. Or ce n'est pas cela qui va nous amener aux émissions anthropiques. Quand on arrive au **XCO₂**, on a fait la moitié voire le tiers du chemin seulement. Il est évident qu'on ne mettra pas en place un système disposant de toutes ces fonctionnalités le premier jour. Mais c'est un embryon, il faut le démarrer, ensuite je ne sais pas à quel niveau on peut discuter pour aller plus loin, peut-être le **WMO** est-il un meilleur vecteur... Il faut commencer à lancer puis on verra comment les choses évoluent.

Question : J'ai une question programmatique pour M. Pinty : Comment s'articulent les programmes H2020 mentionnés sur votre dernière planche ? Vous avez parlé d'un système capacité *built up* à partir de 2020, comment ça va s'articuler avec les Copernicus ? Copernicus expansion va démarrer sous peu, on attend les ITT à la fin de l'année, notamment Sentinel 7. Le H2020 à partir de 2020, comment va-t-il s'articuler avec la composante spatiale Copernicus ? Est-ce que ça va être pour préparer l'après, pour se focaliser plutôt sur les aspects système ?

B. Pinty : C'est une question un peu délicate, la question est pour après 2020 c'est ça ? Le H2020 *Space call*, mentionné sur la planche 16, sortira en 2019 si tout se passe bien. Il sera réalisé sur trois ans de manière à alimenter les équipes qui travaillent, notamment les *Tasks forces* dont j'ai parlé, car elles ont besoin de ressources significatives. L'action de coordination (*coordination support*) met toutes ces forces ensemble. Concernant l'après 2020, personne ne peut se prononcer, parce qu'on a aucune idée des montants, ni des durées, ni du comportement des Etats membres qui vont fixer les budgets ; ça serait jouer à la boule de cristal. Je ne suis pas un spécialiste de ces affaires, mais il y a des interrogations énormes suite au Brexit. Il est possible que le prochain **MFF** soit de cinq ans et non de sept, et s'il est de sept ans il sera réduit, il existe des priorités dans divers domaines, et pas seulement sur l'environnement...

Question : On a parlé des mesures disponibles aujourd'hui au travers des missions japonaises, américaines, chinoises, mais peu de l'intérêt d'augmenter la revisite. Ces mesures sont faites dans un

certain contexte avec une géométrie solaire particulière, on travaille en réflexion. Serait-il intéressant d'augmenter le nombre de satellites ou de mesures, y compris de moins bonnes qualités ? Le cas du nano-satellite GHGSat nous intrigue un peu. Ce type de capteur est-il intéressant ? Est-il judicieux d'améliorer la revisite ?

P. Bousquet : Sur Merlin la revisite est d'un mois, parce qu'on a un pinceau. Il est possible d'imaginer des missions où on rebalaye un peu, avec des revisites sur quelques jours, comme les objectifs annoncés de 2 ou 3 jours, ça peut être intéressant. Mais pour ce qui est d'augmenter le nombre de données, j'en reviens à mon dada : l'erreur systématique. Actuellement le nombre de données permet de réduire l'impact de l'erreur aléatoire assez facilement lorsqu'on s'intéresse à des échelles spatiales de quelques dizaines de kilomètres ; l'erreur aléatoire ne nous embête finalement plus beaucoup. En revanche l'erreur systématique oui. Si de nombreuses données ne sont pas bonnes systématiquement, on aura du mal à apprendre des choses sur les émissions. Merlin est un démonstrateur, il nous permettra de voir si on arrive à faire des mesures à bas biais, et si ça marche c'est ce genre de mesures là qu'il faudra favoriser. On va tout faire pour que ça fonctionne ; et si c'est le cas, il faudra probablement réfléchir à des systèmes couplés passif/actif, ça peut permettre d'avoir à la fois la revisite et le biais faible, puisque l'actif pourra aider à calibrer le passif.

C. Crevoisier : Concernant le nombre de missions en vol, on se rend compte que plus il y en a plus il faut les inter-calibrer les unes les autres, pour être sûr qu'elles mesurent toutes à peu près la même chose ou qu'on est capable de corriger des biais susceptibles d'intervenir d'une mission à l'autre. A l'avenir, cinq imageurs sont envisagés pour mesurer des émissions anthropogéniques à la surface, cela va nécessiter une très bonne inter-calibration (sans doute facilitée par le fait que les instruments seront similaires). Jusqu'à présent de nombreux instruments, relativement différents, ont volé, ce qui complique la tâche derrière. Il reste par ailleurs beaucoup de questions concernant l'interprétation elle-même de chacune de ces missions, puisque lorsque plusieurs équipes s'intéressent à la même mission, elles n'apportent pas la même réponse.

M. Pircher : Mes questions sont volontairement basiques. Le réchauffement climatique est lié à la concentration de gaz à effet de serre (principalement le CO₂ et le CH₄) sur toute la colonne d'air. Colonne que l'on mesure assez bien. Finalement on se préoccupe depuis ce matin de ce qui est en bas, car les émissions anthropiques partent souvent du sol et nombre de puits sont aussi en bas. Au travers de vos interventions, on se rend compte qu'il existe de nombreuses équipes, quantités de modèles, parfois convergents à certaines altitudes mais qui ne donnent pas toujours le même résultat, des données de tous types... En définitive, à l'avenir, en tant que scientifiques analysant cette colonne d'air atmosphérique sur l'ensemble de la planète, votre rêve ne serait-il pas de disposer d'éléments maillés dans la verticale permettant de connaître toute la colonne, en permanence, avec une très bonne résolution verticale et horizontale ? Le réchauffement climatique global c'est aussi la façon dont cette concentration de gaz à effet de serre vit sur l'ensemble de l'année et les cycles décennaux. Quel est votre rêve le plus fou ?

C. Crevoisier : On signe tout de suite, on prend tout : résolution verticale, résolution horizontale, pas de biais, précision extraordinaire... ! Encore une fois, ce qui est important c'est la combinaison d'observations. On aura toujours besoin de mesures à la surface, c'est à la surface qu'il y a les puits, les sources, c'est ce qu'il faut comprendre pour parvenir à simuler le système Terre et prévoir comment il va évoluer. Depuis l'espace la majeure partie des missions actuelles nous apporte une colonne totale, on est obligé de vivre avec. Si une mission nous permettait de voir 5 ou 6 points sur la colonne on serait ravi, mais on n'en est pas là, on est encore à des colonnes totales. J'en reviens à l'idée de couplage. Outre le couplage actif/passif, il y a celui entre les différentes bandes de fréquence utilisées, le proche infrarouge et l'infrarouge thermique, qui ne sont pas sensibles à la même altitude aux différents gaz ;

en combinant les deux peut-être qu'on arriverait à distinguer la troposphère libre de ce qui se passe à la surface par exemple. On réfléchit à ces sujets dans le cadre des futures constellations.