



## Rapport de synthèse du TOSCA

Séminaire de prospective scientifique ■ 16-19 mars 2009

105

## 1. Préambule

Le rapport du TOSCA s'articule principalement autour des quatre thèmes suivants : Terre solide, Océan, Surfaces Continentales et Atmosphère. La prospective de ces thèmes s'est déroulée sur une période de six mois avant le séminaire de mars.

Au-delà de ces réflexions, la communauté observation de la Terre s'est également mobilisée sur quatre thèmes transverses importants pour son organisation : changements planétaires, haute revisite temporelle, services et systèmes d'information environnementale (GMES, GEOSS) et moyens d'accompagnement. Les réflexions sur ces thèmes transverses qui ont démarré en janvier 2009 et se sont terminées pendant les sessions de travail dédiées lors du séminaire de prospective font également l'objet d'un court rapport.

## 2. Vers une approche intégrée du système Terre

Les sciences de la planète Terre sont aujourd'hui face à un défi scientifique de première importance, celui visant à élaborer une synthèse des connaissances acquises au sein d'un corpus unique afin de comprendre et quantifier les interactions inter et intra milieux et d'en déduire les conséquences sur l'évolution à court, moyen et long terme de notre environnement.

Le système Terre est un système complexe au sein duquel les espèces régulant le système terrestre, les processus agissant et les paramètres impliqués sont très nombreux. Les différentes échelles de temps et d'espace s'étendent sur des domaines très larges (respectivement de quelques secondes à plusieurs dizaines de milliers d'années et de la parcelle à l'ensemble de la planète), ces échelles étant de plus en interactions. De plus, nous ne disposons que d'une seule planète présentant ces caractéristiques et aucune comparaison n'est donc possible pour pressentir son évolution. Enfin, cette planète étant la nôtre et son habitabilité devant être préservée, il est exclu de mener des expérimentations de grande échelle dont on ne maîtrise pas totalement les conséquences. Cette complexité ne peut donc aujourd'hui être raisonnablement appréhendée que par le recours à des modèles numériques complexes, modèles synthétisant l'état de la science, avec ses connaissances établies mais également ses incertitudes voire ses ignorances.

Par ailleurs, nous savons aujourd'hui que les activités anthropiques, au travers des rejets qu'elles produisent, des modifications de paysage qu'elles engendrent, de l'exploitation intensive de ressources non renouvelables qu'elles génèrent, sont responsables de changements profonds de notre environnement. Appréhender le fonctionnement du système Terre, en y incluant la dimension socio-économique, est donc devenu une priorité qui dépasse le seul cadre scientifique : en effet, mieux répondre aux enjeux sociétaux nécessite de disposer d'outils suffisamment fiables pour prédire avec une précision acceptable les possibles évolutions du système à différentes échelles d'espace et de temps. Sur un plan pratique, cet objectif nécessite d'associer toutes les sources d'information existantes, tant théorique qu'observationnelle, sans doute au travers de méthodes innovantes.

Mais, sans analyse et prise de conscience des contraintes scientifiques et techniques associées à ce défi, celui-ci en restera sans doute au stade des intentions. Les moyens à mettre en œuvre pour atteindre cet objectif dans un délai raisonnable, tant en termes d'observations qu'en termes de modélisation, sont importants et supposent une réelle prise de conscience par les différents décideurs politiques de la dimension de l'enjeu. Faute de cela, la science progressera à un rythme inadapté à la vitesse d'évolution du système et les choix malheureux en matière de gestion de l'environnement risquent de se multiplier faute de pouvoir reposer sur des bases scientifiques suffisamment bien établies.

Il va sans dire que ce virage nécessitera sans doute qu'au moins une génération entière de chercheurs se consacre à cette tâche avant d'en voir son complet aboutissement. Néanmoins, au fur et à mesure de son avancée, des expertises plus sûres apparaîtront sur différents points, permettant d'accroître la fiabilité des éléments scientifiques fournis aux décideurs politiques.

Dans un tel contexte, il est clair que l'observation de la Terre depuis l'espace va jouer un rôle essentiel. Déjà, au cours des trente dernières années, les divers capteurs embarqués sur satellites ont transformé notre vision de la Terre par leur capacité à documenter certains paramètres clés du système terrestre à l'échelle globale, et souvent avec des fréquences de mise à jour importantes. Cela a d'abord été le cas dans le domaine de la météorologie avec les apports déterminants des satellites à vocation opérationnelle. Puis se sont mis en place, en particulier grâce aux apports des scientifiques français et du CNES, des observations très fines du niveau de la mer, des champs magnétiques et gravitaires, des propriétés des aérosols et des nuages, de la cartographie de la végétation et de bien d'autres grandeurs contribuant à fournir une vision de plus en plus globale de notre

environnement. Au cours de ces années, le rôle au sein du dispositif de recherche des données d'observation de la Terre depuis l'espace a profondément évolué, passant du statut de données « complémentaires » à celui de contributeur indispensable aux différents systèmes d'observation de l'environnement terrestre.

### 3. Les enjeux de l'observation de la Terre depuis l'espace

Le séminaire de prospective scientifique du CNES qui s'est tenu à Biarritz se devait d'intégrer ces évolutions majeures. C'est le travail auquel se sont livrés, en amont et au cours de ce colloque, les quatre groupes thématiques (Terre solide, Océan, Surfaces Continentales, Atmosphère) et les quatre groupes transverses mis en place par le TOSCA pour élaborer cette réflexion prospective.

De façon générique, les rapports élaborés par ces groupes mettent en évidence plusieurs enjeux :

#### 3.1. Des enjeux de connaissance :

Aucun progrès notable ne sera fait dans notre compréhension du système Terre et dans notre capacité à limiter les impacts des activités anthropiques sans que l'on accroisse le niveau de connaissances que nous avons de son fonctionnement. Cela suppose évidemment de mieux décrire les processus mal compris ou mal quantifiés, de mieux cerner les paramètres clés en augmentant les résolutions spatiales et temporelles auxquelles ils sont observés, d'accéder à de nouveaux observables à fort niveau de contrainte. De nouvelles techniques doivent donc être développées et pour cela, les activités de recherche et développement doivent être renforcées. Sur elles reposent une grande part du potentiel d'innovation scientifique et technique, c'est-à-dire notre capacité à réaliser les grandes missions spatiales de demain.

Ensuite, les groupes soulignent que, si l'évolution des tendances des variables clés à l'échelle globale reste indispensable pour établir le diagnostic de l'état de la planète, les échelles « régionales » et les interfaces entre milieux apparaissent comme des échelles à la fois mal documentées et dont le fonctionnement est mal compris. Ceci est d'autant plus limitant que ces échelles sont souvent les plus pertinentes pour mener une évaluation précise des impacts des perturbations induites par les activités anthropiques. De même, ils soulignent également que la priorité des recherches doit être mise sur des processus et des dynamiques à échelles de temps plus courtes, en cohérence avec la réduction des échelles spatiales d'intérêt.

Ce souhait de focaliser les observations sur des approches régionales à haute fréquence de revisite traduit aussi la volonté de mieux documenter les échelles intermédiaires, celles permettant de faire plus facilement le lien entre les processus fondamentaux et leurs implications géophysiques. Dit autrement, on doit y lire également le souhait de disposer d'observations à même de faciliter les transferts d'échelles, problème récurrent et souvent mal résolu dans les sciences de la planète Terre. Enfin, c'est aussi le souci d'apporter des éléments de réponse mieux contraints pour une gestion optimale de l'environnement et des risques que traduit cette volonté de recentrer les observations à des échelles auxquelles l'évaluation des impacts de l'activité anthropique est le plus directement en lien avec les politiques publiques.

#### 3.2. Des enjeux de détection et de quantification des changements planétaires :

Le système Terre, soumis aux activités anthropiques, subit actuellement des évolutions significatives qui se superposent à une variabilité naturelle importante. La vitesse à laquelle ces évolutions se produisent n'est pas constante et c'est de cette vitesse que va dépendre en grande partie la capacité de nos sociétés à s'adapter à ces changements des conditions environnementales. Il est donc de première priorité de surveiller en continu et très régulièrement la « température du malade », c'est-à-dire de quantifier régulièrement les évolutions du système Terre. Compte tenu du rapport entre l'intensité des changements induits par l'activité anthropique et l'amplitude de la variabilité naturelle du système, dégager ces tendances d'évolution nécessite d'effectuer des observations sur des périodes pluri-décennales. Ces observations, inscrites dans la durée, ne peuvent raisonnablement être conduites que pour quelques paramètres clés, fortement indicateurs de l'état de la planète (niveau de la mer, couleur de la mer, extension de la glace de mer, salinité, contenu atmosphérique en gaz à effet de serre, champ de gravité, état de la végétation ...). Il faut également souligner que cette continuité des mesures, pour être pertinente, implique d'y associer des capacités importantes d'archivage, d'inter-étalonnage, de qualité-assurance et de ré-analyses des données. Malheureusement, aujourd'hui, la pérennité de ces mesures, pourtant une priorité absolue, n'est pas acquise bien que des démarches internationales (GEOSS, GMES ...) pouvant contribuer à en faciliter la réalisation aient été initiées.

#### 3.3. Des enjeux de gestion de l'environnement :

Comme mentionné précédemment, les observations depuis l'espace sont devenues essentielles à notre compréhension du fonctionnement du système terrestre. Cependant, elles ne sont pas pour autant les seules sources d'information disponible : sur Terre, l'observation *in situ* (au niveau du sol, dans l'atmosphère grâce en

particulier aux ballons instrumentés, sur et en fond de mer ...) est possible. Elle est très souvent organisée en réseaux, le plus fréquemment internationaux. Certaines de ces données sont ensuite, en combinaison avec les données spatiales, analysées ou assimilées dans des modèles pour produire une information spatialement et temporellement homogène.

Cependant ces démarches demeurent encore trop peu fréquentes et limitées à quelques domaines dans lesquels la dimension opérationnelle des services associés a favorisé cette intégration des sources de données (la météorologie en est un bon exemple). Des systèmes de même nature sont aujourd'hui en train de se mettre en place pour l'environnement et les risques dans un cadre international assez fortement défini. La communauté française a de nombreux atouts en ce domaine : elle a été précurseur au niveau européen dans la mise en place de services d'observations comme ceux de l'INSU, de réseaux de surveillance de la qualité de l'air et de l'eau, de réseaux de surveillance des risques volcaniques et sismiques ; elle a joué un rôle majeur dans le développement de l'observation spatiale avec des outils innovants de grande qualité comme l'altimétrie, la gravimétrie ou la filière Spot. Enfin, la communauté nationale a été très en avance dans le développement de systèmes opérationnels couplant les divers systèmes d'observations avec des modèles numériques, par exemple en océanographie (Mercator) ou en sciences de l'atmosphère (Prev'air).

Pour capitaliser sur ces réussites indiscutables, il est essentiel que soit organisée la contribution française aux systèmes mondiaux d'observation de la Terre et de gestion de l'environnement qui sont en train de se mettre en place. Etre capable d'anticiper et résoudre les problèmes environnementaux constituera un enjeu sociétal et économique majeur du 21<sup>ème</sup> siècle et les informations fournies par ces systèmes d'observation intégrés seront un soutien majeur d'aide à la décision.

L'observation spatiale doit jouer pleinement son rôle dans ce cadre. Cela supposera de mener une réflexion approfondie sur l'ensemble des missions spatiales concernées et sur la façon, sans doute différente, d'envisager les partenariats dans un système d'observation spatial partagé. La dimension opérationnelle de ces systèmes doit également conduire à réfléchir à la pérennisation des services et donc aux sources de données qui y concourent, aux besoins de temps réel et à la fiabilité des centres de données. Enfin, jouer pleinement son rôle dans le développement de ces observatoires suppose de participer à la définition des systèmes à même de combiner les diverses sources d'information. Il nous semble qu'il y a là, à la fois une responsabilité sociétale (celle qui consiste à élaborer les informations les plus pertinentes pour aider les décideurs publics à gérer de façon optimisée, si ce n'est optimale, l'environnement et les ressources non renouvelables) et un enjeu stratégique pour le CNES quant à son positionnement en tant qu'agence spatiale majeure dans le domaine des sciences de l'environnement.

#### 4. Le contexte international

Comme nous venons de le voir, le contexte international en observation de la Terre a fortement évolué ces dernières années, en particulier en voyant se développer des initiatives internationales visant à renforcer la coopération internationale dans le domaine de l'observation de l'environnement et des risques. Face à l'urgence des problèmes, à la dimension globale des travaux à conduire, à la nécessité de croiser les différentes sources de données, cette coopération était devenue non seulement une évidence mais également une nécessité. La question qui se pose aujourd'hui est évidemment de mettre en place une stratégie qui permette à la communauté nationale d'apporter une contribution majeure à l'élaboration de ce système mondial d'observatoires spatiaux. Cette coopération passe d'abord par le renforcement de nos liens avec nos partenaires européens, en particulier dans le cadre de l'ESA. Il faut rappeler le rôle moteur joué ces dernières années par la communauté française dans nombre de missions innovantes développées dans le cadre des projets de l'agence : MERIS, GOCE, AEOLUS, SMOS, SWARM, CRYOSAT 2 ... Cette force de proposition repose avant tout sur les compétences et la capacité d'innovation de la communauté. Elle doit être entretenue et renforcée. Le contexte GMES et GEOSS offre également des opportunités fortes de voir certaines missions pouvant avoir une vocation opérationnelle se réaliser dans ce cadre. Le programme SENTINEL en est l'illustration et permettra sans doute d'assurer la pérennité de certaines observations clés (comme l'altimétrie) à l'image de l'organisation mise en place par EUMESAT pour la météorologie ou par Galileo pour le positionnement par satellite. À l'évidence, le contexte européen est une chance pour nos équipes malgré les contraintes calendaires, budgétaires et programmatiques qu'il impose.

Au-delà de l'Europe, les liens établis avec la NASA se sont avérés extrêmement bénéfiques dans de nombreux domaines (CALIPSO et PARASOL dans le cadre de l'A-Train, TOPEX-POSEIDON puis JASON pour la topographie des océans par exemple). Ces liens doivent être maintenus et le récent Decadal Survey de la NASA offre de nouvelles opportunités de coopération au travers de missions comme SWOT, GEOCAPE ou GRACE Follow-on. Enfin, l'échec récent du lancement du satellite OCO, dédié à la mesure précise des champs de concentration

de CO<sub>2</sub> en vue d'en déterminer les sources et puits, pourrait conduire à une coopération forte sur cet objectif essentiel tant sur le plan scientifique que sociétal.

Des partenariats bi-latéraux avec l'Inde, Israël ou la Chine ont également permis de réaliser des missions à forte capacité innovante comme MEGHA-TROPIQUES, VENUS, CFOSAT. Ce type de partenariat, qui présente des avantages multiples, doit être maintenu dans le futur. Néanmoins, ces partenariats reposent fréquemment sur des opportunités, ce qui suppose que le budget correspondant soit disponible.

Enfin, rappelons que de nombreuses équipes françaises sont impliquées dans des missions initiées par d'autres agences, grâce notamment aux compétences instrumentales qu'elles détiennent et donc à la fourniture d'instruments souvent uniques. Un bon exemple de cela est la forte implication des équipes françaises dans l'exploitation des données des missions gravimétriques germano-américaines CHAMP et GRACE. Ce type de coopération est, en termes scientifiques, d'un excellent rapport qualité/prix et doit être poursuivi.

En conclusion, le contexte international de l'observation de la Terre depuis l'espace est en pleine évolution. Le passé récent nous montre que grâce aux forces de proposition de la communauté et au soutien apporté par le CNES, la France a fortement influencé le paysage international en observation de la Terre et contribué au développement de systèmes d'observations innovants. Dans les années à venir le challenge majeur pour notre communauté est de maintenir ce positionnement en tant qu'un des acteurs majeurs de l'évolution de ce paysage. C'est un défi qu'on ne peut se permettre de manquer.

## 5. Les priorités du TOSCA dans le cadre de la prospective scientifique du CNES

Les priorités émises par le TOSCA traduisent bien évidemment les éléments de contexte scientifique et programmatique développées ci-dessus.

En termes de priorités scientifiques, celles-ci s'organisent principalement autour de quatre points :

**5.1. Assurer la pérennité de la mesure des « paramètres de base »** en améliorant autant que faire se peut la résolution spatio-temporelle et la précision des mesures. Ceci concerne la bathymétrie, la topographie, le niveau de la mer, la couleur de l'océan, l'extension de la glace de mer, la température de surface, l'humidité des sols, la couverture nuageuse, l'occupation des terres, la distribution de la végétation, le champ de gravité, le champ magnétique, la cartographie des déformations du sol ... Outre le fait que toute amélioration dans la connaissance de ces paramètres se traduit par un bénéfice immédiat sur la compréhension des processus, sur les transferts d'échelle, sur l'amélioration et la validation des modèles, la science de demain sera tournée vers des questionnements d'échelles plus fines nécessitant de forcer la résolution spatiale et temporelle pour les observables déjà disponibles.

Certaines missions en cours ou décidées (SMOS, SWARM, GOCE, SARAL/ALTIKA, CRYOSAT 2, MEGHA-TROPIQUES ...), conduites au niveau européen, en partenariat bilatéral ou purement national, permettent d'assurer la mesure de certains de ces paramètres pour les prochaines années. Néanmoins, pour certains d'entre eux comme la température de surface continentale, aucune mission n'est à ce jour envisagée.

**5.2. Réduire les incertitudes qui demeurent sur le fonctionnement des cycles biogéochimiques.**

Parmi ceux-ci, ceux de l'eau et du carbone, parce qu'ils sont des déterminants majeurs de l'habitabilité de la Terre, ont une importance toute particulière.

L'eau est aujourd'hui une ressource indispensable à la vie mais, compte tenu de la pression anthropique, elle est devenue une ressource limitée, y compris dans des pays où la pluviosité est importante. Par ailleurs, l'eau, et plus particulièrement au travers de ces changements de phase, est un acteur important du climat terrestre. L'évolution que pourraient subir la couverture nuageuse et les propriétés microphysiques des nuages sont aujourd'hui une des inconnues majeures du système climatique. Enfin, son devenir sur les surfaces continentales, en particulier lors d'événements extrêmes, peut conduire à des phases d'inondations ou de sécheresse intenses. Sur tous ces points, notre connaissance des processus mis en jeu est très imparfaite et limite nos capacités de prédiction de l'évolution du cycle de l'eau.

Le carbone est non seulement le matériau de base de toute vie sur Terre mais également un des acteurs majeurs du système climatique. Son cycle a été fortement altéré par les activités humaines qui reposent, pour leur production d'énergie, en grande partie sur l'exploitation de ressources fossiles. Si les concentrations des différents gaz à effet de serre et leur évolution au cours du dernier siècle sont bien connues, la connaissance que nous avons des stocks de carbone que représentent les biomasses terrestres et océaniques est entachée d'une forte incertitude. De même, les sources et puits de ces gaz à effet de serre, et du CO<sub>2</sub> en particulier, sont très difficiles à localiser et à quantifier. Bien évidemment, ces incertitudes qui pèsent sur l'évaluation des stocks, des sources et des puits est très pénalisante pour prédire l'évolution future des concentrations de ces gaz à

effet de serre et donc du climat. Il y a aussi derrière cette évaluation des sources et puits de CO<sub>2</sub> des enjeux économiques et politiques importants, en particulier dans le contexte des taxes carbone et il est stratégique pour l'Europe de se doter d'une capacité à conduire ses propres évaluations si elle souhaite disposer d'éléments solides et indépendants dans les négociations qui ne manqueront pas de venir.

### 5.3. Améliorer notre capacité de description du fonctionnement du système climatique

Si notre connaissance du fonctionnement du système climatique a notablement progressé au cours des deux dernières décennies, de nombreuses incertitudes demeurent au-delà de celles résultant de notre méconnaissance de certains aspects des cycles de l'eau et du carbone. Le nombre d'acteurs impliqués, la complexité des interconnexions, des rétroactions et des couplages entre milieux, entre espèces et entre échelles expliquent en grande partie ces difficultés. Une bonne illustration de la complexité de ces problèmes est celui des interactions entre aérosols, nuages et rayonnement. Si les apports de l'A-Train, première constellation permettant de documenter de façon simultanée ces trois paramètres à l'échelle globale, sont très positifs, la durée de cette mission est trop courte pour assurer une compréhension complète des processus mis en jeu. Assurer une suite à cette mission est une priorité et la communauté française se devra d'y jouer un rôle au moins équivalent à celui qu'elle a eu dans l'A-Train.

### 5.4. Les zones d'interface vues comme des milieux « propres »

Pendant longtemps, et de façon naturelle, les études en sciences de la planète Terre ont été abordées par milieu (océan, atmosphère, surface, terre profonde ...). Lorsque l'on a souhaité coupler ces différents milieux, on s'est aperçu que les interfaces entre ces différents milieux étaient également des milieux « propres », c'est-à-dire des milieux avec leurs propres processus et leurs propres caractéristiques. Dans l'optique d'un développement de modèles intégrés du système Terre, la méconnaissance du fonctionnement de ces interfaces est réhivatoire. Dans ce domaine, on mentionnera comme prioritaires a) les zones côtières avec des questionnements sur les flux échangés, l'évolution du trait de côte, la pollution spécifique du milieu littoral et les perturbations du fonctionnement des écosystèmes ; b) les échanges surface/atmosphère (bilan énergétique, bilan hydrique) et c) les connexions lithosphère/manteau/noyau.

De façon concrète, pour répondre au mieux à ces questionnements, le TOSCA a identifié comme prioritaire la mise en place de phases O/A sur les items suivants :

#### Stock et dynamique de la biomasse des surfaces émergées

La cible est une détermination précise de la biomasse forestière qui constitue un terme majeur des stocks de carbone continentaux. Le TOSCA recommande très fortement d'accompagner la phase A du projet BIOMASS (radar à synthèse d'ouverture en bande P), mission présélectionnée dans le cadre du programme Earth Explorer de l'ESA et dont le PI est français.

#### Quantification précise des bilans hydriques et énergétiques des surfaces

L'objectif est de progresser dans la mesure et l'exploitation de la température de surface à haute résolution dans l'infra rouge thermique, variable qui présente un intérêt majeur pour la connaissance du fonctionnement des surfaces. La proposition Mistrigri répond à cet objectif.

#### Suivi de la dynamique des eaux continentales, circulation océanique sub méso-échelle, bathymétrie

Le projet SWOT, très innovant et d'intérêt partagé par diverses communautés, propose d'atteindre ces objectifs grâce à un altimètre à large fauchée (120 km). Il s'agit d'un projet qui s'inscrit dans le cadre d'une coopération NASA-CNES.

#### Dynamique fine des zones côtières (phytoplancton, sédiment, impacts anthropiques)

Un tel objectif, essentiel pour comprendre le fonctionnement complexe de ce milieu d'interface, nécessite une mission couleur de l'eau à haute résolution spatiale et temporelle, sans doute au travers d'un instrument embarqué à bord d'un satellite géostationnaire (projet OCAP).

#### Profils verticaux des espèces chimiques

L'objectif est de documenter avec précision les profils d'espèces trace atmosphérique avec une amélioration notable de la résolution dans les basses couches. Les implications sont importantes pour le climat et la pollution atmosphérique. Ces objectifs reposent sur une amélioration du sondeur infra-rouge IASI (IASI-NG) dans un cadre post EPS.

#### Variabilité des grandes masses d'eau

Il s'agit là d'un enjeu majeur qui nécessite d'assurer la continuité de la mesure des variations temporelles du champ de gravité (mission Micromega).



### Aérosols/nuages/rayonnement

La France dispose d'une expertise largement reconnue dans la mesure des caractéristiques des propriétés des nuages et des aérosols dans le domaine visible suite en particulier aux missions POLDER et PARASOL. Il s'agit à la fois de capitaliser sur ce savoir-faire et d'effectuer un saut technologique et scientifique en associant des mesures multispectrales, multidirectionnelles et de polarisation (proposition 3MI). À plus long terme, il est demandé d'étudier une mission permettant de couvrir tout le spectre des particules en associant Lidar, Radar, radiométrie submillimétrique ... dans un concept type A-Train.

### Dynamique des systèmes précipitants

Il s'agit de mieux comprendre la dynamique des précipitations par un suivi rapide des systèmes nuageux en associant mesures radiométriques et radar Doppler (GPM).

### Améliorer la qualité des prévisions météorologiques

L'objectif est une meilleure surveillance des conditions atmosphériques concourant à la formation des nuages par l'observation de la température et de l'humidité dans l'atmosphère par mesures de radio occultation GNSS (proposition MORGANE). Il s'agit d'une mission d'opportunité à faible coût et à retour potentiellement important.

### Sources et puits de CO<sub>2</sub>

Le TOSCA a reconnu le caractère absolument prioritaire de ces mesures mais n'a pu se positionner quant à la technique à promouvoir : en effet, le lancement du satellite américain OCO (qui devait assurer ces mesures grâce à des spectromètres opérant dans le proche infra rouge) a échoué quelques jours avant le colloque de prospective. Ceci a considérablement modifié les perspectives à court et moyen termes. En conséquence les missions proposées sur ce thème (mesures dans l'IRT ou par lidar) seront rediscutées très prochainement au vu de ce nouveau contexte international.

Bien évidemment, toutes ces missions ne seront pas réalisées. Le TOSCA considère néanmoins qu'elles sont toutes pertinentes et toutes potentiellement à même de fournir des résultats scientifiques de première importance. Il est donc souhaité qu'au cours des quatre prochaines années soient initiées des phases O ou des phases A (pour celles déjà en phase O) pour évaluer plus complètement la faisabilité de ces missions.

## 6. L'accompagnement des missions spatiales

La communauté a exprimé de façon unanime son désappointement sur les moyens mis en œuvre pour assurer une exploitation optimale des données obtenues suite aux missions spatiales. Ce message s'adresse en premier lieu au CNES mais également à l'ensemble des organismes impliqués ou utilisateurs de données spatiales. Si l'on néglige les moyens d'accompagnement dans les budgets (système d'observations sol, terre, mer, fond de mer, aéroportés (avions, ballons), modèles numériques, assimilation ...), la valorisation des missions en termes scientifiques ne pourra jamais être optimale.

Une des critiques essentielles porte sur l'absence de concertation mais surtout d'engagement concret entre organismes en amont des missions. En particulier, il est rappelé que l'exploitation d'une mission spatiale se prépare bien avant le lancement de la mission et qu'elle nécessite de programmer suffisamment tôt les moyens humains, les travaux de développement et les campagnes de validation nécessaires à cette exploitation. Cet effort est nécessairement pluri-organismes et devrait se traduire par une « contractualisation » des moyens humains et financiers mis au service de la mission par les différents partenaires (voir rapport du groupe transverse « moyens d'accompagnement »).

A l'inverse, la mise en place ces dernières années de pôles thématiques s'est avérée très bénéfique pour la communauté. Ceux-ci ont fortement amélioré la validation, l'archivage, l'assimilation et la diffusion des données de nombreuses missions spatiales, voire de campagnes de terrain s'y rattachant. La mise à disposition de produits à valeur ajoutée (logiciels de traitement, outils d'interpolation, de géo-positionnement ...) a également favorisé l'accès aux données issues de l'observation spatiale. Il est aujourd'hui souhaité très fortement que des pôles thématiques soient mis en place pour chacune des thématiques des sciences de la planète Terre. Cela dit, ces pôles devront évoluer dans un avenir proche vers un fonctionnement du type « observatoire intégré » (exploitation de données *in situ*, spatiales, aéroportées, ballon) promu dans le contexte international par le Global Earth Observation System of Systems (GEOSS).

Enfin, améliorer l'exploitation des données spatiales nécessite que les chercheurs et futurs chercheurs soient formés à leur utilisation. Le TOSCA considère comme indispensable que le CNES conduise une réflexion visant à mettre en place des outils de formation, tant initiale que continue, afin de permettre aux utilisateurs potentiels

et aux futurs chercheurs de disposer des bases nécessaires pour manipuler ces données. Ceci compléterait de façon cohérente l'action des pôles thématiques, eux-mêmes contribuant à faciliter l'accès aux données spatiales.

## 7. Préparer les missions du futur

Le TOSCA a tenu à souligner le rôle essentiel de la R&T pour maintenir au meilleur niveau les capacités d'innovation de la communauté. Dans un contexte de plus en plus concurrentiel, en particulier dans le cadre européen, la capacité de la communauté française à porter des projets de missions originales nécessitent un programme de R&T ambitieux et comportant nécessairement une forte part de risques.

Concrètement, le TOSCA considère que :

- les méthodes actives, en particulier LIDAR, doivent faire l'objet d'études techniques particulières ; de nombreuses propositions reçues en réponse à l'appel à idées font appel à ces techniques et ce dans différents domaines (des gaz à effet de serre à la structure de la végétation en passant par les propriétés des nuages et des aérosols) ; ne pas mener une R&T active sur ces technologies serait prendre le risque de ne pas être présent dans les missions innovantes des prochaines décennies ;
- de même, les besoins scientifiques exprimés en matière de fort taux de revisite et d'échelle régionale se sont traduits par de nombreuses propositions visant à embarquer des instruments sur des satellites en orbite géostationnaire ; c'est le cas pour la pollution de l'air, pour les zones côtières, les risques, le suivi de la végétation ... des pays comme le Japon, les USA ou la Corée ont des projets de cette nature avec des enjeux dépassant largement le seul cadre scientifique, les données obtenues avec un fort taux de revisite étant également particulièrement bien adaptées aux besoins de nature opérationnelle ; le TOSCA recommande vivement de poursuivre l'instruction de ces dossiers ;
- enfin, le TOSCA a constaté une diminution progressive des instrumentalistes dans les laboratoires ; ceci est extrêmement inquiétant et impose que les questions liées à la formation et au recrutement de tels chercheurs soient abordées aussi rapidement que possible, et ce dans un cadre inter-organismes ; en parallèle, il est suggéré d'examiner la possibilité de lancer des appels à proposition dans le domaine de l'instrumentation innovante au sens large ; ceci permettrait d'assurer aux chercheurs instrumentalistes un espace spécifique pour proposer et développer les instruments de demain et après-demain.

## 8. Et le TOSCA

Nous avons souligné dans la première partie de cette synthèse les évolutions importantes qui marquaient les sciences de la planète Terre, en particulier le virage pris par la communauté vers une approche plus intégrée du système Terre. Evidemment, comme toute évolution majeure, elle a des répercussions en termes d'organisation des instances en charge d'en assurer, au moins partiellement, la mise en œuvre. Le TOSCA, comme son nom l'indique, couvre différents milieux (Terre solide, Océan, Surfaces Continentales, Atmosphère) et il est organisé en quatre groupes thématiques, chacun dédié à l'un de ces milieux. Cette organisation peut sembler aujourd'hui en décalage par rapport à l'évolution de la science. C'est vrai et faux à la fois : malgré leur caractère thématique, les prospectives de chacun de ces groupes ont permis de faire émerger des questionnements transverses (cycle de l'eau et du carbone, risques ...) et les questions d'interface comme le domaine côtier ou les échanges surface-atmosphère sont au cœur de ces prospectives. Cela dit, il sera nécessaire de mettre en place, au cours des prochaines années, un mode de fonctionnement permettant de mieux prendre en compte les questionnements croisés entre milieux tout en maintenant une capacité à identifier les enjeux de chacun des milieux. Il appartiendra donc au nouveau TOSCA de réfléchir à son organisation pour s'adapter à l'évolution de la science ...