Chapitre 6

Recommandations

Présentation

Les recommandations que le Bureau des longitudes est amené à formuler à l'issue de ce travail de réflexion procèdent de la prise en compte de deux facteurs principaux :

- le fait que l'observation géophysique, étant le fondement sur lequel s'édifie la connaissance de la planète Terre, revêt une importance nouvelle et capitale en raison des menaces qui pèsent sur l'environnement planétaire,
- l'intervention de deux évolutions majeures du système technique : le progrès extrêmement rapide des technologies de l'information et de la communication et la disponibilité d'outils spatiaux.

Une politique d'observation de la Terre s'analyse globalement en termes de stratégie, d'objectifs et d'institutions ; elle s'analyse sectoriellement en fonction des spécificités qui s'attachent à chacune des disciplines concernées. Dans ce qui suit, nous formulerons d'abord les recommandations qui concernent l'ensemble du champ de l'observation puis celles qui concernent des aspects sectoriels.

Les recommandations que nous exprimons concernent les observations qui permettent de caractériser le système Terre « global », ce qui n'exclut pas que ces observations puissent être de nature locale et posséder un intérêt spécifique pour la gestion de problèmes locaux ou régionaux. Ainsi les crues éclair des Cévennes, pourtant très localisées, mais résultant d'une cyclogenèse méditerranéenne, entrent dans le champ des observations prises en compte, alors qu'a priori l'état phytosanitaire

d'une parcelle ne sera pas pris en compte en tant que tel, sauf s'il intervient dans la caractérisation d'une évolution à grande échelle.

Par ailleurs on établit une distinction entre « observations de recherche » - que l'on qualifie d'expérimentales - dont la finalité, est uniquement d'ordre scientifique et « observations opérationnelles », mises en œuvre sur une base scientifique certes, mais répondant également à une demande sociétale permanente. La transition de certaines activités d'observation de la première catégorie à la seconde est un aspect qui appelle une attention particulière.

Rappelons enfin que l'observation est très généralement la partie la plus coûteuse des activités de recherche et de fourniture de services, mais souvent les observations sont « invisibles dans le produit final et tout le monde considère qu'elles existent de facto. Cette particularité appelle un souci d'efficacité. *Une évaluation périodique de cette recherche et de la surveillance de la Terre en termes de personnel scientifique et technique, des moyens matériels et des actions associées s'impose.*

Dans tout ce qui suit, les recommandations sont en caractère italique; les autres parties sont des commentaires explicitant le contexte.

6.1 - Recommandations générales

6.1.1 - Pérennité, continuité, exactitude de l'observation

Contexte

Dans nombre de cas, la valeur de la donnée d'observation tient à ce qu'elle s'insère dans une série de mesures longue - *pérennité* - et ininterrompue -*continuité.*

Le choix des observations dont la pérennité et la continuité doivent être assurées doit faire l'objet d'une réflexion organisée.

Cette réflexion doit se structurer au niveau national mais, comme elle conduit à fournir une contribution à un effort européen et mondial, il est indispensable *qu'elle s'articule avec les institutions européennes et internationales chargées de responsabilités dans ce domaine.*

Pérennité et continuité ne sont pas synonymes d'immobilisme. L'évolution des techniques d'observation et l'évolution des connaissances obligent à une révision permanente des outils utilisés pour l'observation. La continuité d'une observation doit faire l'objet à intervalles réguliers d'une analyse critique. *L'abandon volontaire de certains types d'observation, la*

suppression des redondances éventuelles font partie de la démarche au même titre que l'ouverture de champs nouveaux.

La précision des mesures doit aussi être améliorée chaque fois que cela est possible et nécessaire, mais aussi sauvegardée. En effet, la précision et l'exactitude d'un type de mesures que l'on répète dans le temps avec le même appareil ou un appareil de même type ne sont jamais acquises une fois pour toutes : pour des buts sociétaux ou scientifiques identifiés elle nécessite au contraire et en permanence un effort d'analyse et de contrôle des erreurs et des biais.

Recommandation

Une exactitude peut à tout moment se dégrader rendant l'observation inutile et réduisant à néant la validité et la pertinence des longues séries temporelles concernées. Des étalonnages et des intercomparaisons permanentes de produits et de données d'origines différentes sont indispensables pour obtenir une garantie d'exactitude et d'intégrité, gage d'une utilisation ultérieure.

6.1.2 - Archivage, accessibilité et gestion des données

Contexte

La préservation des données acquises est le complément indispensable de la pérennité de l'observation. Il faut les archiver et cet archivage doit assurer, non seulement la préservation des données proprement dites et leur accès facile, mais aussi celle des informations contextuelles qui permettent leur utilisation aisée. L'ensemble constitue ce qu'on appelle communément ainsi des « métadonnées », des données qui doivent être décrites de manière exhaustive. Cet archivage doit aussi compte tenu de la rapidité d'évolution des techniques informationnelles, assurer que la lecture des supports demeure possible, soit par la conservation d'instruments de lecture, soit plus généralement, par la transcription des données et des métadonnées sur de nouveaux supports. L'archivage est donc, tout comme l'acquisition, une activité en évolution rapide.

Recommandations

L'archivage des données appelle une concertation de même nature que celle qu'exigent les activités d'observation proprement dites, et singulièrement en ce qui concerne la concertation entre les niveaux nationaux et les étages européen et international.

L'accessibilité au plus grand nombre ainsi qu'aux spécialistes scientifiques nécessite par ailleurs la constitution de produits normalisés, qualifiés, obtenus généralement par fusion de données d'observation, associés à des services de mise à

disposition. Il faut souligner l'importance des métadonnées nécessaires qui doivent être créées, ce qui requiert des ressources à cet effet.

Dans ce contexte, l'Observatoire virtuel astro-géodésie et les efforts actuels menés par des chercheurs de l'OCA, du SYRTE et de l'IMCCE au niveau national et international sont à poursuivre afin de permettre une réalisation aussi efficace que possible en concertation avec le Centre de données astronomiques de Strasbourg. L'Observatoire virtuel constitue l'un des outils bien adaptés à une telle fonction. Ce n'est pas le seul, mais il présente l'avantage d'avoir déjà fait ses preuves au sein de la communauté astronomique.

6.1.3 – Opérabilité entre les systèmes : l'interopérabilité

Contexte

Les moyens modernes de collecte et de diffusion des données ouvrent la possibilité d'une interopérabilité des systèmes d'observations ainsi que celle d'un accès quasi instantané à l'information. Cette possibilité, largement utilisée dans le domaine de la météorologie, constitue l'un des facteurs qui ont permis d'améliorer considérablement la qualité de la prévision du temps. Il convient de généraliser cette approche aux autres domaines d'observation de la Terre pour des objectifs scientifiques ou sociétaux. Le but à atteindre est de permettre une prise en compte globale et cohérente de l'ensemble utile des données d'observation du système « Terre » (Terre solide, glaces, océans, atmosphère) pour assurer une compréhension pertinente de tel ou tel aspect du système « Terre ».(voir aussi la recommandation 6.1.6 sur la gouvernance). Ces aspects ont aussi amenés à développer une nouvelle thématique qu'on appelle « i-science » et qui est présenté dans l'annexe 7-2 avec le concept d'observatoire virtuel. L'initiative intergouvernementale « *Groupe on Earth Observations* » (GEO), à laquelle adhèrent plus de 70 pays à travers le monde, a pour objectif d'établir un système de systèmes d'observation de la Terre (le GEOSS) en s'appuyant sur une meilleure coordination internationale mais aussi ces technologies d'interopérabilité entre systèmes.

Recommandation

Il convient d'une part d'entreprendre un nouvel effort très spécifique pour rendre les systèmes interopérables entre eux et d'autre part de faire appel aux moyens de communication adéquats pour créer les observatoires virtuels (réseaux, Internet) susceptibles de répondre aux besoins d'observation de la Terre à l'échelle de la planète.

L'augmentation de la complexité qui en résultera, nécessitera une ingénierie soignée. Le GEO propose un cadre international adapté à ce travail.

6.1.4 - Transition de l'expérimental à l'opérationnel

Contexte

De nombreux programmes de recherche producteurs de données d'observation sont entrepris aux niveaux, national, européen ou international. Ces programmes sont une source centrale d'amélioration des connaissances scientifiques, ce qui est leur objectif primaire. Ils sont fréquemment à l'origine de nouvelles formes d'observation dont l'évolution vers le mode opérationnel est une source importante de progrès.

Le processus de pérennisation de certaines activités expérimentales d'observation doit être pris en compte dans le cadre des recommandations exprimées plus haut au paragraphe 6.1.1. L'observation spatiale pose à cet égard un problème important rendu difficile par la séparation budgétaire entre les activités de développement couvertes par les budgets des agences spatiales, et les activités opérationnelles qui puisent à d'autres sources. Sauf en ce qui concerne la météorologie, le statut des moyens spatiaux opérationnels demeure préoccupant ; il l'est, par exemple dans un secteur d'une importance capitale comme l'océanographie. Aucune procédure générale de passage des projets expérimentaux aux moyens opérationnels n'est encore clairement identifiée sur le long terme. De ce fait, les investissements importants dans le développement de l'observation spatiale risquent de ne pas atteindre leur pleine utilité. Le même problème se pose pour certains systèmes d'observation in situ, principalement dans les océans, nécessaires pour caler les modèles d'analyse et de prévision.

Recommandation

Il est urgent de trouver, au niveau politique, les moyens d'assurer sur le long terme, dans les secteurs autres que la météorologie, l'organisation et le financement des systèmes d'observation opérationnels spatiaux et in situ nécessaires.

Ces systèmes d'observations doivent aussi être complétés par des personnels dédiés à l'exploitation des données car ils sont un des maillons essentiels à la pleine valorisation des retombées d'une mission spatiale et de ses composantes in situ.

6.1.5 - Exploitation des systèmes opérationnels pour la recherche

Contexte

Les systèmes opérationnels existants dans le domaine des télécommunications spatiales et de la localisation par satellites (GPS et Galileo, Doris, ...) sont susceptibles de fournir des « signaux opportunistes » permettant de caractériser, sur le long terme et potentiellement à moindre coût, l'atmosphère, l'état de surface de l'océan et l'ionosphère. Il faut maintenir un lien fort entre l'exploitation des systèmes opérationnels et la recherche tant pour garantir la qualité des produits que pour découvrir de nouveaux produits.

Recommandations

Il est important de procéder à une évaluation objective et régulière de l'apport éventuel de moyens opérationnels existants (télécommunications, localisation au sol ou dans l'espace ...) en termes d'observation de la Terre et d'organiser leur exploitation à cette fin. Une action « recherche » sur l'observation et la surveillance de la Terre doit être intégrée fortement à l'exploitation des systèmes opérationnels susceptibles d'y contribuer.

Il faut mentionner également l'imagerie spatiale dans ces systèmes opérationnels comme SPOT ou Pléiades qui ont de nombreuses applications scientifiques.

6.1.6 - Gouvernance

Contexte

L'État et les services publics doivent développer le recueil des informations, la qualification et la préservation de celles-ci, la modélisation des principaux phénomènes et la mise en place des produits et services « de base » nécessaires pour accéder aisément aux informations et aux sorties des modèles.

Plus généralement dans tous les différents domaines des sciences de la Terre, une coordination nationale au niveau des décideurs est nécessaire (la coordination actuelle, située au Ministère de la recherche, n'est aucunement critiquée ni critiquable ; on préconise ici une organisation mettant en première ligne les décideurs quels que soient leurs ministères d'appartenance ou de tutelle). Il faut assurer la continuité et la qualité de l'observation de la Terre au sein des différents organismes de recherche (INSU, CNRS, Universités, Observatoires, Instituts) et aussi dans le secteur privé exploitant des données l'observation de la Terre.

Recommandation

La coopération internationale dans ces domaines telle celle développée dans le cadre de GMES et du GEOSS (Global Earth Observation System of systems) doit impérativement être développée à l'échelon mondial, pour dégager des synergies et des coopérations entre États, entre organisations et entre disciplines. Au XXIe siècle, les observatoires géophysiques ne peuvent plus se contenter d'être une juxtaposition d'outils définis par et pour chaque champ disciplinaire. Ils doivent être les éléments constitutifs d'un système global d'information sur la Terre et l'environnement, qui servent aussi bien la recherche que les décideurs publics et privés. Une gouvernance de ces structures complexes est nécessaire pour atteindre les objectifs proposés dans le présent ouvrage tout en maîtrisant les coûts. Il faudrait une coordination d'ensemble nationale de ces activités de nature interministérielle.

6.1.7 - Du personnel spécialisé et formé indispensable. Le rôle du CNAP

Toutes les taches évoquées ci-dessus ne peuvent être accomplies sans un personnel permanent consacré à ces travaux, *personnel scientifique, technique et administratif.* Cela a déjà été exprimé dans le sous-chapitre 2.1 soulignant notamment le rôle du Ministère de la recherche, du CNRS, des instituts nationaux, des Observatoires (OSU ou Observatoires des sciences de l'Univers).

Le rôle du Corps national des astronomes et physiciens (le CNAP) est dans cet objectif à soutenir spécifiquement car ce corps a été mis en place précisément pour des tâches de service et les tâches à accomplir sont immenses. La préservation et la continuation des longues séries temporelles d'observation de la Terre et de son environnement (dont certaines datent de plus d'un siècle) sont encore, plus aujourd'hui qu'hier, *un devoir* pour la société et la surveillance de la Terre. Au moment où il y a de nombreux départs en retraite, une extrême attention est requise pour ne pas ruiner des efforts passés tandis que l'importance de cette surveillance va croissant.

Le statut du personnel du CNAP associe pour une même personne des missions complémentaires que sont la recherche fondamentale, la participation à l'acquisition et à la conservation des données. Cela oblige ainsi à maîtriser l'ensemble de la chaîne du traitement de l'information depuis, très en amont, la maîtrise de l'instrument jusque très en aval, la modélisation et la valorisation des produits scientifiques, sans oublier en outre les aspects « enseignement et diffusion de la culture et de la connaissance ».

Recommandation

Les missions de service des observatoires et instituts des sciences de la Terre jouent un rôle fondamental et devraient être développées dans le contexte de la surveillance de la Terre, de la préservation cruciale de l'environnement et de sa compréhension pour de nombreux publics. Le rôle qu'a le CNAP dans ce domaine doit être préservé et amplifié.

6.2 - Recommandations sectorielles

Présentation : Observer, comprendre et prévoir la Terre sur le très long terme

Les recommandations sectorielles qui s'attachent à chaque domaine particulier sont présentées ci-dessous dans l'ordre où ces domaines sont apparus successivement dans le chapitre 5 de cet ouvrage. La très grande diversité des domaines abordés, avec leurs observatoires et leurs laboratoires relativement nombreux et complexes dans leur organisation, ne permet pas d'être exhaustif sur ces questions. Nous avons surtout voulu dégager des remarques à caractère assez général dans les domaines considérés. Nous avançons aussi des suggestions et des recommandations sur des points particuliers que nous avons pu rencontrer dans notre analyse. Notre but est d'attirer l'attention des experts et des décideurs sur un certain nombre d'aspects importants du point de vue des observatoires pour assurer des observations pérennes, de qualité et de valeur.

L'INSU/CNRS, le Ministère chargé de la recherche, les Observatoires et les Instituts des sciences de la Terre et de l'Univers (OSU) et d'autres organismes nationaux impliqués jouent un rôle majeur et essentiel en France pour assurer la continuité et la pérennité des mesures en matière d'observation et de surveillance de la Terre et de l'Univers. Ils le font de façon à assurer une approche cohérente et coordonnée sur le plan national et en synergie dans la mesure du possible, avec les actions européennes et internationales. Ils le font aussi en étant conscients de l'impératif d'utiliser désormais (et très souvent de manière intégrée) des moyens «sol » et des moyens «espace ». Les moyens spatiaux étant en France et en Europe du domaine de responsabilité du CNES et de l'ESA et aussi pour une autre part de l'Union européenne, il importe qu'une coordination d'ensemble soit maintenue entre tous ces organismes sur le très long terme. Cette coordination doit aussi faire intervenir les différents organismes responsables des applications sociétales fondées sur les observations de la Terre, observations dont ils assument souvent aussi une charge

très importante en vue des applications scientifiques. Ce sont Météo-France, le SHOM, l'IGN, l'IRD (Institut de recherche pour le développement),... par exemple. En conclusion et comme on l'a dit plus haut, l'ensemble de ces systèmes pour la surveillance de la Terre avec ses aspects d'environnement et de sécurité sur le très long terme constitue un système de systèmes extrêmement complexe *qui, comme on vient de le dire, est à coordonner au plus haut niveau de l'État. Il faut aussi impérativement*

i) déjà pérenniser ce qui existe sous réserve d'une validation et d'une justification préalable,

ii) le contrôler en permanence.

Il faut ensuite et aussi, assurer de nouvelles recherches et en dégager le fonctionnement budgétaire puis passer si possible et sur justification de la *phase «recherche» à la phase «opérationnelle ».*

Pour terminer ces commentaires généraux et introductifs sur le « observer la Terre » sous ses différents aspects sectoriels, il faut souligner l'importance et l'intérêt de la planétologie comparée ; l'on peut faire bénéficier, très positivement et avec réciprocité, les études de la Terre, des modèles d'évolution et des modélisations mis au point pour les autres planètes du système solaire. Nous n'insisterons pas d'avantage ici, cet ouvrage étant volontairement focalisé sur les observatoires terrestres, mais il ne faut jamais oublier que la Terre est une planète du système solaire parmi d'autres avec des intérêts scientifiques réciproques.

6.2.1 - Géodésie et géodynamique

Contribution française aux systèmes globaux d'observations géodésiques

Contexte

Les activités d'observation géodésique sont coordonnées dans le cadre international par l'Association internationale de géodésie ou des structures similaires. Le rôle essentiel des Services internationaux fondés notamment sur les techniques géodésiques, VLBI, télémétrie laser, GPS et GNSS, Doris, c'est-à-dire les services, IERS, IVS, ILRS, IGS, IDS, BGI..., (les sigles sont donnés soit dans le chapitre 5 soit en annexe) est un fait largement illustré par les succès croissants de ces systèmes pour la communauté géodésique et surtout pour les sciences de notre planète, pour ne pas parler des applications sociétales (navigation, géographie...).

Les contributions françaises y sont multiples, et déjà largement évoquées, tout particulièrement autour des thèmes de la rotation de la Terre et des systèmes de référence terrestres et célestes. Un effort de rationalisation est nécessaire, impliquant en particulier une politique d'ensemble favorisant les synergies et évitant des gaspillages éventuels, des mécanismes rationnels de financement, ces activités étant trop souvent soutenues par des crédits de recherche.

Recommandation

La contribution française aux systèmes globaux d'observation géodésique doit être poursuivie dans le cadre de l'Association internationale de géodésie ou de structures similaires. Elle ne se limite pas au seul aspect de l'observation, mais elle inclut un effort très important et de très longue date dans l'élaboration et la validation des produits gérés par les services internationaux : paramètres de la rotation de la Terre, paramètres des systèmes de référence terrestres et célestes, paramètres du champ de gravité à titre d'exemples. Cet effort qui fait honneur à la communauté française grâce au soutien de nombreux organismes (INSU, Observatoire de Paris, Observatoire Midi-Pyrénées, OCA, IGN) doit être soutenu de façon pérenne, et soumis à des examens périodiques sur sa qualité.

Il est proposé d'établir au niveau national une structure de gouvernance de l'ensemble de ces activités, regroupant les organismes acteurs, financeurs et politiques. Elle fournirait un forum d'information réciproque, favorisant les synergies et évitant les doublons, favoriserait la gestion des ressources et les financements dédiés, permettrait d'évaluer la qualité des activités de ces services internationaux et le retour scientifique ou sociétal des apports nationaux, voire de proposer des redéploiements éventuels ou d'identifier de nouveaux axes prometteurs. Dans la mise sur pied de cette structure de gouvernance, le Bureau des longitudes devrait jouer un rôle de conseil et d'animation en raison de sa fonction académique.

Observatoires géodésiques

Contexte

L'observatoire géodésique fondamental relève de la même exigence de pérennité que les observatoires astronomiques, ou géophysiques pour assurer les observations. L'effort entrepris à l'Observatoire de la Côte d'Azur à Grasse au plateau de Calern, avec son extension en Corse pour l'étalonnage des données altimétriques et l'effort entrepris à l'Observatoire de géodésie de Tahiti (OGT) sont des bons exemples.

Recommandations

Il est recommandé que le concept d'observatoire géodésique fondamental soit désormais reconnu par les instances compétentes telles que l'INSU, le CNES, ... au même titre que ceux des observatoires astronomiques, géomagnétiques, sismologiques ou volcanologiques. Cette reconnaissance appelle une coordination des actions et une continuité dans l'attribution des ressources nécessaires.

Sur le plan de la communauté de base, le GRGS (Groupe de recherches de géodésie spatiale) joue un rôle fédérateur depuis bientôt 40 ans qui rassemble de manière originale et efficace les acteurs, les financeurs, les politiques et qui doit être conservé.

L'effort entrepris à l'Observatoire de la Côte d'Azur à Grasse au plateau de Calern, avec son extension en Corse pour l'étalonnage des données altimétriques et l'effort entrepris à l'Observatoire de géodésie de Tahiti (OGT) doit être poursuivi de manière pérenne.

Le système européen Galileo et les GNSS

Contexte

Le système GPS, le système russe Glonass, demain le système européen Galileo, le système chinois Compass et d'une manière générale les GNSS, bouleversent la capacité pour l'homme de positionner avec une grande précision n'importe quel mobile terrestre à tout instant dans un référentiel géodésique et dans une échelle de temps uniques et exacts. Il ne s'agit pas d'une entreprise et d'une expérience occasionnelle mais d'une action conçue sur la très grande durée tant ce problème répond pour l'homme à des besoins scientifiques et sociétaux, pourrait-on dire, éternels. GPS, Galileo et les GNSS sont conçus pour être utilisables sur de nombreuses décennies à venir.

Si les systèmes GPS, Galileo, répondent respectivement à des besoins d'indépendance pour les pays concernés, ces systèmes sont aussi interopérables offrant une base de coopération essentielle pour tous. Un système unique serait par essence faillible et ne pourrait donc garantir la pérennité et la sécurité. L'utilisateur scientifique ou sociétal utilisera simultanément et sans s'en préoccuper GPS, Galileo et l'ensemble de ces GNSS.

Recommandation

La communauté scientifique dispose et va disposer avec GPS, Glonass, Galileo, Compass, les GNSS en général, d'outils géodésiques exceptionnels sur

le très long terme et dont les performances vont aller en s'améliorant. Il importe d'accompagner l'utilisation scientifique de ces outils et de s'investir pour en garantir au cours du temps les qualités métrologiques, en matière de temps et d'espace et pour en développer des nouvelles utilisations.

Une certaine rationalisation des différents systèmes d'observations: niveau international IGS, niveau européen EUREF, niveau national IGN (y compris DOM-TOM) et d'autres, niveau local ou régional comme des réseaux scientifiques dans les Alpes est à recommander. Il faut clairement une interopérabilité et une non-duplication des efforts. En particulier, les instruments doivent être remis à jour régulièrement, soit parce de nouveaux récepteurs/antennes sont disponibles, soit pour des problèmes d'instabilité du site ou d'interférences détectées après coup.

Une action coordonnée entre les laboratoires français concernés s'impose ; le Bureau des longitudes, de l'Académie de marine et l'Académie de l'air et de l'espace en concertation étroite avec les agences nationales impliquées pourraient y aider.

La nécessité de disposer de récepteurs GNSS, multisystèmes est à souligner. La communauté scientifique devra s'en équiper, mais ceci représentera un coût à programmer.

Le système français DORIS

Contexte

Le système français Doris de radiopositionnement et de navigation a fait ses preuves de longue date depuis le lancement des satellites SPOT puis de Topex/Poséidon. Il n'a cessé d'être amélioré tant au niveau du segment spatial (poids, volume, qualité et protection des oscillateurs, nombre de canaux pour recevoir plusieurs balises émettant du sol, jusqu à sept aujourd'hui, nombre de satellites de trajectoires variées) qu'au niveau du sol, implantation des antennes, répartition géographique des balises. Il faut y ajouter le succès du système de navigation Diode qui lui est associé à bord du satellite lui-même et qui est peut-être très utile en imagerie de la Terre et en altimétrie à proximité des côtes et du littoral. Désormais Doris va équiper de nombreux satellites de l'observatoire de la Terre au moins jusqu'à l'horizon 2020.

Recommandations

Des progrès importants ont été réalisés récemment sur le système Doris avec des perspectives d'utilisation jusqu'en 2020. Il faut les valoriser. Le réseau de

balises Doris pourrait être développé et densifié pour prendre avantage du nouveau récepteur de bord à sept canaux notamment avec de nouvelles co-locations dans les observatoires géodésiques jusqu'alors inenvisageables, auprès des stations VLBI, GPS, des stations de télémétrie laser, des marégraphes etc. Il faut aussi rappeler que la qualité géodésique des stations au sol dépend directement du nombre de mesures disponibles par station et donc du nombre de satellites dans l'espace équipés de récepteurs Doris. Ce nombre va être en augmentation avec le lancement de Cryosat-2, Saral/Altika (Inde), HY 2-1A (Chine), comme celui aussi de Citris (USA en 2006) Jason-2 en 2008, ...etc. Cet effort doit être poursuivi et suivi attentivement.

La communauté scientifique de géodésie spatiale se doit ainsi de développer les applications du système Doris en liaison avec les autres techniques géodésiques, seule façon de garantir l'exactitude des produits géodésiques sur le long terme (rotation de la Terre, systèmes de référence géodésiques, trajectographie, effets ionosphériques et troposphériques, ...etc.).

Il faut maintenir une activité de recherche scientifique et d'applications. Il faut participer à l'activité internationale dans le cadre du service IDS, International Doris Service.

L'interférométrie à très grande base : le VLBI

Contexte

La contribution française est forte dans le domaine de l'utilisation des données de l'interférométrie à longue base, le VLBI, à des fins scientifiques, astrométriques, astrophysiques, géodésiques. Cet effort a conduit à de très beaux résultats à l'Observatoire de Paris, de Bordeaux et de Toulouse. Sur le plan matériel, la France a participé au fonctionnement des corrélateurs nécessaires à l'exploitation du VLBI, mais jamais sur le plan d'installer et de faire fonctionner des antennes. Certes un projet a été envisagé pour installer une antenne à Tahiti, car il y a très peu d'observations faites dans l'hémisphère Sud, et Tahiti serait une position clé. Mais ce projet n'avait jamais été considéré pour des raisons de développement coûteux de matériel et plus encore pour des raisons de personnels. Cependant des évolutions ont eu lieu sur le plan du matériel et technologique. Une antenne de 12 mètres de diamètre serait suffisante aujourd'hui et son fonctionnement est relativement simple; des besoins nouveaux peuvent aussi exister, notamment dans la poursuite de sondes interplanétaires au niveau européen et mondial. Un nouveau projet est donc déposé par le GRGS dans le cadre de la prospective sur l'instrumentation de géodésie spatiale, le pojet VLBI-2010, avec trois objectifs :

- atteindre une précision de 1 mm sur les positions des stations VLBI et de 0.1 mm/an sur les vitesses de déplacement de ces stations ;

- observer en continu 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 ;

- ramener à moins de 24 heures le délai entre la fin d'une session VLBI et les résultats tirés de ces observations (ce délai est d'environ une semaine actuellement principalement à cause du temps nécessaire pour le transport des disques sur lesquels les données sont enregistrées jusqu'au corrélateur).

- cette opération se ferait dans le cadre de l'IVS (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry) et impliquerait directement les observatoires de Paris et Bordeaux et bien sur le GRGS.

Recommandation

Vu la très grande importance des applications de la technique VLBI en dehors même de la géodésie et de l'astrométrie on recommande d'étudier le nouveau projet VLBI-2010 d'installation d'une antenne à Tahiti, notamment en considérant les nombreux aspects de cette question, technologiques et scientifiques et en se plaçant de manière prospective sur le long terme.

La télémétrie laser

Contexte

La télémétrie laser a joué en géodésie depuis plus de 40 ans un rôle majeur dans la métrologie et notamment en France depuis 1965. Son rôle a évolué compte tenu des développements dans les techniques radioélectriques et du lancement de nouveaux satellites dédiés au champ de gravité. Mais il reste fondamental dans des domaines-clés comme la trajectographie, l'étalonnage des altimètres radars au-dessus des océans, la détermination des variations temporelles des premiers termes du développement du champ de gravité, le transfert de temps. Il faut donc veiller à la qualité pérenne de la contribution française. Par ailleurs en raison de nombreux départs en retraite non remplacés, les problèmes de personnel demeurent critiques.

Recommandations

Le maintien de la qualité et l'amélioration de la métrologie en géodésie et de ses techniques associées doit être un souci constant. Ceci est vrai pour la télémétrie laser.

Le soutien en fonctionnement, en maintenance et en personnel de la station fixe de télémétrie laser de l'OCA qui vient d'être profondément rénovée avec succès (ancienne station Laser-Lune) doit ainsi rester une priorité.

La station laser ultramobile est toujours très utilisée et doit être maintenue en fonctionnement fiable ce qui a un coût, mais elle a pris de l'age et d'autre part elle ne peut atteindre les cibles très lointaines comme Lageos. Le développement d'une station laser ultramobile de nouvelle génération, fiable et automatique et surtout nécessitant moins de personnel (le remplacement des départs en retraite se fait mal) devrait donc être étudié et est à recommander.

L'observatoire géodésique de Tahiti où est implantée une station laser de la NASA (position unique dans l'hémisphère sud) fonctionne mais demeure en situation fragile pour des questions de matériels et de personnels depuis son origine. Elle doit donc faire l'objet d'une concertation régulière entre les organismes impliqués (Université de Polynésie française, CNES, NASA, GRGS) pour améliorer son efficacité.

Système de référence : Adoption de l'ITRS

Contexte

L'adoption d'une référence unique de temps (UTC ou Universal Time Coordinated, en francais, Temps universel coordonné) se fait dans le cadre du Bureau international des poids et mesures, le BIPM organisme intergouvernemental. Il est très souhaitable d'introduire aussi pour toutes les applications nécessitant une référence spatiale, un concept unique de système de référence d'espace, peut être via le BIPM. Le système ITRS (International Terrestrial Reference System) déjà adopté par l'UGGI en 2007 répond parfaitement à ce besoin (voir le document donné en annexe 7.4). L'extension à la navigation et à l'information géographique est particulièrement nécessaire, dans un contexte d'extension rapide de l'utilisation des nouvelles technologies d'information et de communication et des systèmes de navigation par satellite. En corollaire, la garantie de qualité, d'exactitude, de fiabilité et de pérennité d'accès à l'ITRS est une demande légitime des diverses communautés d'utilisateurs qu'il faut satisfaire. Il faut aussi souligner que les personnes qui lisent des coordonnées GPS sont en fait déjà dans l'ITRS (à leur niveau de précision et sans doute parfois à leur insu). Il s'agit d'utiliser le label correct, et d'éviter de l'appeler WGS84 dans la mesure du possible pour éviter des confusions.

Recommandations

Il est recommandé d'inviter fortement les utilisateurs à se servir du concept d'ITRS pour caractériser leurs systèmes de références géodésiques.

Il est aussi recommandé de rechercher une labellisation intergouvernementale de l'ITRS, notamment via le BIPM pour asseoir ce concept sur une approche scientifique et juridique et assurer une gouvernance très stable sur le long terme. Le Bureau des longitudes pourrait aider à une telle action.

La garantie de qualité, d'exactitude, de fiabilité et de pérennité d'accès à l'ITRS est une demande légitime des diverses communautés d'utilisateurs qu'il faut satisfaire.

6.2.2 - Terre solide

La gravimétrie terrestre : observatoires et services d'observation

Contexte

La France fait un effort remarquable dans ces domaines depuis de très nombreuses années, effort à relier à l'effort spatial fait sur ce sujet et dont on parle dans le paragraphe suivant. Des mesures et des analyses avec des interprétations géophysiques sont faîtes sur la détermination du champ de pesanteur et de sa variabilité temporelle à partir de la gravimétrie, gravimétrie de surface, gravimétrie en fond de mer ou en mode aéroporté. L'ensemble de ces actions doit être considéré avec soin. La gravimétrie observationnelle est fondée sur l'utilisation de gravimètres absolus portables, de gravimètres cryogéniques supraconducteurs, d'un parc de gravimètres relatifs type à ressort ou type « Scintrex ». Des projets novateurs sont en cours d'études fondés sur la technologie dite d'atomes froids incluant l'étude de gradiomètres pour la mesure du gradient de gravité. Il existe aussi des possibilités de mesure en fond de mer et par des techniques aéroportées. Il faut distinguer les mesures faites de façon permanente, celles faites au cours de campagne à caractère répétitif et celles qui sont à caractère occasionnel soit pour des raisons scientifiques, incluant éventuellement l'étalonnage de missions spatiales ou autres, soit pour des raisons de recherche géologique et minière. Les données sont archivées au BGI (Bureau gravimétrique international). Les données acquises sur le territoire national doivent être transmises au BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières).

Recommandation

L'activité importante développée en gravimétrie terrestre, marine et aéroportée, ses liens avec la gravimétrie spatiale doivent être poursuivis et impérativement coordonnés au niveau national à l'INSU, incluant les aspects techniques, de personnels et de campagnes, et rassemblant tous les acteurs.

Champ de gravité par les méthodes spatiales

Contexte

Des perspectives totalement nouvelles se sont ouvertes avec le grand succès de la décennie spatiale sur le champ de gravité, 2000-2009. La communauté engagée dans la détermination des champs de gravité doit être solidement soutenue. On veillera à assurer la pleine valorisation des nouveaux modèles utilisant les données de Champ (lancé en 2000), de Grace (lancé en 2002) et de Goce (lancé en 2009). Il faut renforcer la coopération avec les équipes scientifiques aval intéressées par les nouvelles perspectives ouvertes par le développement de la connaissance du champ de gravité, en y adjoignant les satellites laser (irremplaçables) : Starlette (lancé en 1975), Lageos (lancé en 1976), Stella (lancé en 1993). Les variations temporelles du champ sont directement liées aux transferts de masse dans le système Terre qu'il importe désormais de suivre de manière très continue et très pérenne particulièrement pour l'hydrologie, la glaciologie, l'océanographie, la météorologie. Il faut aussi assurer l'exactitude des paramètres caractéristiques des référentiels d'espace, notamment la constante de gravitation géocentrique, la détermination de l'origine du repère ITRS lié au centre des masses de la Terre, le facteur d'échelle de ce système. La détermination du champ de gravité, depuis l'espace de manière globale, permet ainsi parmi nombre d'autres applications, de contraindre certains paramètres d'évolution de la géophysique, qu'elle soit locale, régionale ou globale.

Recommandations

Il faut assurer la pérennité des mesures notamment celles d'origine spatiale en soulignant leurs applications devenues essentielles à beaucoup d'autres géosciences (hydrologie, océanographie, atmosphère). Les missions Champ (DLR), Grace, (DLR/NASA), Goce (ESA) ont une durée de vie limitée.

Il serait ainsi urgent qu'une nouvelle mission « Grace follow on » soit rapidement planifiée au niveau international compte tenu des délais de réalisation de tout projet spatial de l'ordre de 4 à 5 ans. Il est malheureusement fort probable qu'il y ait une interruption dans la fourniture des produits de Grace comme celui sur l'observation de la déglaciation du Groenland. On retrouve toutes les difficultés du passage du domaine de missions spatiales de recherche (en cours) à des missions opérationnelles (non encore planifiées) (cas analogue pour l'océanographie spatiale).

Le rôle de la gravimétrie au sol et de l'altimétrie pour étalonner Goce sont à mettre en évidence ainsi que l'importance incontournable des satellites laser, Lageos, Stella, Starlette, Étalon, pour déterminer plusieurs paramètres des systèmes géodésiques de référence. Une coordination nationale s'impose, notamment à travers le consortium FROG (French Ressources Organization for Goce, hébergé à l'IPG de Paris) reconnu par l'INSU, consortium qu'il faut aussi soutenir en liaison avec le Groupe de recherches de géodésie spatiale (GRGS) pour qui la détermination de modèles de champ de gravité est une priorité.

L'imagerie spatiale de la Terre

Contexte

L'imagerie de la Terre vue de l'Espace, dans le domaine visible ou radio (tout temps) est d'une très grande valeur informative sur la Terre, ainsi que sur les mouvements de la croûte terrestre, sur les déformations du sol dans les zones volcaniques et sismiques, sur la nature de la surface observée, sur sa couverture végétale, sur ses sols, sur la couleur des océans,... Les techniques de traitement des données recueillies à bord pour finalement obtenir une image, sont cependant très complexes et souvent très lourdes à mettre en œuvre, notamment dans l'approche par les techniques interférométriques (voir l'InSar). La résolution spatiale de ces images est un paramètre très important, tout comme la capacité à photographier une région du globe à un instant plutôt qu'à un autre. Ces caractéristiques dépendent à la fois du système embarqué à bord et des paramètres orbitaux de la trajectoire du satellite. Par ailleurs beaucoup de photographies et d'images ont été prises dans le passé, qu'il faut archiver ; beaucoup de satellites sont en fonction alors que d'autres sont programmés.

Recommandations

Il importe que toutes les données de l'imagerie spatiale radar (SAR et InSar) et optique soient correctement archivées et soient facilement accessibles de façon à pouvoir associer de manière cohérente les images prises à des époques

différentes, ce qui est essentiel. Il faut assurer pour le futur des images validées, étalonnées, archivées avec toutes informations associées nécessaires.

Il faut aussi assurer le renouvellement pérenne des satellites type, SPOT, ERS, Envisat, Pléiades (lancés vers 2010), sentinelles (lancés à partir de 2011). Le rôle du CNES, de l'ESA, de l'Union européenne et des agences spatiales nationales est irremplaçable pour assurer cette pérennité. La communauté scientifique se doit de faire valoir les enjeux auprès de ces organismes.

Observatoires, réseaux et services d'observation en sismologie

Contexte

Les réseaux d'observation déjà reconnus et soutenus depuis fort longtemps représentent une activité cruciale et irremplaçable. Des séismes catastrophiques comme celui lié au tsunami du 24 décembre 2004 ou le dernier en Chine, le 12 mai 2008, nous le rappellent, hélas, trop souvent. Dans les réseaux, il faut distinguer :

- le réseau Geoscope avec ses composantes comme centre de données et système d'observation ;
- les réseaux permanents : le réseau Rénass (Réseau national de surveillance sismique) ; le Rénass est la fédération des réseaux régionaux de surveillance sismique tel le réseau de surveillance sismique des Pyrénées, le RSSP), le réseau RAP (Réseau accélérométrique permanent) ;
- les réseaux mobiles déployables lors de catastrophes naturelles.

Il faut aussi signaler le projet RESIF (Réseau sismologique français) qui sera un très grand équipement et un outil d'observation ambitieux adapté à ces enjeux modernes de la sismologie. Il s'intéressera à des échelles de temps allant de la fraction de seconde à la décennie. Dans ce contexte, l'importance d'un centre de données unique est à souligner (centre Fosfore ou Fédération de l'observation sismologique française -ORE ou observatoire de recherche en environnement-, voir annexe 7-2).

Recommandations pour la sismologie « large bande » GEOSCOPE

1 - La contribution française au réseau global FDSN (Federation of Digital Seismograph Networks) est d'ores et déjà très importante. Il n'y a pas lieu de l'augmenter notablement. Il serait opportun toutefois d'assurer une meilleure couverture des régions polaires.

Il faut :

2 - que l'on assure les observations à long terme avec l'objectif d'une sismologie dépendant du temps ;

3 - que les données de toutes les stations du réseau soient transmises, traitées et diffusées en temps réel ;

4 - que les exceptionnels instruments STS1 (sismomètres de type STS1 (Streckeisen), dits à contre-réactions) encore en service aujourd'hui soient utilisés pleinement ;

5 - que le CEA et l'IRD continuent d'apporter leur soutien dans les sites où ils sont eux-mêmes implantés ;

6 - que l'IPEV (Institut Paul Émile Victor) continue son indispen-sable soutien logistique pour les stations polaires et celles de l'océan Indien ;

7 - que la question des sismomètres fond de mer soit considérée (elle ne peut être abordée qu'à travers un très grand programme international).

Recommandations concernant les réseaux nationaux

Il faut :

1 - que le Renass dispose des moyens nécessaires à sa contribution à la surveillance sismique du territoire national ;

2 - que les efforts nouveaux portent plutôt sur une meilleure distribution géographique des stations (L'utilisation de sites accueillant divers capteurs doit être privilégiée) ;

3 - que l'on prête une importance toute particulière à la surveillance sismique des Antilles ;

4 - que les personnels techniques et CNAP affectés à la surveillance sismique du territoire soient maintenus ;

5 - que le rassemblement des réseaux nationaux de capteurs sismologiques (large bande, courte période, accéléromètres) dans une structure unique qui pourrait être le BCSF (Bureau central sismologique français) soit considéré.

Recommandations générales pour les observatoires sismologiques

Il faut :

1. poursuivre l'effort d'implantation à long terme dans quelques régions très importantes pour la compréhension des séismes (e.g. Corinthe, Chili) ;

2. chercher à maintenir des stations sismologiques dans des pays avec lesquels la France a des relations constantes et historiques (e.g. Liban, Algérie) ;

3. intensifier l'effort d'étude des séismes lents et des trémors non-volcaniques, qui devra aussi faire l'objet d'observations longues et continuer les développements des instruments nécessaires pour détecter les signaux sismiques très basse fréquence ;

4. avoir une approche « multiparamètres » couplant mesures de déplacement du sol à partir d'instruments sismologiques et géodésiques ;

5. améliorer l'accessibilité des données (toutes ces données pourraient être rassemblées dans un centre de données unique).

Les observatoires et les services d'observations en magnétisme

Contexte

La grande réforme en cours des observatoires magnétiques d'Intermagnet, et donc de ceux du BCMT, est le passage aux données « seconde de temps ». La première raison en est un meilleur couplage avec les données satellitaires (le satellite Champ (2000) fournit une donnée par seconde de temps) ; la seconde raison est que la raison d'être des observatoires au sol se trouvera de plus en plus dans les observations de phénomènes de courte constante de temps. Trois nouvelles installations sont étudiées, l'une au Tibet (IPGP), l'autre à l'île de Pâques (IPGP et EOST), la 3^{e} au Dôme C (EOST).

Recommandations :

Il faut :

1 - que la fréquence d'échantillonnage, qui est d'une mesure par seconde de temps aujourd'hui dans la plupart des stations, soit augmentée (La transformation est déjà faite à l'île d'Amsterdam et Chambon la Forêt. Il faut la porter dans un premier temps à 10 mesures par seconde) ;

2 - que les installations prévues (île de Pâques, dôme C, Nouméa, Dalat) soient achevées (Il n'y aura pas lieu d'étendre le réseau au-delà, sauf circonstances particulièrement favorables) ;

3 - que l'INSU continue d'accorder son soutien au programme comme il l'a fait jusqu'ici, tout en laissant une large autonomie aux Instituts qui le font fonctionner ;

4 - que l'IRD maintienne son soutien en fonctionnement et en personnel ;

5 - que l'IPEV (Institut Paul Emile Victor) continue son indispensable soutien logistique ;

6 - que le CEA et le CNES continuent d'apporter leur soutien dans les sites où ils sont eux-mêmes implantés (Polynésie, Nouméa, Kourou) ;

7 - que les moyens en personnel CNAP et ingénieurs et techniciens soient maintenus ;

8 - qu'on porte intérêt aux progrès sur les instruments de mesure, par exemple en donnant au magnétomètre vectoriel à césium du CEA les performances d'un instrument d'observatoire.

Les observatoires dans la France d'outre-mer et les Services d'observations en volcanologie

Contexte

Les observatoires volcanologiques concernent principalement la France d'outre-mer. Les observatoires volcanologiques et sismologiques des Antilles et de la Réunion en association avec les universités locales et les autorités régionales et départementales observent en permanence avec de nombreux instruments et de nombreuses techniques, les évolutions de la Soufrière, de la montagne Pelée et du piton de la Fournaise. La France apporte aussi son concours et sa compétence dans d'autres pays.

Recommandations

Il faut

1 - ne pas interrompre les observations pour la raison que le volcan est en sommeil ;

2 - conserver pendant les périodes de calme une installation suffisante dont l'objectif ne sera pas seulement l'alerte mais aussi la compréhension des phénomènes et de leur évolution ;

3 - maintenir dans chaque observatoire un personnel suffisant (une vie scientifique pourra être entretenue au sein de l'observatoire et le lien entre les observatoires et la métropole maintenu) ;

4 - rendre les données brutes disponibles en temps réel (en temps normal, le volcan et les données des observatoires sont accessibles à tous) ;

5 - conserver le précieux concours des départements aux observatoires, particulièrement en matière de fonctionnement et de personnel ;

6 - placer la surveillance des volcans des Antilles à l'échelle de l'arc et accroître les échanges avec les observatoires voisins ;

7 - installer les capteurs dans des conditions durables, dans des abris souterrains quand cela est nécessaire ;

8 - profiter des éruptions fréquentes du volcan du piton de la Fournaise pour développer des technologies nouvelles de surveillance ;

9 - développer l'observation spatiale des volcans (l'instrumentation au sol devra évoluer de manière à permettre l'étalonnage des capteurs spatiaux) ;

10 - agir de manière coordonnée en temps de crise, en se référant en particulier au document de 1999 de l'IAVCEI « Professional Conduct of Scientists during Volcanic Crisis » (au cours de crises déclarées, tous les chercheurs participant à la surveillance sont placés sous l'autorité du directeur de l'Institut de physique du globe de Paris).

6.2.3 - Océanographie

Contexte

L'environnement de notre planète dépend fortement de l'océan qui couvre 70% de sa surface. Sa capacité calorique en fait un acteur prépondérant dans l'évolution du climat. Il abrite la majorité des espèces vivantes, dont beaucoup sont encore inconnues. Il touche de très près les quelques milliards de personnes qui vivent près de ses côtes. Souvent méconnu, voire ignoré, sa connaissance approfondie est indispensable à celle du «système Terre». La France se situe dans les tout premiers pays du monde pour la recherche océanographique, mais peine à transformer cet avantage en résultats économiques. La coordination entre organismes compétents est bien avancée dans le domaine de l'océanographie hauturière, avec notamment la mise sur pied de Mercator (voir plus bas), mais il reste à pérenniser cette coordination et à faire de même dans les autres secteurs de l'océanographie, en y ajoutant d'autres partenaires

Il est nécessaire de coordonner encore mieux les efforts publics en France en océanographie, jusqu'au littoral, dans une perspective de

positionnement ambitieux au niveau européen et international, notamment dans le cadre du GMES (*Global Monitoring For Environment and Security*) pour l'Europe et dans le cadre du GEO (*Global Earth Observation*) pour le monde entier. L'océanographie forme une entité cohérente qui doit être organisée par les organismes qui en sont chargés ; il faudra bien sûr organiser les relations avec les disciplines connexes, et une organisation mieux formalisée permettra aussi de progresser sur ce point. On renvoie le lecteur au chapitre 5-3.

De notre capacité nationale à optimiser notre organisation et nos investissements dépend notre position dans la compétition internationale. Certes l'Europe aussi coordonne, mais sur la base d'initiatives nationales ou multinationales qui bénéficient en priorité à leurs auteurs. L'exemple du Groupement intérêt public Mercator océan, confirme que la capacité nationale est indispensable pour occuper une place de premier rang en Europe.

Nous rappelons ci-dessous les recommandations émises dans le chapitre sur l'océanographie, en commençant par les recommandations de portée générale, puis en examinant successivement les domaines hauturier, côtier et littoral.

Recommandations de portée générale

D'une manière générale, l'observation nécessaire en océanographie est fondée sur des mesures in situ et sur des moyens spatiaux. Comme en météorologie, il faut assurer une pérennité à long terme à tous ces moyens d'observations ce qui n'est pas encore le cas actuellement.

Si l'on veut vraiment prendre en charge l'environnement de la planète, il faut donner une impulsion nouvelle à l'observation de la bathymétrie. L'organisation hydrographique internationale, l'OHI, en collaboration avec la Commission océanographique intergouvernementale, la COI, devrait être chargée par l'ONU, ou à défaut par les nations majeures, de piloter un projet de recueil et de diffusion de la bathymétrie des grands fonds, plus ambitieux que les travaux actuels, qui sont plutôt opportunistes, et elle devrait recevoir les moyens de le faire de la part des États qui s'y impliquent.

Il faut aussi une nouvelle mission d'altimétrie dédiée à la bathymétrie et à la gravimétrie (type ERS-1 évoluant sur une orbite dite « géodésique » permettant une très haute résolution spatiale, voir le chapitre 5-3).

Des navires spécialisés restent indispensables. L'investissement considérable en navires et en jours de mer pour la recherche serait bien mieux

«rentabilisé» sur le long terme si l'on faisait l'effort d'affecter à ces travaux des techniciens qualifiés pour la conduite et le traitement de levés bathymétriques. Le savoir-faire dans ce domaine est principalement détenu par les services hydrographiques et en France par le Service hydrographique et océanographique de la Marine, le SHOM.

Il serait utile de développer des systèmes opérationnels qui donnent une précision de positionnement en temps réel de l'ordre du centimètre à quelques centaines de kilomètres au large, et de quelques décimètres en tout point de la Terre. Il faut créer une organisation pérenne, disposant de ressources suffisantes, dans laquelle les différentes contributions à la mesure du niveau de la mer, en particulier à la marégraphie, puissent être apportées de manière légitime et reconnue par les différents organismes qui relèvent de tutelles ministérielles différentes : SHOM, IGN, Legos, Météo-France, INSU, etc...

Cette organisation doit recevoir les moyens de rechercher dans les archives disséminées sur le territoire national toutes les observations anciennes de marée, ensuite de les pérenniser, puis de les qualifier et de les exploiter. Comme le montrent les actions décrites ci-dessus, les préoccupations relativement récentes sur la vitesse de montée du niveau moyen des mers ont en effet ravivé l'intérêt sociétal et scientifique pour l'observation de la surface marine à la côte au moyen de marégraphes. Mais il ne suffit pas d'observer maintenant, car il faut de très longues périodes pour dégager des tendances scientifiquement fondées (certains auteurs préconisent 70 années au moins); il est donc de la plus haute importance de rechercher dans les archives anciennes, et pour tout le territoire, toutes les observations anciennes de marée (depuis le 17è siècle), ensuite de les pérenniser, puis de consacrer les moyens nécessaires à leur qualification et à leur exploitation.

Les progrès dans le domaine de la connaissance du champ de gravité sont indispensables pour la compréhension de notre planète et de ses océans incluant sa circulation ; les projets visant de très hautes résolutions spatiales (de l'ordre de 100 km, mieux si possible, comme devrait le permettre un satellite comme Goce) doivent être encouragés, car ils sont essentiels.

Océanographie hauturière

Recommandations

Les systèmes de satellites d'observation, en particulier d'altimétrie avec la série satellitaire comme la série Jason (avec la programmation très réclamée de Jason-3) et les systèmes mondiaux d'observation in situ (les 3000 profileurs Argo par exemple) nécessaires au calage des modèles doivent être pérennisés aux niveaux

national, européen et mondial, chacun selon ses capacités et la bonne volonté de ses partenaires. Par exemple, le centre Coriolis à Brest pourrait très bien devenir à terme un service européen. À la vue de l'ampleur des financements nécessaires et de la faiblesse des retombées commerciales à court ou moyen terme, le financement restera presque exclusivement public.

Le Groupe d'intérêt public Mercator Océan a manifestement vocation à être européen, et l'on s'efforce d'établir les partenariats nécessaires pour qu'il le devienne, ce qui paraît aujourd'hui en bonne voie avec « MyOcean » dans le cadre de GMES. À titre d'exemple, il a une capacité de prévision de l'état de l'océan, de sa circulation, de ses tourbillons et des cyclones tropicaux. Il est indispensable que l'Europe crée et maintienne un centre d'océanographie hauturière. Comme pour le système d'observation, le financement restera public à l'horizon visible.

Océanographie côtière

Recommandations

Toutes les observations côtières devront être centralisées, pour validation, archivage et diffusion, à l'échelle de bassins significatifs appelés ici «régions» (exemple : le plateau continental de Gascogne, celui en mer Celtique,...). Cette centralisation pourra se faire dans des services publics du type du centre Coriolis mis en place pour les observations hauturières (Chapitre 5.3). Ils devront donc faire l'objet de coopérations entre pays voisins.

Il n'existe pas aujourd'hui de capacité opérationnelle pérenne en continu en océanographie côtière ; il faudra donc en créer une. En particulier, la concentration à Brest d'une grande partie de la recherche océanographique française civile et militaire en fait un site de choix pour un centre régional sur la façade Atlantique. La France d'outre-mer ne doit pas non plus être oubliée et elle doit faire l'objet de stratégies spécifiques en raison de la difficulté d'y concentrer des moyens lourds.

Il est probable qu'à l'horizon visible aujourd'hui, des capacités nationales continueront à exister et que les associations multinationales seront partielles. Mais on peut imaginer des coopérations multilatérales génératrices d'économies sur des services de l'État continus de description et de prévision.

Tous ces éléments, ainsi que l'incertitude sur les retombées commerciales, indiquent une orientation nette vers un financement majoritairement public.

On peut cependant espérer un investissement privé dans la diffusion d'informations d'océanographie côtière, étant entendu que l'information de base restera directement accessible par les sites publics producteurs.

Océanographie littorale

Recommandations

L'ensemble du littoral doit être dès que possible cartographié avec une très haute résolution (de l'ordre du décamètre, voire mieux), et c'est l'objet du projet « Litto 3D » défini par l'IGN et le SHOM qui sont les deux seuls organismes capables de le conduire conjointement et techniquement en France.

L'équipement des plates-formes publiques y compris les mouillages permanents, (utiles également au domaine côtier), doit être prévu sur financement de l'État. (Pour les autres plates-formes, on peut imaginer des participations publiques lorsqu'elles seront situées en des points importants pour les modèles côtiers).

Tous ces dispositifs nécessitent des études et développements, pour lesquels un financement public paraît nécessaire en amont. Par contre, une fois les voies et moyens explorés, le développement de dispositifs opérationnels devrait pouvoir être laissé en grande partie à l'initiative privée.

Des observatoires côtiers, souvent multidisciplinaires, existent déjà. Ils doivent être pérennisés en priorité, après une étude préalable d'ensemble destinée à rationaliser et optimiser le dispositif d'ensemble (côtier et littoral).

Comme pour l'observation, les initiatives de mise en oeuvre de modèles opérationnels seront ici principalement locales, publiques ou privées selon les besoins. Une pérennité à caractère scientifique ne paraît pas nécessaire, sauf exception (en particulier en relation avec les observatoires cités plus haut).

6.2.4 - Hydrologie et glaciologie

Contexte

La continuité des observations spatiales majeures pour la glaciologie et l'hydrologie devrait être a priori assurée avec les séries de satellites d'altimétrie et de gravimétrie telles qu'annoncées et déjà programmées. Dans un prochain futur des missions comme Cryosat-2 (ESA prévu en 2009), Saral/Altika, CNES en coopération avec l'Inde prévue en 2010, ou l'altimétrie à large fauchée par *interférométrie pour l'hydrographie continentale (mission SWOT avec la NASA, Surface Waters Ocean Topography vers 2015-2016)* permettront une résolution spatiale meilleure qui donnera accès à la topographie des zones continentales polaires, à celle des océans côtiers ou des plus larges fleuves. En revanche, certains paramètres nécessaires aux études de glaciologie ou d'hydrologie ne sont toujours pas mesurables de l'espace et exigent des mesures sur le terrain. On peut citer par exemple le débit des fleuves ou l'épaisseur des glaces continentales ou des glaces de mer. Dans les deux cas, d'importantes opérations « sol » sont menées et doivent aussi être prise en compte dans les bases de données. On peut citer Amma, pour l'étude de la mousson et du régime hydrologique de l'Afrique (Analyses multidisciplinaires de la mousson africaine incluant l'observation de systèmes nuageux) et surtout la quatrième année polaire internationale où plus de cinquante pays réunissent leur capacité de mesures, terrain et satellites.

Sur un plan général, on doit souligner encore le rôle majeur joué par l'eau (sous toutes ses formes) dans les processus géophysiques mais aussi dans la qualité et la signification des mesures géophysiques. La présence de vapeur d'eau et d'eau liquide ou solide dans l'atmosphère est le facteur le plus pénalisant pour la plupart des observations satellitaires. À l'inverse, des observations initialement non prévues pour étudier l'atmosphère peuvent s'avérer en fait extrêmement précieuses pour améliorer sa connaissance. La question des MNT précis (Modèles numériques de terrain) nécessaires pour les calculs hydrologiques fins est aussi à souligner. L'importance des images satellites pour l'humidité du sol, des satellites pour la mesure de la pluie, de l'altimétrie pour l'hydrologie par satellites, des mesures lidar de niveau d'eau ou de MNT à usage de support d'écoulements, est une question clé à mettre en avant.

Recommandations

Recommandation 1 : Constituer au niveau national un groupe de coordination et de réflexion stratégique sur « l 'observation de la Terre appliquée au domaine de la Gestion des ressources en eaux ».

Recommandation 2 : Promouvoir au niveau national un centre opérationnel d'observation de la Terre pour la gestion des ressources en eau. L'eau, avec ses aspects scientifiques, sociétaux et économiques est un thème urgent pour aujourd'hui et pour demain.

6.2.5 - L'environnement atmosphérique

L'homosphère jusque vers 90 km d'altitude

Contexte

L'enveloppe gazeuse qui entoure la Terre est comme on le sait bien aujourd'hui, quelque chose de vital au sens le plus strict. C'est pourquoi en rapport avec la stratégie et la politique de l'INSU, du CNES, de l'État plus généralement, la surveillance des Gaz à effet de serre (CO_2, O_3, H_2O, CH_4, ...), les « GES », s'impose de façon évidente sur le long terme, en liaison avec la météorologie et la climatologie mais une politique est à conforter et à développer pour cette surveillance sur le plan mondial et européen dans des cadres comme GMES et GEO. Les aspects « sol » et « espace », l'importance de l'archivage des données, le développement de centres de traitement avec stockage des données et des résultats (concept d'observatoire « virtuel » voir

l'annexe 7-4) sont de façon assez évidente des questions clés mais pas toujours considérés de manière suffisamment forte. Beaucoup de données spatiales « dorment sur leur support » et pourraient encore fournir beaucoup d'information sur les processus physiques. Plus de « chercheurs » et d'ITA (ingénieurs, techniciens, administratifs) seraient nécessaires. Plus d'analyses et de travaux de surveillance seraient aussi à faire avec des moyens appropriés, pérennes et opérationnels dans les cadres européens et mondiaux. La recherche sur de nouveaux instruments ou sur des nouvelles problématiques comme le stockage du CO_2 sont à poursuivre de manière vitale.

Recommandations

– l'atmosphère est un élément central de l'équilibre biologique (anthropique, animal, végétal) et environnemental de la planète Terre. Ses fluctuations à court terme (tempêtes, pollution..) ou à long terme (changement climatique…) sont à l'origine d'enjeux sociétaux importants qui nécessitent impérativement, au-delà des aspects purement météorologiques, que soient déployés des moyens appropriés, pérennes et opérationnels d'observation et d'analyse :
– développement du volet atmosphère de GMES pour la mise en place de services opérationnels; (l'initiative GMES ou la surveillance globale pour l'environnement et la sécurité, est développée dans le chapitre 3) ;
– conception de nouveaux instruments de mesure pour l'étude de la chimie de la troposphère et pour l'étude des puits et sources des gaz à effet de serre.

L'hétérosphère au-delà de 90 km d'altitude

Contexte

La surveillance de l'atmosphère supérieure de la Terre à des altitudes supérieures à 90 km, de la thermosphère et de l'ionosphère jusqu'aux confins de la plasmasphère puis de la magnétosphère jusqu'à l'environnement proche du Soleil, exige le maintien d'observatoires et d'installations « sol » spécialisés : installations Eiscat, installation Superdan, interféromètre Micado/Epis, Radar ST, lidar.... Cette surveillance implique ensuite d'utiliser les données provenant des nombreuses missions spatiales, notamment celles concernant les données sur les différentes particules circulant autour de la Terre ou se précipitant sur la Terre. Les satellites de la constellation européenne « Cluster » à très haute altitude, jointes à d'autres comme ceux de la constellation chinoise « Double star » nous ont appris beaucoup de choses et continuent de le faire. La surveillance du Soleil et de l'activité

solaire dont dépend beaucoup la Terre, est enfin une autre exigence incontournable nécessitant la mesure permanente du flux solaire dans ses différentes composantes spectrales, y compris la valeur absolue de la constante solaire (Mission Solspec à bord de la station internationale pour la mesure des raies de tout le spectre solaire lancée le 7 février 2008, la mission spatiale Picard programmée pour l'été 2009, ...).

L'importance des géocroiseurs, des météorites, des essaims météoritiques, des débris spatiaux est aussi à souligner car ces questions sont désormais partie du « paysage à surveiller » de l'environnement terrestre et beaucoup de travaux sont et doivent être menés tant par les agences spatiales que par des laboratoires de recherche.

Recommandations

Les services d'observation du Soleil depuis le sol, notamment ceux de l'Observatoire de Paris-Meudon-Nancay, les observations de l'atmosphère supérieure avec des systèmes type Superdarn, Eiscat, Epis/Micado, lidars.... les programmes nationaux de l'INSU et du CNES (à titre d'exemple, le Programme national Soleil-Terre, le PNTS) jouent un rôle essentiel dans ce domaine et sont à soutenir.

Il faut maintenir et assurer le renouvellement pérenne au cours du temps aussi d'un ensemble d'observatoires spatiaux (i.e. Cluster, Soho, Solar orbiter, Stereo, Picard, Wind, Rhessi, Trace, Ulysse, mission achevée le 4 juin 2008, ...).

Des liens avec le Programme national de planétologie, le PNP, le Programme national pour la chimie atmosphérique, le PNCA, le Programme national pour l'étude de la dynamique du climat, le PNEDC sont également à recommander vivement.

La constitution de banques de données et la mise à disposition de toutes ces données sont quelque chose de capital.

La surveillance des géocroiseurs, des météorites et des essaims météoritiques, des débris spatiaux doit faire partie des programmes de l'environnement terrestre comme cela se fait à l'IMCCE ou à l'OCA et dans les agences spatiales pour ce qui est des débris spatiaux.

6.2.6 - Le climat

Contexte

Le climat est devenu un sujet d'actualité scientifique et sociétale faisant l'objet de débats à de nombreux niveaux. La détermination de l'origine physique précise et quantitative du changement observé et la compréhension détaillée des processus mis en jeu doit continuer de

faire l'objet de nombreuses recherches. Le changement climatique et le réchauffement actuel pour la dernière décennie par rapport aux décennies précédentes est un fait important analysé dans des rapports comme le rapport de la météorologie internationale pour l'année 2007 ou le rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat de 2007.

Recommandations

Pour comprendre les phénomènes mis en jeu, des observations sont à poursuivre de manière pérenne sur le très long terme et cela en priorité. Les incertitudes sur les prévisions du climat demeurent importantes. L'environnement de la planète Terre doit être placé sous surveillance.

La coordination et la coopération européennes et internationales s'imposent. Les émissions et les pollutions des uns et des autres dans l'atmosphère ignorent totalement les frontières des uns et des autres. Le changement climatique ne connaît pas non plus les frontières et les accords internationaux. Il faut observer la Terre sans relâche.

La Terre a aussi enregistré son propre passé notamment dans les glaces comme dans les sédiments et il est très important de dater ces informations irremplaçables dans une échelle de temps astronomique en s'appuyant sur la mécanique céleste comme cela est fait dans le cadre du projet « EarthTime » auquel participe activement l'IMCCE.

Conclusion générale du chapitre

Beaucoup d'efforts sont entrepris depuis de nombreuses décennies pour observer la Terre de manière pérenne. Il importe que ces efforts soient poursuivis avec un souci métrologique permanent (précision, exactitude, validation, archivage, accessibilité). On s'aperçoit aussi que de nouvelles technologies et de nouveaux outils sont disponibles tant au niveau du sol (type réseau de profileurs Argo dans l'océan par exemple) que dans l'espace (satellite type Grace par exemple) et que des nouveaux paramètres de l'environnement (bilan hydrique entre l'atmosphère, les océans, les continents, les calottes glaciaires par exemple) sont aussi à enregistrer et à surveiller de manière pérenne et opérationnelle sur le long terme.

L'effort en matière d'étude de la Terre, pour « comprendre la Terre » et relever les défis correspondants nécessite ainsi une réflexion approfondie sur les moyens nécessaires sur le plan « financier» et sur le plan «des ressources humaines » : ce qui est fait ne paraît pas toujours à la hauteur des enjeux de notre environnement

et des nouveaux défis sont à relever. Redonner des moyens nouveaux spécifiques (en ressources humaines et en moyens financiers) à l'INSU, aux Observatoires et à ce secteur de recherche en général, devrait être une grande priorité. Il faut une cohérence entre les investissements, le fonctionnement des équipements et les moyens humains nécessaires. Face à des nouveaux défis qui se présentent, il faut aussi une capacité de réaction rapide. La mise sur pied des actions de recherche est souvent trop longue et trop lourde. Il faut aussi ne pas se laisser « distraire » par des nouvelles actions alors qu'il faut déjà et d'abord assumer en priorité un certain nombre de devoirs incontournables bien identifiés depuis très longtemps et validés. Enfin il faut garder en mémoire que la plupart des domaines concernés ressentent un déficit de gouvernance et que le problème de la transition de l'expérimental vers l'opérationnel est aussi un problème de gouvernance.