Collection du Bureau des longitudes

Volume 1

Comité National Français de Géodésie et Géophysique

Commission sur les Infrastructures Géodésiques (CIG)

Rapport sur la contribution française aux infrastructures géodésiques

Rapport publié sous la direction de Claude Boucher

Collection du Bureau des longitudes - Volume 1

Comité National Français de Géodésie et Géophysique

Commission sur les Infrastructures Géodésiques
(CIG)

Rapport sur la contribution française aux infrastructures géodésiques

Rapport publié sous la direction de Claude Boucher

Bureau des longitudes

© Bureau des longitudes, 2021

ISBN : 978-2-491688-08-0
ISSN : 2724-837

Préface

La géodésie est une discipline des sciences de la terre méconnue, peu visible et néanmoins indispensable. Elle consiste à mesurer avec précision et à comprendre la géométrie et l'orientation de la Terre dans l'espace ainsi que son champ de gravité. Son rôle est donc d'une importance scientifique, technologique et sociétale majeure sur les continents comme sur les océans, notamment dans les domaines suivants :

- La surveillance du niveau des mers au niveau global, régional ou local, indicateur clé des changements climatiques
- La surveillance de divers types de risques naturels (séismes, volcans, tsunamis…)
- La géolocalisation et ses usages en information géographique et mobilité individuelle
- Le soutien aux missions spatiales terrestres ou interplanétaires
- La navigation terrestre, maritime ou aérienne

Le Bureau des longitudes est, depuis sa création en 1795 et sous des formes multiples, intéressé et impliqué dans divers aspects de cette discipline.

Le Comité national français de géodésie et géophysique (CNFGG) et plus spécifiquement sa section 1 sur la géodésie est la structure fédérative officielle de la communauté française du domaine, notamment en regard des organisations scientifiques internationales.

Un aspect particulièrement important est celui des infrastructures géodésiques. Le CNFGG a ainsi créé une commission sur ce sujet, qui a entrepris la rédaction d'un rapport sur la contribution française aux infrastructures géodésiques. Le Bureau des longitudes a proposé de publier ce rapport dans sa collection, et d'en assurer les mises à jour.

Au niveau national, les infrastructures de recherche (IR dans la suite) incluent la plupart du temps quelques moyens techniques d'observation géodésiques utiles à la thématique : par exemple, la Flotte Océanographique Française (IR FOF), l'IR ILICO avec SONEL emportent des moyens GNSS. Au niveau européen, l'ERIC EPOS inclue les observations GNSS et satellite. La géodésie est évidemment au cœur des IR simplement par la géolocalisation et la nécessité de référentiel précis. Malheureusement le plus souvent, les besoins et les contraintes d'observations peinent à être reconnus. On peut citer par exemple, le manque d'échantillonnage spatial en mesure laser (problème des océans), la difficulté de défendre des missions satellitaires dédiées (missions gravimétriques) etc.

Ce rapport identifie et décrit les thématiques géodésiques sur lesquelles, les experts du BDL et du CNFGG ont travaillé car relevant d'axes porteurs de recherche de haut niveau et d'innovation nationale et internationale

Ce texte constitue le volume 1. A ce stade, quelques annexes sont manquantes et seront ajoutées ultérieurement.

Claude Boucher	Marie-Françoise Lalancette
Président BDL 2016-2019	Présidente Section 1 du CNFGG

Comité National Français de Géodésie et Géophysique

Commission sur les Infrastructures Géodésiques (CIG)

Rapport sur la contribution française aux infrastructures géodésiques.

Rapport publié sous la direction de Claude Boucher

Ce rapport est consacré aux infrastructures géodésiques, leur définition, les enjeux associés et les actions d'accompagnement nécessaires tant au niveau national qu'européen ou international. Il a été rédigé dans le cadre de la commission ad hoc du Comité National Français de Géodésie et Géophysique. Sa rédaction a bénéficié de multiples contributions précisées en annexe (III-1).

Ce rapport a par ailleurs utilisé divers documents, dont certains sont reproduits dans la partie II. On notera en particulier le document de synthèse élaboré à la suite de la Journée organisée par le Bureau des longitudes avec le concours du CNES, salle de l'Espace le 7 juin 2019.

De plus une liste de références est donnée en III-2.

Partie I - Rapport de synthèse

1. Introduction : contexte et enjeux

Un aspect important et typique de la géodésie est qu'elle présente résolument plusieurs facettes, ce qui implique que la communauté correspondante n'est ni totalement homogène, ni unifiée, ni visible clairement de l'extérieur. Déjà le nom lui-même n'évoque pas toujours grand' chose auprès du grand public.

On peut néanmoins retenir trois éclairages principaux :

- La vision astronomique : liens avec l'astronomie, notamment l'astronomie fondamentale et la mécanique céleste
- La vision géophysique : liens avec la géophysique au sens général (Terre solide, météorologie, océan…)
- La vision technologique : liens avec l'information géographique, topographie, cartographie, cadastre, hydrographie, navigation, métrologie industrielle…

De plus, la géodésie élabore ou utilise un ensemble d'infrastructures, de produits et services utilisés ou utilisables par de multiples applications scientifiques ou techniques. C'est ce que nous désignons ici sous le terme d'**infrastructures géodésiques**

2. Définition des infrastructures et périmètre du domaine étudié

Le rapport renvoie spécifiquement à l'ouvrage du Bureau des longitudes «Observer la Terre » publié chez Hermann (2009) (référencé ci-après par OT)

Le concept de référence est celui de système d'observation et ses composants :

- Capteurs
- Transmission de données
- Centre de données
- Processus de traitement
- Produits
- Communautés d'usagers

De plus il est important d'attirer d'emblée l'attention sur la multiplicité de ces composants et de leurs interconnexions, en mentionnant spécifiquement :

- Les réseaux sol, mis en place ou exploités par le multiples acteurs, avec des objectifs divers
- Les observatoires spécifiquement liés à la géodésie
- Les missions spatiales, scientifiques ou opérationnelles utilisables en géodésie
- Les organisations nationales (ex RGP, RESIF), européennes (ex EPOS, EUREF), ou internationales (ex IGS, GGOS)
- Les exigences d'interopérabilité, le développement de portails et d'observatoires virtuels

Dans ce rapport, nous définirons les infrastructures géodésiques comme l'ensemble des équipements et systèmes numériques nécessaires aux activités de géodésie.

3. Inventaire des systèmes d'observation liés à la géodésie

Dans ce paragraphe figure une liste aussi complète que possible de ces systèmes d'observation :

- Systèmes spatiaux
    - Systèmes géométriques
        - VLBI
        - Télémétrie laser
        - GNSS
        - DORIS
        - Multi-techniques type GRASP
    - Missions liées au champ de pesanteur (CHAMP, GRACE, GOCE…)
    - Autres systèmes
        - Satellites altimétriques
        - Imagerie optique
        - Imagerie radar et InSar
        - Missions Temps/Frequence (T2L2, ACES…)

- Systèmes aéroportés, drones
- Systèmes terrestres
    - Levés terrestres (triangulation, trilatération, polygonation, levés inertiels…)
    - Nivellement
    - Gravimétrie (relative, absolue, supraconductrice, atomiques..)
    - Temps/Fréquence
- Systèmes en milieu marin
    - Systèmes côtiers (marégraphie …)
    - Systèmes de surface
    - Systèmes en profondeur et fond de mer

Un catalogue de ces systèmes donnant définitions, descriptions et références serait utile à rédiger, s'appuyant notamment sur l'ouvrage OT.

4. Etat actuel de la contribution française

Figure ici une liste des contributions françaises identifiées aux infrastructures géodésiques.

1. Capteurs

    - Mesures laser à l'OCA
    - DORIS
    - Horloges et gravimètres atomiques

2. Réseaux

    - Réseau DORIS
    - Stations laser de Grasse
    - Stations permanentes GNSS (RGP, RENAG, REGINA…)
    - Stations marégraphiques (RONIM, ROSAME…)

3. Centres d'archivage

    - Centre de données IGS
    - Centre de données IDS
    - BGI
    - SONEL

4. Centres de traitement

    - Centre d'analyse IGS de CLS
    - Centre d'analyse DORIS (IGN)
    - Centre d'analyse DORIS (CNES/CLS)
    - Centre de combinaison DORIS (CLS)

5. Centres de produits

    - Centre de produits Rotation de la Terre de l'IERS
    - Centre de produit ITRF de l'IERS

5. Examen critique et recommandations

Ce paragraphe résume les recommandations extraites de publication récentes du Bureau des longitudes, ainsi que de la Journée scientifique que ce dernier a organisée en 2019.

- **GNSS**

Recommandation BDL :

> *« Les techniques GNSS jouent un rôle crucial par leur précision et pour l'accès au géo-positionnement. La participation française à Galileo est sur ce point à saluer, tout comme le projet REGINA du CNES en coopération avec l'IGN. Enfin, si actuellement GNSS via GPS ne contribue pas à l'échelle du repère terrestre par manque d'exactitude, l'utilisation de Galileo, mieux étalonné, pourrait changer cette situation. Dans ce cas l'utilisation de tirs SLR sur les satellites Galileo serait appréciable. »*

Recommandations de la présentation de M Mandea, F Perosanz et A Pollet:

- Maintenir au minimum la constellation GPS-Galileo
- Développer des liens inter-satellite sur Galileo
- Améliorer les informations auxiliaires des satellites (attitudes, antennes satellites…)
- Embarquement de récepteurs GNSS sur LEO
- Participation à l'IGS

- **DORIS**

Recommandation BDL :

> *« Par ailleurs, il faut souligner l'importance prise par DORIS et à cette occasion remercier le CNES pour cette contribution originale, et souhaiter sa pérennité, ainsi que tout effort pour l'amélioration des performances, en vue notamment de la contribution à la détermination de l'origine et l'échelle du repère terrestre. »*

- **Tahiti**

Recommandation BDL :

> *« La proposition d'Observatoire géodésique à Tahiti répond … parfaitement aux besoins de développement des sites de colocation et d'utilisation des investissements des diverses techniques : station SLR automatique, accord CNES-NASA pour le VLBI, station GNSS REGINA et station DORIS. Elle illustre également l'usage de territoire français dans l'hémisphère sud. De plus, elle correspond à la réalisation d'un Observatoire géodésique fondamental, qui offre une capacité d'hébergement d'autres instruments, tels que des gravimètres à atomes froids, ou des horloges atomiques, techniques d'excellence d'équipes françaises, voire d'autres instruments géophysiques. Le Bureau note à ce sujet les développements prometteurs de la géodésie chronométrique relativiste. Enfin, cet observatoire pourrait faire l'objet d'un appel à la coopération internationale. »*

Recommandations de la présentation de N. Dimarcq :

- Consolidation du projet d'Observatoire géodésique fondamental de Tahiti (OGFT)
    - Nouveau chef de projet
    - Montage financier
    - Rôle de l'ESA
    - Accord CNES-NASA
- Présentation de l'OGFT comme observatoire pouvant accueillir également divers systèmes d'observation astronomiques, géophysiques ou autres

- **VLBI**

Recommandation BDL :

> *« … il s'avère que, pour de multiples raisons, la France ne dispose pas en propre de la technologie VLBI à usage astro-géodésique, alors qu'elle l'a développé dans le domaine millimétrique. Le partenariat en discussion entre le CNES et la NASA est alors crucial dans ces circonstances. »*

- **SLR**

Recommandation BDL :

> *« La proposition GRGS de station automatique SLR répond très exactement à deux des recommandations émises, à savoir la possibilité d'établissement de nouvelles stations, notamment dans l'hémisphère sud, et la calibration de Galileo. Elle soulève à ce stade les questions suivantes :*
>
> *a. Une stratégie industrielle dans ce domaine, possibilités d'exportation ou de partenariat en Europe*
> *b. Utilisation stratégique des territoires d'outremer »*

Recommandations de la présentation de C. Courde :

- Développement d'une station laser automatique
- Amélioration des performances de la technique par diverses approches (IR, bi-fréquence, multiphoton utilisant des liaisons laser télécom…)

- **Gouvernance**

Recommandation BDL :

> « *La réalisation de ces infrastructures est assurée par les contributions volontaires de laboratoires de recherche et d'organismes de divers pays, et appartenant de fait à trois grandes communautés : scientifique (géosciences et astronomie), spatiale et information géographique. Il existe de multiples organisations internationales qui assurent des cadres coopératifs partiels (UGGI, UAI, CEOS, COSPAR, GGIM …). Il reste en revanche à établir une gouvernance unique qui coordonnerait (ou remplacerait dans certains cas) l'ensemble de ces initiatives, et devrait être de type intergouvernemental afin de donner une garantie durable aux ressources, de favoriser les synergies, d'éviter les duplications et d'identifier des faiblesses et de les corriger.*
> *…..*
> *Enfin, le cadre nécessaire d'une gouvernance inter-gouvernementale doit être étudié plus en détail, en identifiant notamment le rôle que la France pourrait y jouer. A cet effet, le Bureau suggère la création d'un groupe de travail interministériel sur les infrastructures géodésiques qui rassemblerait des représentants des départements ministériels concernés (recherche, écologie, affaires étrangères, défense …) et d'organismes français tels que CNES, IGN, INSU. Outre la question de gouvernance, il coordonnerait la contribution française aux infrastructures géodésiques. Il reste à définir le processus de formation d'un tel groupe, auquel le Bureau est prêt à contribuer. »*

6. Conclusions

Un certain nombre d'actions se déduisent du document, qu'il faudra prendre en compte dans un cadre adapté.

Sans viser l'exhaustivité, les actions suivantes sont à mentionner à ce stade :

A1 : établir et mettre à jour le catalogue des infrastructures géodésiques

A2 : établir et mettre à jour l'inventaire des contributions françaises à ces infrastructures

A3 : élaborer une stratégie nationale de participation aux organisations internationales (dont européennes), incluant en particulier des actions pour créer ou améliorer des organisations internationales adéquates

A4 : développer les mécanismes d'aide à la réalisation de projets spécifiques, tels que l'observatoire géodésique fondamental de Tahiti

Partie II - Documents de travail

II-1) Les services scientifiques en Géodésie

II-2) Les acteurs

II-3) Synthèse des recommandations de la Journée sur les infrastructures géodésiques, 7 juin 2019, BDL

II-4) Actions de la France relatives à l'adoption et l'utilisation du Système International de Référence Terrestre (ITRS), CNFGG 2015

II-5) Note de cadrage rédigée par le BDLl à la demande du GRGS, BDL 2017

II-6) Participation française aux services internationaux en géodésie, BDL 2012

II-7) Towards an International Geosciences Organization (IGO), CNFGG 2016

II-8) SONEL contribution to the CNFGG report within the scope of th2 IUGG Centennial in 2019, L. Testut, M. Gravelle et G. Woppelmann

II-9) GNSS, IGS et REGINA

II-10) The DORIS system, J. Saunier, L. Soudarin

II-11) UN GGIM

II-1) Les services scientifiques en Géodésie

Dans le domaine de l'Astronomie et des Géosciences, une catégorie particulière d'activité existe, désignée par service scientifique. Elles y exercent un rôle important pour la recherche, mais également pour les implications sociétales.

L'expression de service scientifique est utilisée dans cette note pour désigner des activités de service exercées dans un cadre scientifique, et qui répondent à la plupart des critères suivants :

- Assurées par des chercheurs et techniciens de la communauté scientifique
- Utilisables pour des travaux de recherche
- Financées sur des crédits de recherche et innovation
- Bénéficiant des connaissances et expertise des chercheurs impliqués
- Suivant les usages de la communauté scientifique internationale en termes de publications, de politique de données, de management ou d'évaluation

De multiples exemples existent en astronomie, météorologie, océanographie, hydrologie, sismologie, géomagnétisme…

Le Bureau des longitudes vient d'ailleurs de publier un ouvrage sur les systèmes d'observation de la planète Terre, donnant un panorama de ces systèmes et de leurs apports à la surveillance et la connaissance de notre Planète, dans un souci sociétal. Cet ouvrage insiste sur un ensemble de recommandations à l'attention notamment d'autorités nationales, et dont plusieurs relèvent du thème. Des présentations de l'ouvrage ont été faites le 5 mars 2010 devant le MEEDDM et le 9 avril devant le MESR.

L'essentiel de ces activités relèvent de l'INSU au plan national. Elles sont exercées par diverses équipes du CNRS, des Universités, Observatoires astronomiques ou Instituts de Physique du Globe. Mais divers grands organismes y contribuent également de manière significative : BRGM, CNES, IGN, IRD, SHOM…

Enfin, si certains services se placent dans un cadre national, voire régional ou local, la plupart relèvent d'un cadre international ou européen et sont essentiellement une contribution française à une structure plus complexe.

Pour les services liés à la géodésie, ils contribuent tous aux infrastructures géodésiques, point focal de cette note. L'Association Internationale de Géodésie (IAG) encadre de fait la (quasi) totalité des activités de service scientifiques internationaux en géodésie. A travers son projet désigné par GGOS, l'IAG souhaite acquérir une meilleur visibilité et reconnaissance sociétale, notamment dans sa volonté de participer à GEO. Un des aspects critique est alors l'absence de garantie de pérennité de ses services, à la différence d'autres communautés telles que la météorologie ou l'océanographie.

Là encore, plusieurs questions peuvent être légitimement soulevées :

- Assurer une coordination nationale de ces activités
- Soutenir les organismes impliqués à travers les mécanismes ad hoc (budgets, contrats d'objectifs…)
- Contribuer à la création d'une organisation internationale adaptée assurant la gouvernance d'ensemble et bénéficiant d'un statut intergouvernemental
- Veiller à la qualité et la pérennité de ces services, et particulièrement les relations avec les communautés utilisatrices

II-2) Les acteurs

Au niveau français

Les organismes français associés à la Géodésie se regroupent selon les principales catégories suivantes:

- laboratoires et organismes de recherche et de formation (CNRS, Universités, Observatoire de Paris, IRD, ENSG, ESGT...)
- grands organismes publics (BRGM, CNES, IGN, SHOM...)
- structure de gouvernance et de soutien (Ministères concernés, INSU, CNRS, ANR, AERES...)
- sociétés industrielles (Astrium, Safran, Thales, PME..), sociétés de service (topographie..)
- structures associatives et coopératives (AFT, CNIG, AFIGeo, IFN, CNFGG, G2, GRGS...)
- structures académiques (Académie des sciences, Académie des technologies, Bureau des longitudes…)
- utilisateurs

Au niveau européen

- Commission européenne
- Agence spatiale européenne
- EUREF
- EPOS

Au niveau international

Exemples d'autres pays

- Allemagne
- Australie
- USA

Organisations internationales

- AIG et UGGI
- UNESCO
- GEO
- GGIM
- CEOS et COSPAR

II-3) Synthèse des recommandations de la Journée sur les infrastructures géodésiques, 7 juin 2019, BDL

Ce document a été rédigé en s'appuyant sur trois sources :

- Des recommandations émises par le BDL en 2017 sur demande du GRGS à propos de projets développés dans ce groupe
- Des recommandations émises par les divers orateurs de cette Journée, figurant dans leurs présentations ou exprimées ensuite
- Des interventions lors de la discussion finale

1. Sur la technologie laser satellite :

Recommandation BDL :

> *« La proposition GRGS de station automatique SLR répond très exactement à deux des recommandations émises, à savoir la possibilité d'établissement de nouvelles stations, notamment dans l'hémisphère sud, et la calibration de Galileo. Elle soulève à ce stade les questions suivantes :*
>
> *c. Une stratégie industrielle dans ce domaine, possibilités d'exportation ou de partenariat en Europe*
> *d. Utilisation stratégique des territoires d'outremer »*

Recommandations de la présentation de C. Courde :

- Développement d'une station laser automatique
- Amélioration des performances de la technique par diverses approches (IR, bi-fréquence, multiphoton utilisant des liaisons laser télécom…)

2. Sur GNSS :

Recommandation BDL :

> *« Les techniques GNSS jouent un rôle crucial par leur précision et pour l'accès au géo-positionnement. La participation française à Galileo est sur ce point à saluer, tout comme le projet REGINA du CNES en coopération avec l'IGN. Enfin, si actuellement GNSS via GPS ne contribue pas à l'échelle du repère terrestre par manque d'exactitude, l'utilisation de Galileo, mieux étalonné, pourrait changer cette situation. Dans ce cas l'utilisation de tirs SLR sur les satellites Galileo serait appréciable. »*

Recommandations de la présentation de M. Mandea, F. Perosanz et A. Pollet:

- Maintenir au minimum la constellation GPS-Galileo
- Développer des liens inter-satellite sur Galileo
- Améliorer les informations auxiliaires des satellites (attitudes, antennes satellites…)
- Embarquement de récepteurs GNSS sur LEO
- Participation à l'IGS

3. Sur DORIS :

Recommandation BDL :

> *« Par ailleurs, il faut souligner l'importance prise par DORIS et à cette occasion remercier le CNES pour cette contribution originale, et souhaiter sa pérennité, ainsi que tout effort pour l'amélioration des performances, en vue notamment de la contribution à la détermination de l'origine et l'échelle du repère terrestre. »*

4. Sur le VLBI :

Recommandation BDL :

> *« … il s'avère que, pour de multiples raisons, la France ne dispose pas en propre de la technologie VLBI à usage astro-géodésique, alors qu'elle l'a développé dans le domaine millimétrique. Le partenariat en discussion entre le CNES et la NASA est alors crucial dans ces circonstances. »*

5. Sur la gravimétrie :

Recommandations de la présentation de F. Pereira :

- Développement de gravimètres et gradiomètres atomiques (instruments de recherche, instruments compacts, commercialisation, applications terrestres, marines...)

6. Sur l'observatoire géodésique de Tahiti :

Recommandation BDL :

> *« La proposition d'Observatoire géodésique à Tahiti répond … parfaitement aux besoins de développement des sites de colocation et d'utilisation des investissements des diverses techniques : station SLR automatique, accord CNES-NASA pour le VLBI, station GNSS REGINA et station DORIS. Elle illustre également l'usage de territoire français dans l'hémisphère sud. De plus, elle correspond à la réalisation d'un Observatoire géodésique fondamental, qui offre une capacité d'hébergement d'autres instruments, tels que des gravimètres à atomes froids, ou des horloges atomiques, techniques d'excellence d'équipes françaises, voire d'autres instruments géophysiques. Le Bureau note à ce sujet les développements prometteurs de la géodésie chronométrique relativiste. Enfin, cet observatoire pourrait faire l'objet d'un appel à la coopération internationale. »*

Recommandations de la présentation de N. Dimarcq :

- Consolidation du projet d'Observatoire géodésique fondamental de Tahiti (OGFT)
  - Nouveau chef de projet
  - Montage financier
  - Rôle de l'ESA
  - Accord CNES-NASA
- Présentation de l'OGFT comme observatoire pouvant accueillir également divers systèmes d'observation astronomiques, géophysiques ou autres

7. Sur de nouvelles missions spatiales :

Recommandations de la présentation de M. Mandea, F0 Perosanz et A. Pollet :

- Missions de liens spatiaux type GRASP
- Mission MARVEL
- Utilisation de cubsat (mission type Geocon)
- Nouveaux concepts (atomes froids, vol en formation…)

8. Sur le développement d'une horloge atomique transportable :

- Développement d'une horloge atomique transportable similaire à celle du PTB

9. **Sur le développement d'un réseau européen d'horloges avec liaisons par fibre optique :**

Recommandations de la présentation de P.-E. Pottie :

- Etudier les possibilités des réseaux de fibres optiques terrestres ou sous-marins pour les liaisons entre horloges atomiques
- Développement d'infrastructures européennes (campagnes, réseaux permanents)

10. **Sur la coordination nationale des contributions, la stratégie nationale de contribution aux structures internationales :**

Recommandation BDL :

> « *La réalisation de ces infrastructures est assurée par les contributions volontaires de laboratoires de recherche et d'organismes de divers pays, et appartenant de fait à trois grandes communautés : scientifique (géosciences et astronomie), spatiale et information géographique. Il existe de multiples organisations internationales qui assurent des cadres coopératifs partiels (UGGI, UAI, CEOS, COSPAR, GGIM …). Il reste en revanche à établir une gouvernance unique qui coordonnerait (ou remplacerait dans certains cas) l'ensemble de ces initiatives, et devrait être de type intergouvernemental afin de donner une garantie durable aux ressources, de favoriser les synergies, d'éviter les duplications et d'identifier des faiblesses et de les corriger.*
> *…..*
> *Enfin, le cadre nécessaire d'une gouvernance inter-gouvernementale doit être étudié plus en détail, en identifiant notamment le rôle que la France pourrait y jouer. A cet effet, le Bureau suggère la création d'un groupe de travail interministériel sur les infrastructures géodésiques qui rassemblerait des représentants des départements ministériels concernés (recherche, écologie, affaires étrangères, défense …) et d'organismes français tels que CNES, IGN, INSU. Outre la question de gouvernance, il coordonnerait la contribution française aux infrastructures géodésiques. Il reste à définir le processus de formation d'un tel groupe, auquel le Bureau est prêt à contribuer.* »

Discussion finale :

- Prise en compte des activités UN GGIM

II-4) Actions de la France relatives à l'adoption et l'utilisation du Système International de Référence Terrestre (ITRS)

Claude Boucher

Président du CNFGG

16 novembre 2015

Le Système International de Référence Terrestre (ITRS)

Genèse de l'ITRS

Les capacités des techniques de géodésie spatiale ont complètement bouleversé la définition et réalisation des références célestes et terrestres traditionnellement fondées sur l'astrométrie. Il fut notamment établi en 1978 un projet international pour évaluer ces questions, le projet MERIT (*Monitoring of Earth Rotation by Intercomparison of Techniques*), sous la responsabilité de l'Union astronomique internationale (IAU – *International Astronomical Union*) et de l'Union géodésique et géophysique internationale (IUGG – *International Union of Geodesy and Geophysics*).

Dans ce cadre, le Bureau international de l'heure (BIH), hébergé à l'Observatoire de Paris, joua un rôle décisif en ce qui concerne le système de référence terrestre en étudiant, en coopération avec l'IGN, la possibilité de réaliser un repère terrestre constitué de positions de stations de géodésie spatiale, en remplacement des verticales des stations astrométriques. Les concepts ainsi dégagés et la méthode d'analyse furent présentés lors d'une réunion internationale à Sopron en 1984 (Boucher, Feissel 1984).

Cette nouvelle approche fut effectivement mise en application par le BIH, s'appuyant notamment sur les données de géodésie spatiale recueillies dans le cadre de MERIT. La première réalisation fut ainsi le BTS84 (BTS pour *BIH Terrestrial System*), publié dans le Rapport annuel du BIH pour 1984. (Boucher, Altamimi 1985) Cette activité continua jusqu'en 1987, puis fut transférée dans le cadre du nouveau service international créé en 1988 par l'IAU et l'IUGG sur recommandation du projet MERIT, l'IERS (*International Earth Rotation Service*), dont le bureau central fut assuré par la France via un consortium Bureau des longitudes / Institut Géographique National / Observatoire de Paris.

Le Système International de Référence Terrestre (ITRS – *International Terrestrial Reference System*) fut ainsi défini et réalisé depuis 1988, en continuité avec les BTS, par l'IERS (Service International de la Rotation et des Références Terrestres) qui publie régulièrement de nouvelles réalisations primaires de l'ITRS à travers les solutions ITRF (de l'ITRF88 au dernier ITRF2014).

L'ITRS est désormais officiellement adopté par l'ensemble de la communauté géodésique et géophysique, via une résolution de 2007 de l'IUGG.

L'ITRS : atouts et limitations

A l'extérieur de la communauté scientifique de géosciences, diverses désignations de systèmes de référence terrestres sont utilisées par diverses communautés, ce qui présente un risque de confusion et un obstacle à l'interopérabilité et à la certification. Certains usages font même l'objet de règlements ou de résolutions d'organismes internationaux. Ainsi, à côté de l'ITRS, la désignation WGS84 est largement utilisée en navigation aérienne, cartographie ou hydrographie (OACI, OHI, ACI, OTAN, etc.), tandis que ETRS89 est adopté en Europe *via* la directive INSPIRE.

Il semble alors rationnel d'étendre l'adoption de l'ITRS à tous les domaines d'activité, et de mettre en conformité les désignations courantes, soit en les référant explicitement à l'ITRS (par exemple cas du système européen ETRS89, par ailleurs préconisé par INSPIRE), soit en en proscrivant l'usage.

Il est légitime en contrepartie d'assurer à long terme la qualité, la pérennité et l'accessibilité des réalisations de l'ITRS, ce qui nécessite en particulier une structure de gouvernance *ad hoc*. Ceci implique également les infrastructures des systèmes d'observation utilisant les techniques spatiales (réseaux de stations, systèmes satellitaires, acquisition, traitement et archivage des données), leur qualité et pérennité.

Donc en résumé, plusieurs actions doivent être menées :

- Etablissement de normes ISO définissant l'ITRS et recommandant son usage dans tous les domaines ;
- Etablissement d'une structure de gouvernance *ad hoc* ;
- Actions de consolidation de la pérennité des infrastructures permettant la réalisation de l'ITRS ;
- Conduite d'actions de clarification par rapports aux errements terminologiques actuels liés notamment à WGS84 ou ETRS89.

Développement des actions de normalisation relatives à l'ITRS

Association Internationale de Géodésie

L'Association Internationale de Géodésie (IAG), l'une des associations constituant l'IUGG, a souhaité, par le biais de son projet GGOS (*Global Geodetic Observing System*), soutenir les actions de reconnaissance de l'ITRS et des activités menées par la communauté scientifique pour réaliser ce système, notamment sa réalisation primaire faite par l'IERS et désignée par ITRF.

GGOS a ainsi établi en 2008 un groupe de travail international sur l'établissement éventuel d'une norme ISO sur ce point. GGOS m'avait demandé d'animer ce groupe. Ce groupe remit un premier ensemble de conclusions en 2010, recommandant en particulier une norme ISO.

Proposition française à l'ISO

La France,qui est largement à l'origine de l'ITRS, comme cela a été rappelé au début de cette note, a décidé de porter cette proposition de norme devant l'ISO. Le Ministère chargé de l'écologie et du développement durable a donc commandé en 2009 à l'AFNOR, représentant la France à l'ISO, d'entreprendre les démarches nécessaires. En conclusion d'une étude préliminaire, une proposition fut transmise à l'ISO par la France, sous forme d'un NWIP (*New work item proposal*) sur une norme ITRS, soumis au comité ISO TC211 sur l'information géographique. En réponse, l'ISO TC211 demanda en 2013 qu'au préalable, une étude préliminaire illustrant le rôle des références géodésiques soit effectuée, à travers le projet 19161 dont l'animation m'a été confiée. Le rapport final fut soumis à l'ISO TC211 au printemps 2015.

Parmi ses conclusions, l'établissement d'une norme ITRS était réaffirmé.

En conséquence, la France a représenté à l'ISO TC211 le dossier d'un NWIP sur l'ITRS, sous l'impulsion de l'IGN.

De plus, afin d'assurer le suivi par l'IAG et de coordonner sa contribution au futur groupe ISO chargé de cette norme, le groupe GGOS décrit précédemment a été réactivé.

Evolution récente du contexte international

Résolutions du CIPM

Le Comité international des poids et mesures (CIPM) est la structure intergouvernementale chargée par les pays signataires de la Convention du mètre de superviser les activités métrologiques.

Le rapport du projet 19161 mentionné ci-dessus aborde en particulier ces aspects métrologiques :

"The CGPM in 2011, considering the significant and increasing number of Global Navigation Satellite Systems (GNSS), that the proliferation of time and geodesy reference systems in use in these navigation systems creates ambiguities for users, rendering their interoperability more difficult; and considering that the adoption of a common reference system is beneficial for users, adopted a resolution recommending that « the ITRS, as defined by the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) and realized by the International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS), be adopted as the unique international reference system for terrestrial reference frames for all metrological applications ». The adoption of this resolution by the CGPM (Resolution 9, 24th CGPM, 2011), puts in evidence the necessity of using a standard terrestrial reference in metrology."

Ceci est donc une adoption formelle de l'ITRS par une instance intergouvernementale.

Il reste néanmoins aux CIPM et BIPM de veiller à la mise en œuvre effective de cette résolution. Lors de la réunion du Comité Consultatif du Temps et des Fréquences (CCTF), j'ai eu l'occasion de faire une intervention à ce sujet, en tant que représentant de l'UGGI au CCTF.

Résolution du GGIM

Le groupe des Nations Unies sur l'information géographique, UN Global Geospatial Information Management (UN GGIM), a soumis avec succès en février 2015 une résolution à l'Assemblée générale portant sur le repère de référence géodésique global (GGRF – *Global Geodetic Reference Frame*).

Le GGRF est une composante fondamentale des infrastructures mentionnées précédemment. Le soutien et la mise en œuvre de cette résolution sont donc impératifs pour assurer la qualité et pérennité.

Le groupe de travail GGRF du GGIM a été en particulier chargé d'établir une feuille de route pour la mise en œuvre de cette résolution. La représentation française à GGIM a désigné Zuheir Altamimi comme membre de ce groupe au titre de la France.

Cette résolution a été soutenue et reprise par l'UGGI, via une résolution adoptée à Prague en juin 2015 :

Resolution : Global Geodetic Reference Frame

The ***International Union of Geodesy and Geophysics***

Considering

The Significant efforts of the International Association of Geodesy in developing and maintening fundamental geodetic products for scientific and societal benefits, in particular through its Global Geodetic Observing System (GGOS).

The achievements realized by the UN Global Geospatial Information Management (GGIM) through its Working Group on Global Geodetic Reference Frame (GGRF), in wich IUGG played a significant role through its International Association of Geodesy.

Recognising

The adoption in February 2015 by the General Assembly of the United Nations of a resolution entitled « A Global Geodetic Reference Frame for Sustainable Development ».

Urges

The UN GGIM Global Geodetic Reference Frame Working Group to engage with the UGGI and other concerned organizations such as GEOS and GEO, in order to promote the implementation of the UN GGIM GGRF RoadMap.

Resolves

To support the implementation of the intent of the UN resolution.

On voit ainsi le souci d'assurer le soutien le plus large possible de la résolution GGIM, en incluant notamment les communautés scientifiques (IUGG) et spatiales (CEOS – *Comittee on Earth Observation Satellites*), ainsi que la coordination mondiale GEO (Global Earth Observation).

On notera enfin que le secrétariat GEO a récemment contacté les délégués nationaux GEO pour qu'ils se concertent avec les délégués nationaux à GGIM, en l'occurrence le directeur général de l'IGN en ce qui concerne la France.

Dans le même sens, la représentation française à l'IUGG, en l'occurrence le Comité national français de géodésie et géophysique (CNFGG), dont j'assume actuellement la présidence, souhaite s'associer à cette concertation, conformément à la résolution IUGG.

En conclusion

Quelques actions se dégagent que le CNFGG souhaite voir entreprises, en partenariat avec les autres parties intéressées. Sont ainsi explicitées :

1. **Soutien au NWIP de l'ISO sur l'ITRS**

Le CNFGG ***soutient l'IGN*** dans son implication forte dans ce projet, en termes de personnes et de ressources (SGN et cellule de normalisation). En plus de la participation française au NWIP ITRS, via le comité national Information géographique de l'AFNOR, également présidé par l'IGN, la question de l'intérêt de ***normes nationales complémentaires*** relatives aux références géodésiques doit être étudiée. On se reportera sur ce point aux travaux sur un nouveau décret menés par la Commission Géopositionnement du CNIG.

2. **Soutien à la participation française au GGRF**

Comme déjà mentionné, il est impératif de mettre en place le moyen de coordonner et dynamiser cette participation. Le CNFGG propose de définir une ***structure ad hoc*** regroupant l'ensemble des partenaires potentiellement intéressés, qui assurerait la coordination des efforts, définirait au besoin des priorités et aiderait à la recherche des ressources nécessaires. Le représentant français au groupe GGRF s'appuiera sur cette structure pour optimiser la contribution française à ce groupe.

3. **Soutien à l'extension du groupe de travail GGRF du GGIM aux autres organisations internationales concernées (UGGI, CEOS…)**

Le CNFGG veillera en particulier que ***l'UGGI contacte rapidement GGIM*** à ce sujet. La façon d'assurer la coopération souhaitée entre le GGIM, l'UGGI et les autres structures évoquées (GEO, CEOS, COSPAR…) est le premier point à résoudre (participation des autres organisations à GGIM, comme l'est déjà GEO par exemple, ou création d'une structure de coordination ad hoc qui regrouperait tous les partenaires)

Paris, le 16 novembre 2015

II-5) Note de cadrage rédigée par le BDL sur demande du GRGS (décembre 2017)

A la demande du comité directeur du Groupe de Recherche de Géodésie Spatiale (GRGS), créé en 1971 pour fédérer les organismes français impliqués dans ce domaine, le Bureau des longitudes, un de ses membres fondateurs, a rédigé la présente note de cadrage destinée à accompagner deux projets proposés par le GRGS, en l'occurrence la création d'un observatoire géodésique à Tahiti et le développement d'une station automatique de télémétrie laser sur satellite.

En premier lieu, le Bureau souhaite rappeler son intérêt marqué dès son origine dans le domaine de la géodésie, illustrant ce fait par quelques exemples :

- Création au sein du Bureau d'une commission de haute-géodésie dès 1863
- Participation au consortium français sélectionné pour assurer le bureau central du Service international de rotation terrestre (IERS) créé en 1988
- Publication d'un livre blanc sur la géodésie en 2001
- Publication en 2003, en coopération avec l'Académie de l'air et de l'espace, et l'Académie de marine d'un ouvrage sur les enjeux stratégiques, scientifiques et techniques du programme européen Galileo
- Publication en 2009, de l'ouvrage « Les observatoires. Observer la Terre » qui traite en particulier de la géodésie spatiale
- Publication récente (2016) d'un ouvrage sur les références de temps et d'espace, décrivant les aspects historiques et modernes de la contribution fondamentale de la géodésie dans ces sujets

Dans ces circonstances, le Bureau a été amené à exprimer un certain nombre de recommandations, dont plusieurs figurent déjà dans les publications mentionnées, portant sur les infrastructures géodésiques qui contribuent au positionnement précis, désormais essentiellement composées de techniques spatiales, ce qui se segmente en deux composantes principales :

- La réalisation d'un système de référence terrestre global via un repère de référence aussi précis et aussi exact que possible. Ce problème fondamentalement métrologique est réalisé par un repère primaire (ITRF) produit depuis sa création (1988) par une équipe française de l'IGN dans le cadre de l'IERS (déjà mentionné). Actuellement ce repère est de qualité millimétrique, obtenu par combinaison de quatre techniques spatiales :
    a. La télémétrie laser sur satellite (SLR)
    b. La radio-interférométrie à très longue base (VLBI)
    c. Les systèmes de navigation par satellites (GNSS), tels que le système américain GPS, le système russe GLONASS, le système chinois Beidou et le système européen Galileo (déjà mentionné)

    d. Le système français DORIS développé par le CNES avec le concours de l'IGN
- Les méthodes de positionnement précis désormais essentiellement appuyées sur l'utilisation des systèmes GNSS tels que GPS ou Galileo

Ces activités restent méconnues en dehors de la communauté des spécialistes alors qu'elles ont un impact majeur pour de multiples usages. Afin de mieux apprécier leur importance scientifique, technologique et sociétale, nous souhaitons mentionner quelques exemples :

- La surveillance du niveau des mers au niveau global, régional ou local, indicateur clé de la climatologie
- La surveillance de divers types de risques naturels (séismes, volcans, tsunamis…)
- La géolocalisation et ses usages en information géographique
- La navigation terrestre, maritime ou aérienne

Cette note se concentre sur les infrastructures nécessaires pour la réalisation du repère primaire, elles-mêmes se répartissant entre les composantes suivantes :

- Réseaux de stations de mesure au sol
- Missions satellitaires
- Centres de données
- Centres d'analyse

Une analyse critique de la situation actuelle met en évidence un certain nombre de points qui font l'objet des recommandations suivantes :

1. La réalisation de ces infrastructures est assurée par les contributions volontaires de laboratoires de recherche et d'organismes de divers pays, et appartenant de fait à trois grandes communautés : scientifique (géosciences et astronomie), spatiale et information géographique. Il existe de multiples organisations internationales qui assurent des cadres coopératifs partiels (UGGI, UAI, CEOS, COSPAR, GGIM…). Il reste en revanche à établir une gouvernance unique qui coordonnerait (ou remplacerait dans certains cas) l'ensemble de ces initiatives, et devrait être de type intergouvernemental afin de donner une garantie durable aux ressources, de favoriser les synergies, d'éviter les duplications et d'identifier des faiblesses et de les corriger.
2. L'origine du repère international est actuellement quasi- exclusivement déterminée par la technique SLR, dans laquelle la France s'est impliquée dès son apparition. Il est donc crucial d'en assurer la meilleure qualité. Or le réseau de stations actuel présente un déséquilibre par manque de stations dans l'hémisphère sud. La disponibilité de stations automatiques serait décisive pour améliorer cette situation. En parallèle, toute amélioration des contributions des

techniques DORIS, voire GNSS serait bienvenue, notamment sur l'estimation de l'exactitude de l'origine du repère.

3. Les techniques GNSS jouent un rôle crucial par leur précision et pour l'accès au géo-positionnement. La participation française à Galileo est sur ce point à saluer, tout comme le projet REGINA du CNES en coopération avec l'IGN. Enfin, si actuellement GNSS via GPS ne contribue pas à l'échelle du repère terrestre par manque d'exactitude, l'utilisation de Galileo, mieux étalonné, pourrait changer cette situation. Dans ce cas l'utilisation de tirs SLR sur les satellites Galileo serait appréciable.
4. Par ailleurs, il faut souligner l'importance prise par DORIS et à cette occasion remercier le CNES pour cette contribution originale, et souhaiter sa pérennité, ainsi que tout effort pour l'amélioration des performances, en vue notamment de la contribution à la détermination de l'origine et l'échelle du repère terrestre.
5. En revanche, il s'avère que, pour de multiples raisons, la France ne dispose pas en propre de la technologie VLBI à usage astro-géodésique, alors qu'elle l'a développé dans le domaine millimétrique. Le partenariat en discussion entre le CNES et la NASA est alors crucial dans ces circonstances.
6. De plus, il faut rappeler l'aout stratégique et politique que constitue l'ensemble des territoires français dans le monde. C'est désormais bien affirmé sur le plan de leur empreinte océanique, et c'est l'occasion ici de le faire sur le plan géographique et géodésique. A ce sujet, le déploiement du réseau DORIS l'a déjà bien illustré.
7. Par ailleurs, la combinaison de ces techniques pour réaliser l'ITRF nécessite un ensemble bien réparti de stations dites de colocation qui rassemblent en un même lieu tout ou partie des instruments SLR, VLBI, GNSS ou DORIS. Les liens géométriques entre eux doivent être mesurés régulièrement par métrologie géodésique, technique bien maîtrisée par l'IGN
8. Enfin, les contributions d'équipes françaises dans le domaine de l'analyse des données et les recherches associées, déjà significatives, doivent être soutenues et coordonnées

En conclusion, le Bureau des longitudes est à la disposition de la communauté nationale pour toute suite à donner l'impliquant. Il émet en particulier les avis suivants :

2. La proposition GRGS de station automatique SLR répond très exactement à deux des recommandations émises, à savoir la possibilité d'établissement de nouvelles stations, notamment dans l'hémisphère sud, et la calibration de Galileo. Elle soulève à ce stade les questions suivantes :

    a. Une stratégie industrielle dans ce domaine, possibilités d'exportation ou de partenariat en Europe
    b. Utilisation stratégique des territoires d'outremer

3. La proposition d'Observatoire géodésique à Tahiti répond également parfaitement aux besoins de développement des sites de colocation et d'utilisation des investissements des diverses techniques : station SLR automatique, accord CNES-NASA pour le VLBI, station GNSS REGINA et station DORIS. Elle illustre également l'usage de territoire français dans l'hémisphère

sud. De plus, elle correspond à la réalisation d'un Observatoire géodésique fondamental, qui offre une capacité d'hébergement d'autres instruments, tels que des gravimètres à atomes froids, ou des horloges atomiques, techniques d'excellence d'équipes françaises, voire d'autres instruments géophysiques. Le Bureau note à ce sujet les développements prometteurs de la géodésie chronométrique relativiste. Enfin, cet observatoire pourrait faire l'objet d'un appel à la coopération internationale.

4. Enfin, le cadre nécessaire d'une gouvernance inter-gouvernementale doit être étudié plus en détail, en identifiant notamment le rôle que la France pourrait y jouer. A cet effet, le Bureau suggère la création d'un groupe de travail interministériel sur les infrastructures géodésiques qui rassemblerait des représentants des départements ministériels concernés (recherche, écologie, affaires étrangères, défense…) et d'organismes français tels que CNES, IGN, INSU. Outre la question de gouvernance, il coordonnerait la contribution française aux infrastructures géodésiques. Il reste à définir le processus de formation d'un tel groupe, auquel le Bureau est prêt à contribuer.

Paris, le 31 décembre 2017

II-6) Participation française aux services internationaux en géodésie, BDL 2012

Contexte

Dans le cadre de ses missions, le Bureau des longitudes souhaite renforcer son rôle au sein de la communauté française en prenant l'initiative d'établir des groupes ad hoc destinés à :

- faire progresser la réflexion sur un thème particulier, choisi pour son actualité, son importance scientifique ou sociétale
- inventorier la communauté nationale afin d'identifier les organismes ou structures actifs sur le thème ou susceptibles de l'être
- animer voire coordonner des activités sur ce thème, telles que
    - établir des recommandations aux départements ministériels ou aux organismes concernés, notamment par la publication de rapports
    - diffuser l'information associée à travers les moyens réguliers du Bureau (conférences, journée scientifique, parrainages)

Ces groupes seront établis par décision du Bureau, et pour une durée limitée, mais suffisante pour obtenir des résultats. Ils serviront notamment pour suivre certaines recommandations d'ouvrages récents (Galileo, Observatoires …) et en stimuler la mise en œuvre

C'est dans ce cadre qu'est proposé de créer un tel groupe sur la participation française aux services internationaux en géodésie.

Les services scientifiques internationaux en géodésie

Dans le domaine de l'Astronomie et des Géosciences, une catégorie particulière d'activité existe, désignée par service scientifique. Ces services y exercent un rôle important pour la recherche, mais également pour les implications sociétales.

L'expression de service scientifique est utilisée dans cette note pour désigner des activités de service exercées dans un cadre scientifique, et qui répondent à la plupart des critères suivants :

- Assurées par des chercheurs et techniciens de la communauté scientifique
- Utilisables pour des travaux de recherche
- Financées sur des crédits de recherche et innovation
- Bénéficiant des connaissances et expertise des chercheurs impliqués
- Suivant les usages de la communauté scientifique internationale en termes de publications, de politique de données, de management ou d'évaluation

De multiples exemples existent en astronomie, météorologie, océanographie, hydrologie, sismologie, géomagnétisme…L'essentiel de ces activités relèvent de l'INSU au plan national. Elles sont exercées par diverses équipes du CNRS, des Universités, Observatoires astronomiques ou Instituts de Physique du Globe. Mais divers grands organismes y contribuent également de manière significative : BRGM, CNES, IGN, IRD, SHOM…

Enfin, si certains services se placent dans un cadre national, voire régional ou local, la plupart relèvent d'un cadre international ou européen et sont essentiellement une composante d'une structure plus complexe.

Les recommandations du Bureau des longitudes sur ce thème

Le Bureau des longitudes vient d'ailleurs de publier un ouvrage sur les systèmes d'observation de la planète Terre, donnant un panorama de ces systèmes et de leurs apports à la surveillance et la connaissance de notre Planète, dans un souci sociétal. Cet ouvrage insiste sur un ensemble de recommandations à l'attention notamment d'autorités nationales, et dont plusieurs relèvent du thème. Des présentations de l'ouvrage ont été faites le 5 mars 2010 devant le MEEDDM (actuellement MEDDE) et le 9 avril devant le MESR. On notera particulièrement la recommandation suivante :

Systèmes globaux d'observations géodésiques

"établir au niveau national une structure de gouvernance de l'ensemble de ces activités"

"assurer un financement pérenne de ces activités"

(page 254)

ainsi que des recommandations plus ciblées mais intimement liées au thème considéré :

- Observatoire géodésique
- GNSS et Galileo
- DORIS
- Télémétrie laser
- VLBI

Inventaire des services concernés

On se reportera utilement à l'ouvrage du Bureau mentionné précédemment ainsi qu'aux liens Internet fournis. Les services dans laquelle une contribution française existe actuellement sont :

BGI : Bureau Gravimétrique International
EUREF : Réseau de référence européen
IDS : International DORIS Service
IERS : International Earth Rotation and Reference System Service
IGS : International GNSS Service
ILRS : International Laser Ranging Service
IVS : International VLBI Service
PSMSL : Permanent Service on Mean Sea Level

Rôle des organisations internationales

L'Association Internationale de Géodésie (IAG) encadre de fait la (quasi) totalité des activités de service scientifiques internationaux en géodésie. A travers son projet désigné par GGOS, l'IAG souhaite acquérir une meilleur visibilité et reconnaissance sociétale, notamment dans sa volonté de participer à GEO. Un des aspects critique est alors l'absence de garantie de pérennité de ses services, à la différence d'autres communautés telles que la météorologie ou dans une moindre mesure l'océanographie. L'IAG s'est autosaisie d'une réflexion sur l'intérêt et la faisabilité de la création d'une structure intergouvernementale ad hoc.

De plus ces services sont également généralement membres des World Data Systems (WDS) de l'ICSU, issus de la fusion de FAGS et WDC.

Voir :

http://www.icsu-wds.org/

Objectifs proposés pour ce groupe ad hoc

D'ores et déjà, plusieurs objectifs peuvent être envisagés pour ce groupe :

- Assurer une coordination nationale de ces activités en offrant un cadre académique et incontesté pour rassembler les acteurs qui pourront ainsi rapporter sur leurs activités et échanger des informations
- Soutenir les organismes impliqués à travers les mécanismes ad hoc (budgets, contrats d'objectifs …)
- Contribuer à la création d'une organisation internationale adaptée
- Veiller à la qualité et la pérennité de ces services, et particulièrement les relations avec les communautés utilisatrices

Composition du groupe

Le groupe comprendra, outre les membres et correspondants du Bureau intéressés, des représentants du CNES, de l'INSU, du MEDDE et du MESR, ainsi que des organismes hébergeant les participations françaises aux services, plusieurs ayant d'ailleurs un représentant au Bureau en tant que membre en service extraordinaire (IGN, SHOM…)

Programme de travail proposé

Il devra être établi plus en détail par ce groupe. Néanmoins, et au vu des informations précédentes, on peut dès à présent faire les propositions suivantes :

1. Réaliser l'inventaire aussi complet que possible des services et des contributions françaises associées : IGS, ILRS, IVS, IDS, PSMSL, IGeS, IERS, IGFS, ..

2. Identifier les liens avec les structures internationales : IUGG, IAU, URSI, IAG (incluant GGOS), BIPM, IOC, GEO…

3. Entamer une réflexion sur une organisation nationale, en abordant notamment les aspects de gouvernance, fédération des acteurs (CNES, IGN, IRD, OCA, OP, SHOM …) , financements, rôle de structures fédératives existantes (GRGS, PSL*, Pôle thématique CNES-INSU…)

4. Contribuer à la réflexion sur une réorganisation internationale, en particulier stratégie ad hoc pour la création d'une organisation intergouvernementale de gouvernance et au besoin d'une organisation inter-organisme opérationnelle sous sa tutelle

II-7) Towards an International Geosciences Organization (IGO), CNFGG 2016

Towards an International Geosciences Organization (IGO)

Claude Boucher

Chair French National Committee for IUGG

Version May 25 2016

The objective of this document is to present the multiple interests to establish an International Geosciences Organization (IGO), as well as its content and mission, and the possible ways to actually implement it.

Background of the document

As a matter of fact, two major points has stimulated me to investigate this issue and informally discuss with some colleagues:

1. My past experience of delegate of France to the UNESCO Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) which showed me the powerful synergy of intergovernmental and non governmental governance of oceanographic activities
2. After having contributed to the acceptance of IUGG as new GEO member organization, I recognized like others that concrete and somewhat visible actions has to be taken by us, specifically by the IUGG liaison group to GEO, regarding in particular new tools offered by GEO, such as Global Initiatives

Context

Monitoring, understanding and managing our Earth system is definitively a major task for both past, present and future. This has to be considered through its scientific, technological and societal aspects.

In particular, new technologies offer a drastic evolution in these fields, such as space techniques, telecommunications or information processing.

The worldwide coordination for Earth Observation initiated in 2003 under the name of Global Earth Observation (GEO) is under positive expansion. Presently 102 countries (including European Commission) and 95 international organizations (including IAG and IUGG) have signed this agreement, which major task is to establish a Global Earth Observation System of Systems (GEOSS). A new strategic plan 2016-2025 has been recently approved.

Observing systems contributing to this task need to reach fundamental quality criteria such as accuracy assessment, sustainability, reliability, not only to ensure the quality of scientific results derived from those systems, but also to obtain a reliable monitoring of the Earth system with various social benefits (weather prediction, climate, natural hazards...)

The role of international organizations is of primary importance in these progresses. But at this point, it must be recognized that they can be divided into two categories, different but complementary:

- those with a scientific non-governmental status, driven by the rules of the scientific international communities (peer evaluation, free and open access to data, voluntary contributions), mostly under the umbrella of ICSU and national academies of sciences
- those with inter-governmental status, where best effort contributions are guaranteed by governments at some level, either within the UN system or ruled by international treatises

It must be acknowledged that several communities have already implemented this duality. For instance, the meteorological community is involved at international level through

- the International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences (IAMAS), a member association of IUGG
- the World Meteorological Organization (WMO), an inter-governmental organization under the United Nations

Similarly, for the oceanographic community, the international cooperation is ensured through

- the International Association of Physical Sciences of the Ocean (IAPSO), also one of the IUGG associations
- the Scientific Committee for Ocean Research (SCOR), an ICSU body
- the Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC), under the umbrella of UNESCO
- the International Hydrographic Organization (IHO), an intergovernmental organization related to hydrographic activities

This multiple organization ensures a better capacity to satisfy both scientific challenges and societal benefits. In particular this ensures a better funding of observing systems, both spatial and in situ, their quality, sustainability and access, as well as developing capacity building.

Considering that the various disciplines related to Solid Earth are dealing with the remaining part of the whole Earth system, in addition to ocean and atmosphere, along with water and ice, it is logical to think that a similar organization could be beneficial. This is the subject of the present note.

Geosciences, the Solid Earth disciplines

Although it may not be universally agreed, the term Geosciences will be used here to gather the various disciplines dealing with the solid Earth, with somewhat fuzzy boundaries (geography, biology…), namely:

- geochemistry
- geodesy
- geology
- geophysics (solid Earth)

Present international coordination of Geosciences

The following international organizations, all members of ICSU, have been identified to deal with Geosciences:

- The *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG), established in 1919, gathering 8 international associations, among which several are linked with this report :
  - The International Association of Geodesy (IAG)
  - The International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI)
  - The International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior (IAVCEI)
  - The International Association of Geomagnetism and Aeronomy (IAGA)
- The *International Union of Geological Sciences* (IUGS), established in 1961
- The coordination of geo-unions within ICSU
- The *International Union for Quaternary Research* (INQUA)
- The International Union of Soil Sciences (IUSS)

In addition, two organizations play an essential role for the geosciences community, namely the *American Geophysical Union* (AGU) and the *European Geosciences Union* (EGU).

Towards an International Geosciences Organization

Considering these elements of information, we can sketch such an organizations according the following aspects:

Missions

Its missions would be to organize international cooperation related to Geosciences, with close support of the scientific organizations such as IUGG, IUGS... . In particular, IGO will:

- coordinate efforts to deploy and maintain Observing Systems related to solid Earth
- develop principles and standards for data sharing and interoperability, both within solid Earth communities and with other communities dealing with the whole Earth system, such as oceanography, meteorology, hydrology…
- organize cooperation between countries both on global and regional level
- develop capacity building in support to these activities, including scientific and technical training and technology transfer

Disciplines potentially included into IGO

- geodesy
- sismology
- volcanology
- geomagnetism
- geology
- pedology

Observing systems which could be coordinated by IGO

- Space geodesy (GNSS, VLBI, SLR, DORIS, gravity missions…)
- SAR and InSAR
- Optical Earth observation satellites
- Altimetric satellites (lidar, radar..)
- Sismological networks
- Gravimetric networks, including absolute and supraconducting gramimetry
- Solid earth observatories, such as volcanic or ocean bottom observatories

Organizational status of IGO

Several possibilities can be considered. At this stage, I mention two ways:

- A first approach is to look within the UN framework. In this case, the possibility to establish IGO in the frame of UNESCO, in a way similar to the IOC, should be seriously investigated, even in the present financial situation.

- Otherwise, a new organization could be imagined as the result of an intergovernmental agreement. The general framework of GEO is potentially useful to work on this solution.

Finally, a few remarks may be useful for further discussion:

- The way to consider water and ice is an additional issue
- IGO should be mainly devoted to governance, not funding, and make use of all existing organizations, and best effort contributions

Short term actions

It is clear that IGO is a goal hard to be reached on short term. Even if agreed, it seems reasonable to first identify some short term actions along this line. Here are some points I propose for consideration, as conclusion of this document:

Point 1 : to agree on the added value of an intergovernmental governance for solid Earth

Point 2 : considering recent evolutions in UNESCO in the field of solid Earth, in particular the wish to gather more and more geology and geophysics, and parallel developments for a closer cooperation between IUGG and IUGS, to identify new geophysical programs which could be added under this UNESCO governance (seismology, geodesy…). This point requires also that geophysicists be members, along with geologists, of the relevant national committees for UNESCO

Point 3 : such programs should be funded by best effort principle, without extra funding requirement from UNESCO budget (this rule is currently applied for most IOC programs), but may include international (such as World bank), European or national aid programs

Point 4 : to investigate the feasibility to use the GEO Global initiative model to define and implement these programs. On this specific point, CNFGG is writing an other document proposing the develop such a GI based on GGOS presently developed within IAG

II-8) SONEL sea-level observing infrastructure: French contribution to the IUGG Centennial in 2019, and beyond

by Guy Wöppelmann, Médéric Gravelle and Laurent Testut

La Rochelle University and CNRS joint lab LIENSs, La Rochelle, France

With contributions from T. Donal, V. Donato, S. Enet, Y. Ferret, B. Garayt, M. Guichard, T. Person, E. Poirier, N. Pouvreau, E. Prouteau, J. Saunier, P. Téchiné

I- An integrated coastal sea-level observation infrastructure

SONEL originally stands (in French) for *Système d'Observation du Niveau des Eaux Littorales*. That is, a research observation infrastructure whose basic activities are assembling, quality-controlling, and disseminating (www.sonel.org) high-quality continuous measurements of sea- and land levels at the coast from French tide gauges and from a global (international) network of space geodetic stations (GNSS and DORIS) at or near tide gauges. This scientific service falls in line with the concept of Earth observation system of systems since each technique (tide gauges, GNSS or DORIS stations) involved in the service has its specific instruments, data fluxes, standards, data processing procedures, and communities from the hydrography, geodesy, and geophysics. For instance, tide gauge activities have inherited from more than hundred years of practices, whereas GPS (the most common of the GNSS techniques) has emerged in the 1980s.

The data from these measurements are crucial for monitoring sea level changes relative to the land at the coast (a quantity often designated as *relative sea level*). Altogether these measurement systems are necessary for understanding the signals recorded by a tide gauge ('S' in Figure 1). That is, the signals that contribute to relative sea level changes, whether the changes arise from solid Earth displacements ('U' in Figure 1) or from ocean surface changes ('N' in Figure 1), for instance due to thermal water expansion or land ice melting. Figure 1 illustrates the instruments required to have a comprehensive observational picture of relative sea level changes at the coast.

The creation of SONEL was driven by the repeated requests (since the 1980s) from international programs or individual scientists: in brief, they demanded for a unified access to sea level data from French tide gauges; e.g. the Global sea level observing system (GLOSS; www.gloss-sealevel.org). In addition, the development of an integrated system of land- and sea level data was motivated by the need to supplement tide gauge data with space geodetic observations of the vertical land motion in a geocentric reference frame (Carter *et al.* 1989; 1994; Blewitt *et al*. 2010). Within this rationale, the original founders of SONEL were the main owners of tide gauge networks or space geodetic stations. That is, the French hydrographic agency (Shom), the French mapping agency (IGN), and the universities of La Rochelle and Toulouse. By developing SONEL, they aimed at addressing both the above-mentioned issues of a unified access to sea level data from French tide gauges and the land level monitoring using co-located continuous GNSS stations.

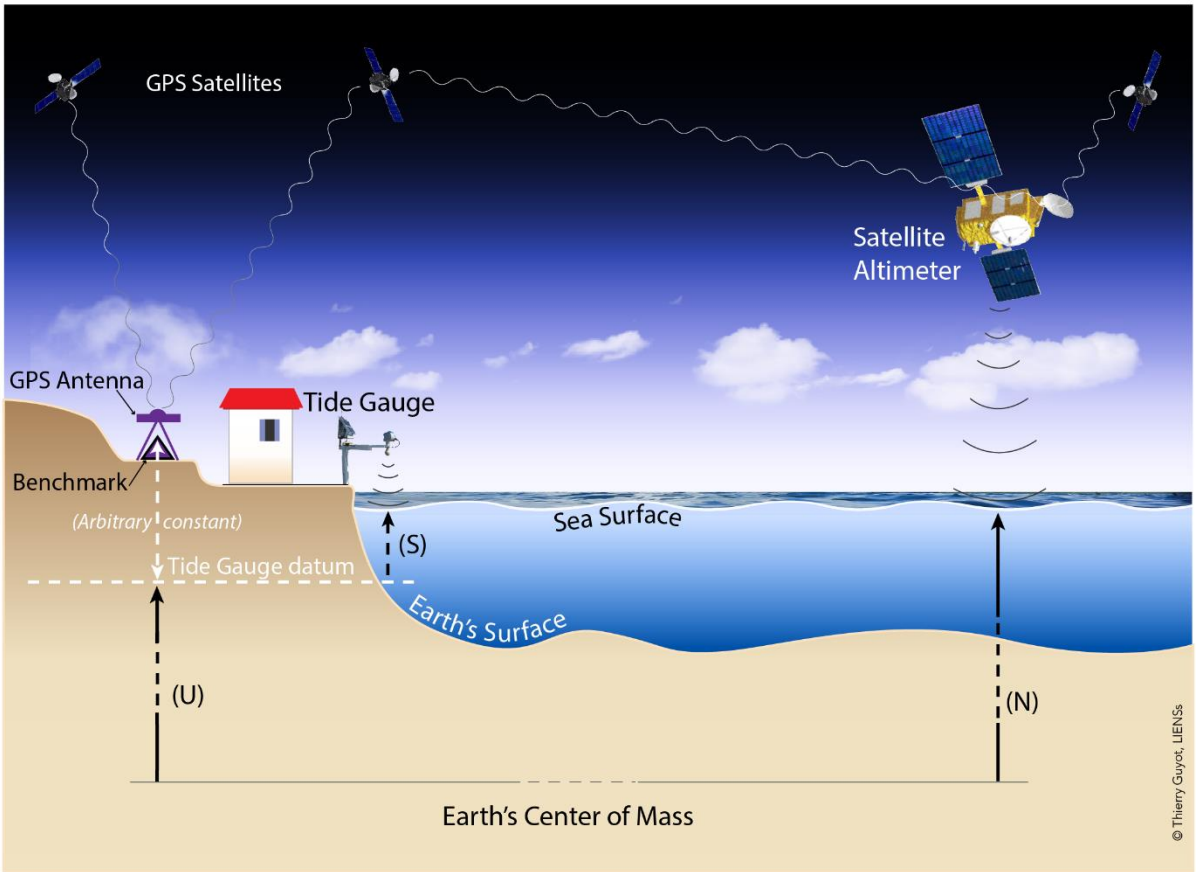


Figure 1: Sketch showing basic observational quantities and instruments considered in SONEL

Regarding the second issue, it is worth reminding the main conclusion of the workshop convened at UNESCO in 2009 by the GLOSS group of experts on "*Precision Observations of Vertical Land Motion at Tide Gauges*". This conclusion was that GPS had reached the maturity to address the demand for trends in vertical position of the solid Earth surface at the sub-millimeter per year precision level, provided ***continuous GPS (GNSS) observations are carried out at the tide gauge***. In agreement with this conclusion, the GLOSS implementation plan (IOC 2012) calls for the upgrade of its core tide gauge network with continuous GNSS stations. Another important conclusion was that ***the GNSS observations and generated products be public and free to anyone*** in line with the IOC/UNESCO Oceanographic Data Exchange Policy. To cope with this data issue, SONEL was retained, and finally adopted as the "GNSS at tide gauge" data assembly center at the XIIth GLOSS Group of Experts meeting in 2011, adding to the four existing dedicated data centers of the GLOSS program (IOC 2012).

The global character of SONEL is therefore twofold. First, it is global due to the coverage of the French territories (Figure 2). Second, it is global and international because of its role as data assembly center for the GLOSS program (Figure 3). Note that during its first years of activity SONEL did not foresee this international role, hence its original acronym does not reflect this dimension.

II- SONEL data holdings

1. Sea levels from French tide gauge networks

SONEL assembles sea level data from as many as 88 tide gauges located on French mainland and overseas territories (Figure 2). The operation of these tide gauges involves 64 partners, and are sometimes clustered into networks (e.g., ROSAME in the South Indian Ocean, Testut *et al*. 2006). The tide gauges in real-time and all the raw sea-level measurements from French stations are first assembled at the Shom data assembly center (Pouvreau 2011; known as REFMAR), which ensures the application of standard quality control procedures compliant with the International Hydrographic Organization (IHO) and the GLOSS program (Donato *et al*. 2017). Historically, the sea level data were sampled at a rate of 1-hour. However, over the past decades this sampling rate has progressively been reduced to 10-minutes, and further to 1-minute or 1-second in real-time to cope with new applications such as storm surge or tsunami warning systems. These high-frequency sea level data are directly accessible at Shom (https://data.shom.fr). There, SONEL retrieves the quality controlled data to produce mean sea levels (daily, monthly and annual) following the international standards (Holgate *et al*. 2013). It then distributes the products freely online (www.sonel.org) for all the available French tide gauges. In particular, SONEL distributes mean sea level data to the international Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL; www.psmsl.org) to support a broad research user base, and further contributes to the GLOSS core network with the 15 stations highlighted in Figure 2 (red circles).

SONEL undertakes activities of data archaeology aiming at recovering the important French scientific and cultural heritage on sea level observations: tide gauge records available in non-digital form should be rescued, digitized, quality controlled and made available in order to gain a better understanding of past and present-day sea level changes. This initiative of SONEL partners falls in line with a GLOSS recommendation on tide gauge data rescue (Bradshaw *et al*., 2015). As the main repository of historical tide gauge data in France, Shom has recently started an extensive preliminary work of sea level data inventory and tidal charts scanning.

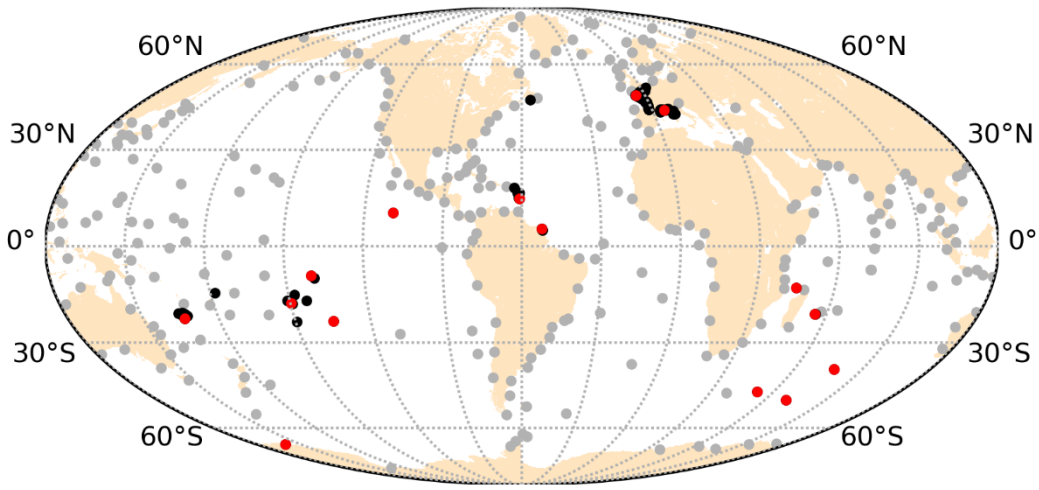


Figure 2: Map of French tide gauges (black circles) with the GLOSS network in background (grey circles) and the French contribution to GLOSS (red circles)

2. GNSS data at tide gauges from the world coastlines

Beyond its contribution with French tide gauge data to international programs and scientific services such as the PSMSL, SONEL acts as the **dedicated GNSS at tide gauge data assembly center** for the GLOSS program since 2011 (IOC 2012). Within this framework, SONEL was tasked

to assemble and distribute raw GNSS measurements in RINEX format (the Receiver Independent Exchange format) from continuously operating GNSS stations at or near GLOSS core network tide gauges, and ideally from any GNSS station at a tide gauge of interest, regardless of the world coastline (IOC 2012).

Within the above-mentioned context, SONEL has identified 911 tide gauges for which a GNSS station is nearby (Figure 3) or, from the other point of view, 1102 GNSS stations are nearby a tide gauge (within about 15km). Among these, **598 GNSS stations are active at or nearby 522 tide gauges** (a data file was successfully retrieved within the last 30 days), 176 are dormant (no data for the last 30 days), and 162 are now decommissioned. The main reason for the decommissioned stations is that most so-called "co-located" stations are often serendipitous cases; i.e., the GNSS antenna appears to be located near to a tide gauge by chance, but was installed for another purpose than monitoring the tide gauge. And this is because in most cases GNSS installations were not foreseen originally to monitor the tide gauge, neither as a primary application nor as supplementary, even later on when its coincident location became obvious. Consequently, the basic requirement (the geodetic tie) for sea level applications is often missing (Woodworth et al. 2017).

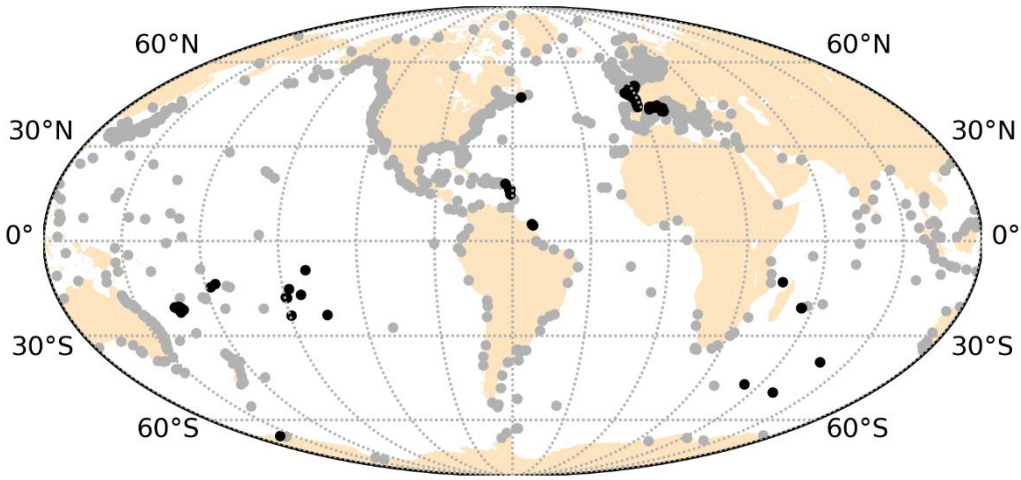


Figure 3: Map of French GNSS at tide gauges (black color) with the total network of GNSS at tide gauges for which SONEL collects and distributes data in background (grey color)

It should also be noted that 166 GNSS stations have no data available in SONEL, mostly because of military or commercial restrictions. (All the figures in this status report correspond to the status on January 2019). As of January 2019, the SONEL data assembly center contains over 4,500,000 daily station files of GNSS measurements in RINEX format, **contributed by over 189 different organizations.**

Figure 4 shows the evolution of the number of daily GNSS data files, which informs on the number of GNSS stations actually operational. As many as 715 stations are reported ("Total" curve, in blue), which includes both the GNSS at tide gauges and the reference frame stations. The latter reference frame stations are essential in a global data analysis approach to ensure an optimal simultaneous adjustment of the GNSS station coordinates and the satellite orbits, and subsequently the alignment to an accurate and stable geocentric reference frame over the entire data span (Santamaria-Gomez *et al*. 2017).

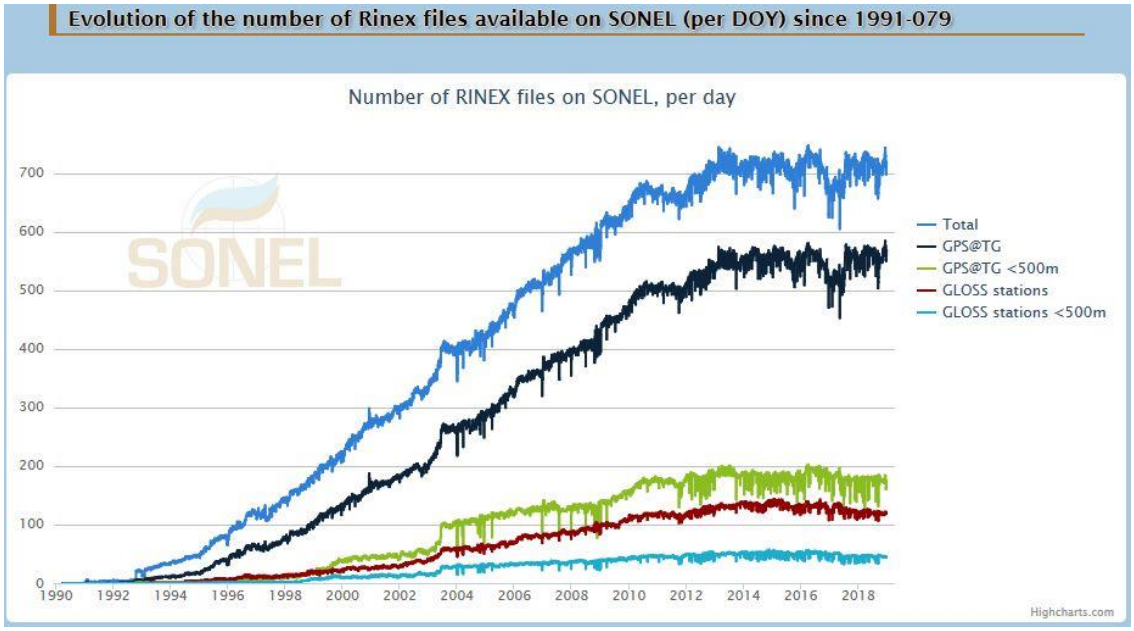


Figure 4: Evolution of the GNSS stations operational (providing data to SONEL)
http://www.sonel.org/-GPS-.html?lang=en

According to the latest version of the GLOSS station handbook (http://www.gloss-sealevel.org), the GLOSS core network comprises 290 tide gauge sites. **218 of these tide gauges are nearby one or more GNSS stations** (this corresponds to 349 GNSS stations nearby a GLOSS tide gauge). For 36 tide gauges, a GNSS station has been identified but the data are currently not available. (Details can be obtained at the webpage http://www.sonel.org/-GLOSS,81-.html).

As in many other geophysical areas, the GNSS record length is crucial to obtain precise trend estimates. Figure 5 shows how many GNSS stations have a record length of X years of longer.

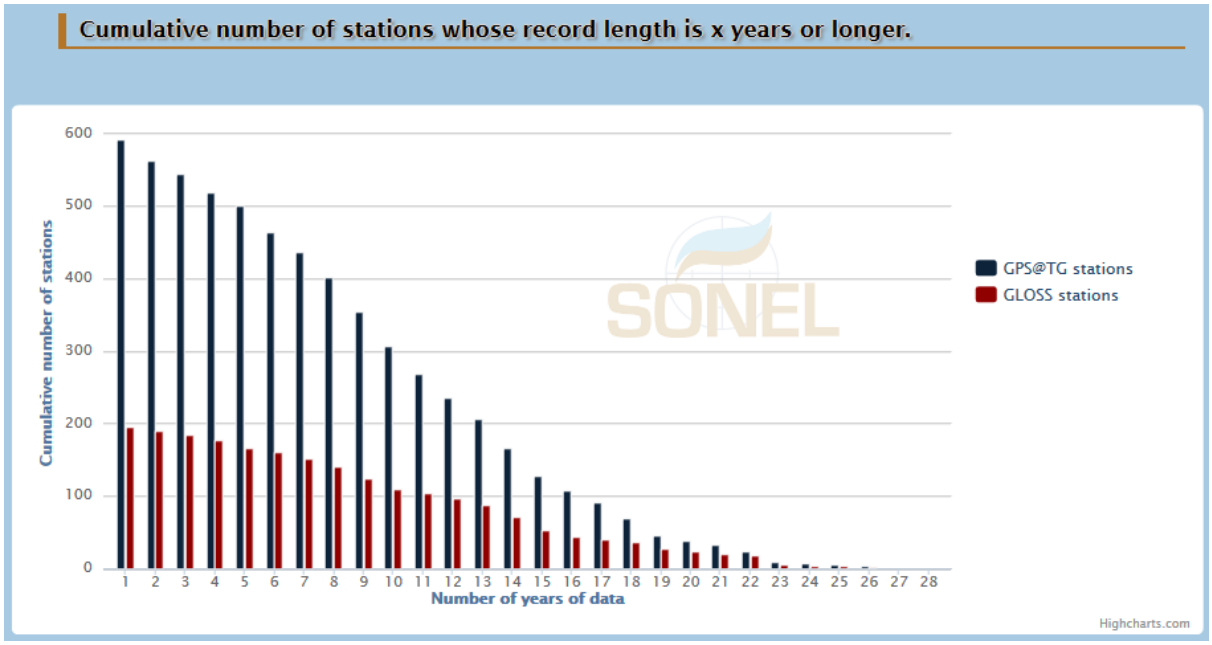


Figure 5: Cumulative number of GNSS stations whose record length is X years or longer.

III- Strengths, weaknesses and perspectives

Before trying to identify the strengths, weaknesses and perspectives of SONEL, we summarize below the main requirements to have a fully efficient and useful observing system, which has the ambition to be a referent in terms of *in situ* relative and absolute sea level measurements in France, and make a substantial contribution to international programs.

1. **Technical**:
    a. At the root of the system are the observations measured by the instruments. We need a deep understanding of the metrology of each type of instrument. This aspect concerns either the tide gauge or the GNSS equipment: knowledge of the recorded signal content, calibration procedures, errors and bias.
    b. Because we have to collect and manage millions of data files (Figure 4), a complex database is required as well as the specific skills to maintain its infrastructure (software and hardware), its contents (data integrity and quality assessment), and its interface towards the users *via* a data portal (web-services and programming), which is efficient, clear and reactive.
    c. Because GNSS raw data are useless to most users, and complex to process to obtain time series of high-precision station positions and velocities in an accurate and stable geocentric reference frame, we aim at providing these products, which demand large computing capabilities (hardware and software).
2. **Scientific**: The processing of the observations and the elaboration of products should be consistent with the international standards adopted by the scientific community. This is particularly challenging concerning the GNSS products, as the demand for accuracy in the sea level application is beyond what is currently achieved (Blewitt *et al*. 2010; Wöppelmann and Marcos 2016). Hence, it implies to cope with rapidly evolving data analysis strategies, and the associated scientific and technical expertise to explore, design, assess and implement them.
3. **Governance and management:** SONEL needs to maintain a certain level of representation at the national and international levels. We need to be active in the governing board of some national institutions, and actively participate to the international GLOSS programme as one of their data assembly centres.
4. **Communication:** In a world where communication is so prominent, it is an essential tool for a user-service to have an efficient communication strategy.

1. Strengths

Retrospectively, the major strength of SONEL was certainly the ability to involve and associate, since its inception, the two historical governmental agencies in charge of: (i) sea level measurement (Shom) and (ii) land survey and geodesy (IGN). These two long lasting institutions were at the foundation of SONEL, and even if they do not directly fund the system with an annual budget, they strongly support it in kind with human resources. They also bring an institutional basis at the national level. The other two founder institutions have scientific objectives, as these are the two Universities of La Rochelle and Toulouse, and the French National Centre for Scientific Research (CNRS). Altogether these institutions bring a comprehensive ensemble that ensures the maintenance and upgrade of the SONEL infrastructure keeping the pace with any relevant progress (hardware, software, tide gauge, GNSS equipment, data servers, database, web portal, know-how, data analyses, user needs…).

All these national (CNRS, Shom, IGN) or regional (Universities) institutions agreed to share resources and to publically distribute their data to the scientifically-based SONEL observing system. This was formalized by a consortium agreement signed in 2014 between all the parties. These institutions are all involved and active in the governance of the system. In addition, SONEL is now part of the Seashore and coastal research infrastructure (ILICO; www.ir-ilico.fr) which aims at coordinating the activities of coastal observing systems at the national level. ILICO took over the SOERE framework (which itself took over from the ORE framework). Its primary goal is to provide a national framework in which permanent observation activities of fundamental coastal parameters can be ensured over decadal to longer timescales. Being part of this national framework should thus ensure SONEL durability of its funding and hence observation activities.

Another strength of SONEL (which could rapidly turn into a weakness, however; see below), is that it relies on few but very trained, flexible and skillful people that make the system reactive and easy to manage. SONEL benefits from a strong technical support (technicians and engineers) from all the founders who actively participate to control the instrumentation on site and develop new instruments. SONEL also benefit from an almost full-time IT engineer, who has the critical task of the operational maintenance of the data flow, management and distribution, as well as the computing facilities. This IT engineer is also responsible for the web and data portal. It is a major strength to have a full control on the data workflow, from the acquisition to the distribution. It ensures reactivity in a rapidly evolving IT environment.

Even if accurate user statistics are extremely difficult to establish, in particular for an FTP anonymous server (which is the historical and still the main way to collect and distribute data from SONEL). An idea of the SONEL usefulness is given by the number of data files downloaded from our FTP server in June 2017: as many as 950,000 files were downloaded from the SONEL FTP server. Another idea of the importance of the service can be appraised from the number of visits of the SONEL website per month (Figure 6). Figure 6 shows a steady and significant increase of this number of visits.

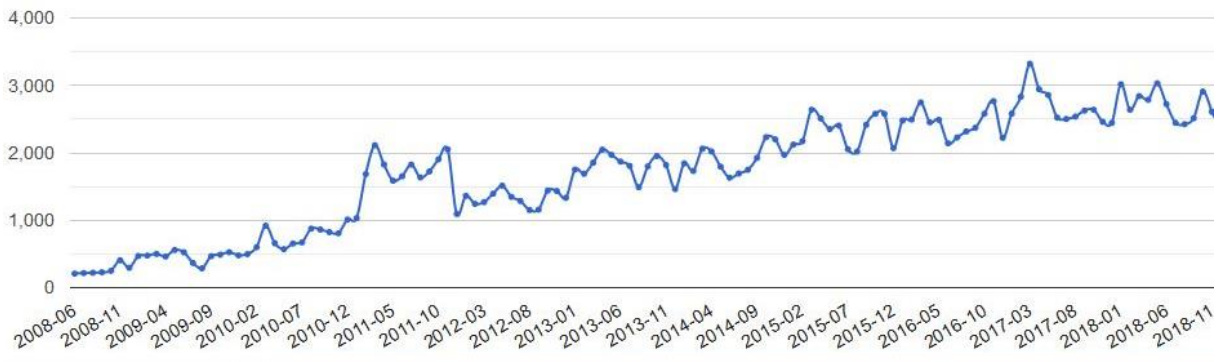


Figure 6: Number of monthly visits of the SONEL website (available at: http://www.sonel.org/-Statistics-.html?lang=en)

Besides the difficulty to establish accurate statistics, it is even more difficult to appraise the number of scientific studies that use data from SONEL. Figure 7 shows the number of articles published in peer-reviewed journals that explicitly quote SONEL (as far as the SONEL team knows). It certainly represents the tip of the iceberg. From the titles of the articles (a list can be viewed at http://www.sonel.org/-Users-feedback-.html?lang=en), it appears that in addition to sea level, the areas of tectonics, atmosphere and geodesy also benefit from SONEL data.

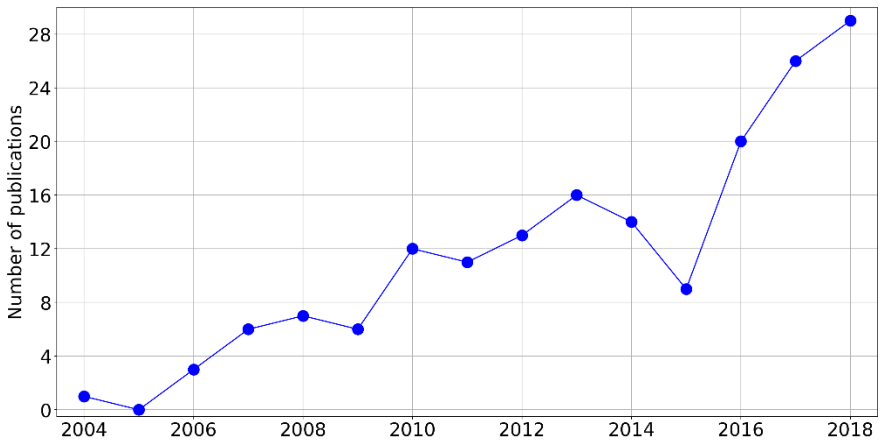


Figure 7: Number of scientific publications using SONEL data (as far as the SONEL team knows)

2. Weaknesses

An identified weakness of SONEL arises from its GNSS data processing strategy, especially because the challenging demand for precision and accuracy in a geocentric reference frame requires to reanalyze the entire observations whenever significant advances are achieved in one aspect of the data analysis strategy (e.g., satellite orbits, atmospheric propagation, antenna corrections, modelling of station displacements). SONEL relies on the so-called ULR analysis center whose computing facility is provided by the University of La Rochelle (ULR). The last ULR solution (ULR6) is based on a network that includes observations from as many as 757 GNSS stations globally distributed with data ranging from January 1995 to December 2014 (Santamaría-Gómez *et al.*, 2017). The estimated GNSS velocity field together with the mean station coordinates, the station position discontinuities and the residual position time series are provided in SONEL as part of its commitment to the International GNSS Service (IGS) for their second reanalysis campaign (Rebischung *et al.* 2016) and to the UNESCO/IOC Global Sea Level Observing (GLOSS) program (IOC, 2012). Because of the constraints in the data analysis strategy and the global (and large) network of stations, a single person is barely enough to cope with the numerous tasks associated with producing a reanalyzed GNSS solution. This translates into an ULR solution released a couple of years after the start of the reanalysis experiment, and the observations acquired during the reanalysis process are not included. Thus, there is a substantial delay/gap between the most recent available observations and the products of their analysis (e.g., time series of positions).

Secondly, another potential limitation is the spatial extent to which the tide gauge and the GNSS instruments are representative of sea- and land level changes. Indeed, both instruments can be affected by local processes that are not representative of the changes along the coastline. For instance, whenever the GNSS station is not directly installed on the very top of the tide gauge, it is necessary to monitor whether there is a local differential land motion at the 0.1-0.2 millimeter per year level. This can be achieved by repeated leveling connections for at least five years. Note that the availability of a unique initial geodetic connection is required for comparison to satellite altimetry data and calibration, or for unification of vertical reference systems on land (height systems) and sea (chart datums). However, for most tide gauges nearby a GNSS station, the leveling connections are missing (Gravelle *et al.* 2017). Woodworth *et al.* (2017) discuss this issue in detail.

Another important weakness of SONEL is some lack of visibility (and sometimes understanding), especially at the national level. This is primarily due to a lack of expertise and time to communicate on the objectives and the products.

3. Perspectives: demonstrative products (e.g., GNSS solutions)

SONEL has developed its infrastructure to be able to cope with multiple GNSS solutions, either from different groups using different data analysis strategies or from a given group which produces successive updated solutions. That said, only state-of-the art solutions at the time of submission can be considered; the minimum prerequisites being the adoption of the latest IGS-agreed models and corrections. Presently, only the ULR solutions are distributed on SONEL web-portal (Figure 8). However, the IGS working group TIGA is preparing a combined solution that should be available soon, and distributed via SONEL. There is also the perspective to include the GNSS solution (position time series and velocities) produced by the Nevada Geodetic Laboratory (Blewitt *et al.*, 2018) for the stations that are near tide gauges.

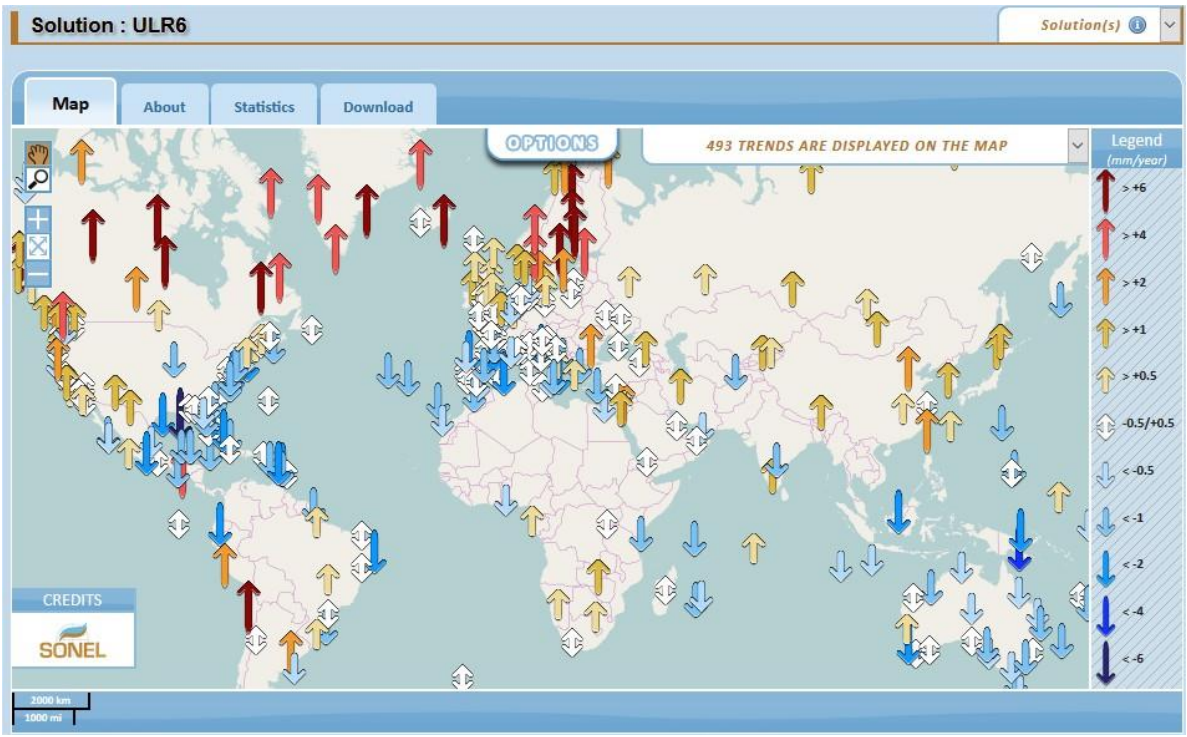


Figure 8: Display on a web-based clickable map of the GNSS vertical velocities from ULR6 solution http://www.sonel.org/-Vertical-land-movement-estimate-.html?lang=en

Another important perspective for SONEL is to transition from a double difference GNSS data analysis strategy (GAMIT/GLOBK software; Herring *et al.* 2018) to a Precise Point Positioning (PPP) strategy using the GINS software (Marty *et al.* 2011). We have started discussing this perspective with the French Spatial Agency (CNES), in particular the group that acts as operational IGS analysis center. This issue is raised by the trade-off between high-precision products and the shortest possible latency between observation (raw measurements) and product (position time series updates) for a global network of thousands of stations. Interestingly, DORIS solutions are envisaged from a recent contact with the IDS Combination Centre. The question whether absolute gravity may be provided has been considered as well, even though too few groups have invested on this costly but accurate geodetic method.

There are other perspectives that are considered within SONEL (not detailed here); for instance, regarding the spatial extent of tide gauge data using coastal satellite radar altimetry or GNSS data using InSAR methods (Poitevin *et al.* 2019).

IV- Scientific and societal impacts as concluding remarks

The data provided by SONEL support the study of sea- and land level changes, which clearly have far reaching and profound social, environmental and financial implications (Neumann *et al*. 2015). In a context of global warming and increased anthropization of the coastal areas, sea level rise has become a growing concern because of its anticipated impacts in terms of flooding, erosion, loss of land, increased damage from storm surges, saltwater incursion, agricultural problems, negative impacts on tourism (to quote some). Coastal population, assets and ecosystems are under threat of rising sea levels worldwide. However, what counts for human populations living in coastal areas is not just the climate-related sea level rise but the sea level rise relative to the solid Earth's surface (relative sea level). In other words, the threats to human populations from current and projected climate change-induced rise in mean sea levels can be exacerbated wherever the land is subject to coastal subsidence. This means that humans need not only to know the climatic component but also the vertical land motion at the coast. Knowledge of this solid Earth component is key for understanding contemporary changes in mean sea level, especially for providing insight into future changes at coastal sites and conveying a comprehensive picture to engineers and planners, so that the most appropriate steps can be taken to protect local infrastructure, and ultimately save lives and assets. SONEL aims at contributing to this knowledge with observational data from space geodesy, which requires theoretical and observational advances to reach the demand in precision and accuracy of its products.

Acknowledgements

SONEL is supported by the INSU/CNRS (SNO program) and the French alliance for the environment via the Seashore and coastal research infrastructure (IR-ILICO). The service is based on contributions from numerous institutions making tide gauge and GNSS data public and freely available. SONEL strives to acknowledge these contributions by including the names of these institutions and their contacts at the individual station web-pages on the SONEL portal. There is also a dedicated webpage on GNSS data providers (http://www.sonel.org/-Data-providers-125-.html?lang=en). In this respect, please don't hesitate to contact us to complete our database (Email: sonel@sonel.org).

References

Blewitt G., *et al*. (2010). Geodetic observations and global reference frame contributions to understanding sea-level rise and variability. In Understanding Sea Level Rise and Variability, edited by J. A. Church *et al*., pp. 256–284, Wiley, Chichester.

Blewitt G., W. C. Hammond, C. Kreemer (2018). Harnessing the GPS data explosion for interdisciplinary science, Eos, 99, https://doi.org/10.1029/2018EO104623. Published on 24 September 2018.

Bradshaw E., L. Rickards, T. Aarup (2015). Sea level data archaeology and the Global Sea Level Observing System (GLOSS). GeoResJ, 6, 9-16, https://doi.org/10.1016/j.grj.2015.02.005.

Carter W. E., *et al*. (1989). Geodetic fixing of tide gauge benchmarks. Woods Hole Oceanographic Institution, Tech. Rep., WHOI-89–31.

Carter W. E. (Ed.) (1994). Report of the Surrey workshop of the IAPSO tide gauge benchmark fixing committee. Report of a meeting held 13–15 December 1993 at the Inst. of Oceanog. Sci., Deacon Lab., NOAA Tech. Rep., NOSOES0006.

Donato V., N. Pouvreau, L. Testut, T. Donal, A. Coulomb, J-P. Barriot, G. Wöppelmann (2017). National Report of France to the XVth GLOSS Group of Experts Meeting, University of Columbia, New York (USA), 8-9 July 2017.

Gravelle M., E. Prouteau, G. Wöppelmann (2017). Progress Report on the GNSS at Tide Gauge Activities: SONEL Data Holdings & Tools to access the data. XVth GLOSS group of experts meeting, University of Columbia, New York (USA), 8-9 July 2017.

Herring T., R.W. King, M.A. Floyd, S. McClusky (2018). GAMIT Reference Manual, Release 10.7, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

Holgate S.J., A. Matthews, P.L. Woodworth, L.J. Rickards, M.E. Tamisiea, E. Bradshaw, P.R. Foden, K.M. Gordon, S. Jevrejeva, J. Pugh (2013). New data systems and products at the Permanent Service for Mean Sea Level. Journal of Coastal Research, 29, 493-504.

IOC (2012). The Global Sea Level Observing System Implementation Plan 2012. *Intergovernmental Oceanographic Commission Technical Series*, Vol. 100.

Marty J.C., S. Loyer, S., F. Perosanz, *et al.* (2011). GINS: the CNES/GRGS GNSS scientific software. 3rd Int. Colloq. Sci. Fundam. Asp. Galileo Program. ESA Proceedings WPP326.

Neumann B., A.T. Vafeidis, J. Zimmermann, R. J. Nicholls (2015). Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding-a global assessment. PloS one, 10(3), 0118571, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118571.

Poitevin, C., Wöppelmann, G., Raucoules, D., Le Cozannet, G., Marcos, M., Testut, L., 2019. Vertical land motion and relative sea level changes along the coastline of Brest (France) from combined space-borne geodetic methods. Remote Sensing of Environment 222, 275–285.

Pouvreau N. (2011). National coordination of the observation of sea level. Annales Hydrographiques, Vol. 7, Issue 777.

Rebischung, P., Z. Altamimi, J. Ray, B. Garayt (2016). The IGS contribution to ITRF2014. Journal of Geodesy, 90, 611-630.

Santamaría-Gómez A., M. Gravelle, S. Dangendorf, M. Marcos, G. Spada, G. Wöppelmann (2017). Uncertainty of the 20th century sea-level rise due to vertical land motion errors. *Earth and Planetary Science Letters, 473*, 24-32.

Testut L., G. Wöppelmann, B. Simon, P. Téchiné (2006). The sea level at Port-aux-Français, Kerguelen Island, from 1949 to the present. Ocean Dynamics, 56, 464-472.

Woodworth P. L., G. Wöppelmann, M. Marcos, M. Gravelle, R. M. Bingley (2017). Why we must tie satellite positioning to tide gauge data. Eos, Transactions of the American Geophysical Union, 98, https://doi.org/10.1029/2017EO064037.

Wöppelmann G. and M. Marcos (2016). Vertical land motion as a key to understanding sea level change and variability. Reviews of Geophysics, 54, 64-92.

II-9) GNSS (en preparation)

II-10) The DORIS system

Prepared by J. Saunier (IGN) and L. Soudarin (CLS)

December 2020

Introduction

DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite) is an uplink radio system based on Doppler shift measurement on a double frequency signal transmitted by ground stations and received by satellites.

The DORIS system was designed and developed in the 1980s by CNES and IGN with support from the Space Geodesy Research Group (GRGS) to meet new needs for precise orbit determination of Earth observation satellites. It includes instrument packages onboard the carrying satellites (antenna, receiver, oscillator), a ground tracking network of autonomous emitting stations distributed uniformly over the terrestrial globe, and a control and processing center.

The system was operational for the launch of the first user satellite SPOT-2 on January 22, 1990. Then the launch of TOPEX / Poseidon in 1992, marks the beginning of the essential role of DORIS in the satellite altimery missions of continuous surveillance of the oceans. The precision of the measurements obtained thanks to DORIS makes it possible to collect essential variables for the study of climate change, such as the very long series of mean sea level.

DORIS has also proven to be very useful for geodesy and geophysical applications. Technological and methodological improvements have made it possible to improve estimates of DORIS ground station positions, Earth rotation parameters and other geodetic variables such as geocenter and ITRF scale.

IDS, a service of the International Association of Geodesy, was created in 2003 to federate research and development relating to DORIS and guarantee users access to DORIS data and derived products.

DORIS infrastructure

The precise orbit determination of LEO satellites is based on a network of sixty stations homogeneously spread out around the Earth.

The centralized management (CNES / IGN) of this network makes it possible to control its development and gives it particular advantages, particularly for geodesy:

- Very homogeneous distribution of stations (half in the southern hemisphere)
- Durability: very long time series of station positions
- Co-location with other spatial geodesy techniques and tide gauges

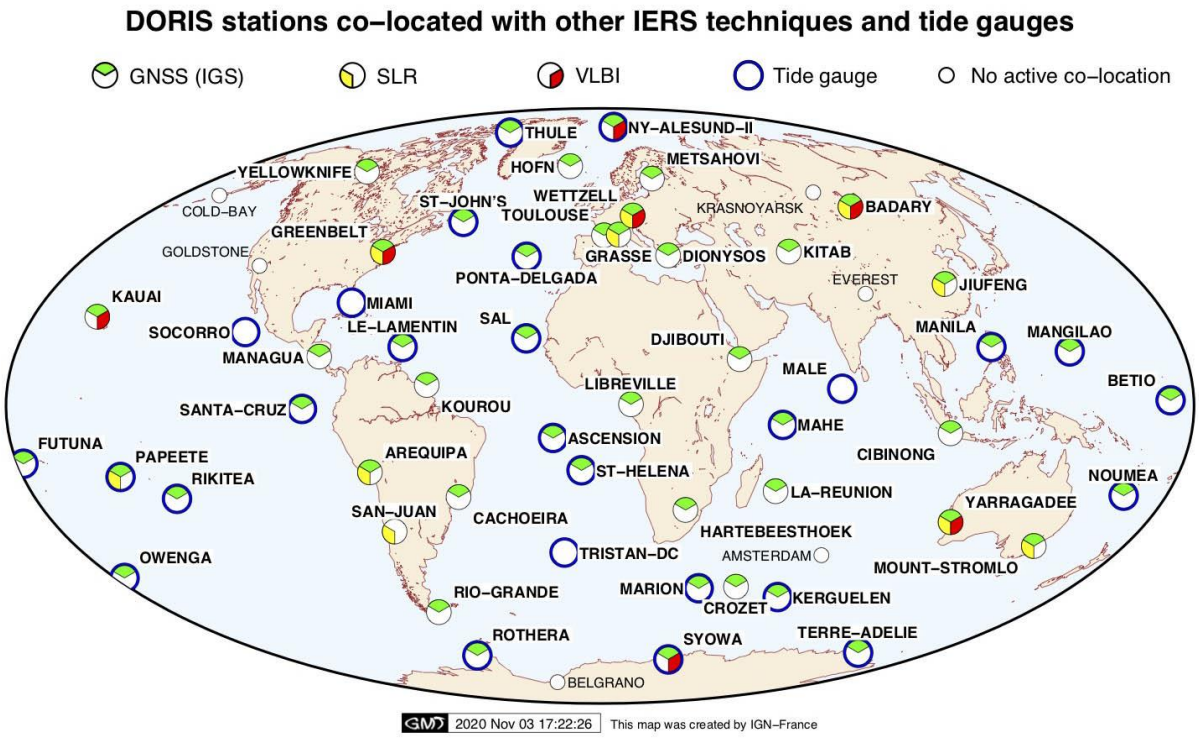
In addition, the close monitoring of the operational condition of the stations by CNES/IGN to meet altimetry requirements allows very good network availability.

All installation must comply with a number of stringent requirements including geographical location, RF environment, power supply reliability, housing conditions, view of the sky, monument stability, equipment fitting. Three standard monuments compliant with the DORIS system requirements and general geodetic specifications are used to fit all various site configurations: building roofs, concrete pedestals or pillars. A regular evaluation of the network has been implemented to ensure that the infrastructure meets the current objectives and provide a satisfactory service.

As regard the equipment, significant improvements have been made over time. Several generations of equipment were developed and deployed each time improving reliability, robustness and enhanced the quality of the positioning results: indeed, the capacity to track up to seven ground beacons simultaneously (DGXX receivers on-board from 2008) has increased the number and the directions of observations.

The 4th generation beacon has been under deployment since June 2019. With new architecture and up-to-date electronics, this new model comprises a signal amplifier at the foot of the antenna allowing a distance beacon-antenna up to 50m (15m previously) making it easier to satisfy the sky-clearance criterion for new or renovated DORIS sites. Likewise, the new generation of ground antenna "Starec C type" offers better repeatability and reproducibility: the position of phase center 2GHz is to ± 2mm.

Co-locating DORIS with other IERS technique (GNSS, SLR, VLBI) has always been a continuing effort during the development of the network for the sites selection. More than three quarters of the stations are co-located with at least another space geodetic technique : mostly with GNSS (48 sites) but also with SLR (10 sites) and VLBI (7 sites). IGN systematically carries out local tie surveys on the occasion of installations, renovations or dedicated visits on site. Furthermore, IGN maintains updated information about all available DORIS tie vectors with instruments identification, co-location dates, site survey date and estimated uncertainties : ftp://ftp.ids-doris.org/pub/ids/stations/DORIS_ext_ties.txt



DORIS data and products

IDS role

The International DORIS Service (IDS) plays a key role to federate the research and support geodetic and geophysical research activities through DORIS data and derived products.

The IDS collects, archives and distributes DORIS observation data sets of sufficient accuracy to satisfy the objectives of a wide range of applications and experimentations. From these data sets the following products are derived:

- Coordinates and velocities of the IDS tracking stations
- Geocenter and scale of the Terrestrial Reference Frame
- High accuracy ephemerides of the DORIS satellites
- Earth orientation parameters (EOPs)
-

The accuracies of these products are sufficient to support current scientific objectives including:

- Realization of global accessibility to, and the improvement of, the International Terrestrial Reference Frame (ITRF)
- Monitoring deformations of the solid Earth
- Monitoring crustal deformation at tide gauges
- Monitoring variations in the hydrosphere (sea level, ice-sheets, etc.)
- Orbit determination for scientific satellites

The IDS accomplishes its mission through the following components:

- Satellites carrying a DORIS receiver
- Network of tracking stations
- Data Centers
- Analysis Centers, Associate Analysis Centers and Analysis Coordinator
- Combination Center
- Working Groups
- Central Bureau
- Governing Board

ITRF contribution

The DORIS contribution to the ITRF began in 1993, when the network density was sufficient and the number of equipped satellites began to increase. The successive developments in the equipment, both on board and on the ground, have gradually improved the DORIS contribution. The miniaturization of the receiver made it possible to embark DORIS on more satellites and the 3rd generation of receiver (DGXX) was a major technological development for DORIS allowing simultaneous reception of the signal from 7 different stations.

Six IDS analysis centers using five different softwares contributed to the DORIS combination for ITRF2014 release. The combination is carried out with the help of the IGN CATREF software. DORIS contribution to ITRF essentially consists of providing:

- Time series of geocenter motion
- Earth Orientation Parameters
- Positions of DORIS stations

Data centers

DORIS data and products are stored at IDS Data Centers with open access:

- **CDDIS**: https://cddis.nasa.gov (authenticated access)
- **IGN**: ftp://doris.ign.fr et ftp://doris.ensg.eu

The IDS Central Bureau FTP site also contains useful data and information: ftp://ftp.ids-doris.org

Contact : ids.central.bureau@ids-doris.org

Site web : ids-doris.org

DOR-O-T webservice : ids-doris.org/webservice

Outlook and main challenges

Regarding the network infrastructure, the main challenges will be:

- DORIS / VLBI RF compatibility (on GGOS core sites): Installation specifications were established through compatibility testing at Greenbelt (2014), Wettzell (2015-16) and Papenoo (2017).
- Checking the stability of monuments: GGOS objective: 0.1 mm / year
- Maintaining a good level of service and network performance by continuing to renovate existing sites and set up new DORIS sites

DORIS constellation

16 missions were equipped with DORIS since 1990. Currently, we have 7 DORIS-equipped satellites:

Satellite	Sponsors	Alt. (km)	Inc. (°)	Dates	SLR, GNSS
Sentinel-6A	NASA/CNES/NOAA/EUMETSAT	1336	66.0	11/2020 – 2027+	S, G
HY-2C	CNSA/NSOAS	960	66.0	09/2020 – 2023+	S, (G)
Sentinel-3B	ESA/Copernicus	814	98.65	04/2018 - 2025+	S, G
Sentinel-3A	ESA/Copernicus	814	98.65	02/2016 – 2023+	S, G
Jason-3	NASA/CNES/NOAA/EUMETSAT	1336	66.0	01/2019 – 2021+	S, G
SARAL	CNES/ISRO	800	98.5	03/2013 - 2018+	S
Cryosat2	ESA	717	92.0	06/2010 – 2019+	S

The coming missions with DORIS on board secure DORIS future until 2032 (at least):

Satellite	Sponsors	Alt. (km)	Inc. (°)	Dates	SLR, GNSS
HY-2D	CNSA/NSOAS	960	66.0	05/2021 + 3y	S, (G)
SWOT	NASA/CNES	970	78.0	12/2021 + 3y	S, G
Sentinel-3C	ESA/Copernicus	814	98.65	12/2024 + 5y	S, (G)
Sentinel-3D	ESA/Copernicus	814	98.65	2025 + 5y	S, (G)
Sentinel-6B	NASA/CNES/NOAA/EUMETSAT	1336	66.0	2025 + 7y	S, G

IDS strategic plan

Following the IDS Retreat organized in 2018, a strategic plan for the coming years was drawn up. About twenty recommendations were presented to stakeholders during the DORIS steering committee (CNES / IGN) at the end of 2019. These recommendations relate to 3 main themes:

- Expanding the DORIS community
- Advancing technology
- Improving infrastructure and data processing

Some examples:

- Organize DORIS summer schools
- Increase the number of analysis centers
- Develop a combined DORIS-GNSS on-board receiver
- Use atomic clocks wherever possible to limit frequency bias
- Make the ground network denser to around 70 stations
- Reduce data latency to allow the development of NRT applications (ionospheric models)

References

Willis, P.; Lemoine, F.G.; Moreaux, G.; Soudarin, L.; Ferrage, P.; Ries, J.; Otten, M.; Saunier, J.; Noll, C.; Biancale, R.; Luzum, B., 2016. The International DORIS Service (IDS), recent developments in preparation for ITRF2013, IAG SYMPOSIA SERIES, 143, 631-639, DOI: 10.1007/1345_2015_164

Auriol A, Tourain C, "DORIS system: The new age", Advances in Space Research, Vol.46(12):1484-1496 (2010), DOI: 10.1016/j.asr.2010.05.015

Couhert et al., 2018, "Systematic Error Mitigation in DORIS-Derived Geocenter Motion", DOI: 10.1029/2018JB015453

Dettmering et al., 2014, "Using DORIS measurements for modeling the vertical total electron content of the Earth's ionosphere", DOI: 10.1007/s00190-014-0748-2

Moreaux et al., 2016, "The International DORIS Service contribution to the 2014 realization of the International Terrestrial Reference Frame", DOI: 10.1016/j.asr.2015.12.021

Moreaux et al., 2016, "Horizontal and vertical velocities derived from the IDS contribution to ITRF2014, and comparisons with geophysical models", DOI: 10.1093/gji/ggw265/j.crte.2011.02.002

Moreaux et al., 2019, "DPOD2014: A new DORIS extension of ITRF2014 for precise orbit determination", DOI: 10.1016/j.asr.2018.08.043

Saunier et al., 2016, "Initiating and error budget of the DORIS ground antenna position Genesis of the Starec antenna type C" , DOI: 10.1016/j.asr.2016.02.013

Štěpánek and Filler, 2018 "Cause of scale inconsistencies in DORIS time series", DOI: 10.1007/s11200-018-0406-x

Štěpánek et al., 2018, "Estimation of the Length of Day (LOD) from DORIS observations", DOI: 10.1016/j.asr.2018.04.038

A full list of articles related to DORIS published since 1985 is available on the IDS website at https://ids-doris.org/ids/reports-mails/doris-bibliography/peer-reviewed-journals.html

II-11) GGIM (en preparation)

Partie III - Annexes

Annexe III-1 Liste des contributeurs

Zuheir Altamimi

Claude Boucher

Pierre Briole

François Chirié

David Coulot

Bruno Garayt

Felix Perosanz

Thierry Person

Jérome Saunier

Pascal Willis

Guy Woppelmann

Annexe III-2 Références documentaires

Bureau des longitudes. Observer la Terre, Hermann, 2009

Claude Boucher, Pascal Willis et al, Les références de temps et d'espace. Un panorama encyclopédique: histoire, présent et perspectives, Hermann, 2017

INSU Services Nationaux d'Observation. Note de cadrage, 13 janvier 2016

INSU, Les services nationaux d'observation et les moyens nationaux labellisés, version actualisée 16 février 2016

Philippe Lognonné et al, Observation de la Terre et exploration planétaire. Le spatial en Sciences de la Terre et des Planètes. Prospective INSU CSST 2008

Annexe III-3 Références Web

Bureau des longitudes

https://site.bdlg.fr/

Comité national français de géodésie et géophysique (CNFGG)

http://site.cnfgg.fr/

International association of geodesy (IAG)

https://www.iag-aig.org/

International DORIS service (IDS)

https://ids-doris.org/

International Earth rotation and reference systems service (IERS)

https://www.iers.org/IERS/EN/Home/home_node.html

International GNSS service (IGS)

https://www.igs.org/

International laser ranging service (ILRS)

https://ilrs.gsfc.nasa.gov/

International VLBI service (IVS)

https://ivscc.gsfc.nasa.gov/

Permanent service of mean sea level (PSMSL)

https://www.psmsl.org/

Pole Terre solide (Formater)

https://www.poleterresolide.fr/

SONEL

https://www.sonel.org/?lang=fr

ISBN : 978-2-491688-08-0
ISSN : 2724-8372