

AA-ANO1 Métrologie de l'espace et du temps

Le but de cette Action Nationale d'Observation est l'établissement et le maintien des repères spatio-temporels. Cette tâche traditionnelle de l'astronomie relève d'activités contractuelles vis-à-vis de l'Etat et d'accords internationaux, notamment avec l'Union Astronomique Internationale et l'Union Géodésique et Géophysique Internationale. Outre le développement, l'utilisation et la maintenance des instruments au sol et dans l'espace, ainsi que la gestion et l'analyse des données nécessaires à chaque service, les activités relevant de l'ANO1 comportent :

- La réalisation et la mise à disposition de l'unité de temps, la seconde, et du temps français,
- L'élaboration des systèmes de référence terrestres et célestes et leur raccordement qui permet la mesure et l'étude de la rotation de la Terre, utiles à de nombreuses applications scientifiques et sociétales,
- La publication des données astrométriques et des éphémérides utiles à de nombreux organismes, au public ou aux astronomes eux-mêmes,
- L'établissement d'un système de référence vertical, essentiel notamment pour le suivi du niveau des mers et la gravimétrie.

Cette Action Nationale d'Observation à forte portée sociétale est en amont de pratiquement toute observation astronomique. Elle est intimement liée à la recherche fondamentale dans les domaines spécifiques qui la sous-tendent (astrométrie de haute précision, mécanique céleste, métrologie temps-fréquence, etc.). Elle se trouve aux interfaces avec les sciences de la Terre (physique interne, couches fluides, etc.) et avec la physique fondamentale (tests de la relativité générale, etc.).

OSU coordinateurs :

Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides, Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers, Observatoire de la Côte d'Azur, Observatoire de Paris.

Paramètres mesurés :

Temps ;

Paramètres de rotation de la Terre ;

Position des stations géodésiques de référence dans un repère terrestre global ;

Position des objets du système solaire incluant la Lune ;

Position des sources extragalactiques de référence.

Autres organismes associés : BIPM, Bureau des longitudes, CNES, ESA, EURAMET, GRGS, IGN, LNE.

Appartenance à un réseau international : International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS), International Laser Ranging Service (ILRS), International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS); ces services étant eux-mêmes intégrés au World Data System de l'International Council of Science (ICSU).

La liste des moyens et infrastructures entrant dans le cadre de l'Action Nationale d'Observation ANO1 se trouve dans la [base de données des services d'observation en Astronomie-Astrophysique](#).

AA-ANO2 Instrumentation des grands observatoires au sol et spatiaux

L'Action Nationale d'Observation ANO2 porte sur la capacité des OSU de concevoir, exercer la maîtrise d'œuvre, réaliser et assurer le fonctionnement d'instruments (en particulier focaux) pour les grandes stations d'observation nationales ou internationales au sol et les missions spatiales (observatoires, missions de relevés, exploration du Système Solaire). Il s'agit de moyens lourds, ouverts à l'ensemble de la communauté française, avec une forte visibilité internationale, et dont les données sont rapidement rendues publiques et donc accessibles à l'ensemble de la communauté. Même si cette Action Nationale d'Observation ne porte pas sur les instruments eux-mêmes, la liste des instruments qui entrent dans son périmètre est maintenue à jour par la CSAA et rendue publique.

La conception, la réalisation, la maintenance et les opérations d'instruments complexes au bénéfice d'une vaste communauté représentent une tâche lourde, contraignante, et de longue haleine. De 5 à 20 ans s'écoulent entre les premières phases de la réalisation d'un instrument et son utilisation qui ensuite s'étend, elle aussi, sur plusieurs années. La phase de réalisation instrumentale nécessite souvent, notamment dans le domaine spatial, un prolongement opérationnel avec des activités concernant la préparation des séquences d'observation, les opérations conduisant des données brutes aux données en grandeur physique, et leur mise en forme dans un format requis par l'agence spatiale responsable de la mission. Ces deux dernières activités peuvent se poursuivre pendant une durée limitée après la fin d'exploitation d'un instrument (un à deux ans typiquement).

Cette Action Nationale d'Observation se situe en amont de l'essentiel des recherches en astrophysique, et nécessite la participation active de chercheurs de haut niveau pour la définition, la réalisation, les tests, l'étalonnage et, le cas échéant, pour assurer le fonctionnement des instruments une fois construits. Elle peut comprendre les premières phases d'étude ainsi que des développements technologiques préparatoires (à distinguer de la R&D amont) qui conditionnent la maîtrise des performances de ces instruments ; ceci concerne en particulier les phases 0 et A des projets. *Ces activités préparatoires relèvent en priorité des personnels déjà en place dans les OSU.* L'Action Nationale d'Observation concerne également la fourniture de logiciels d'acquisition et de réduction de données.

Cette Action Nationale d'Observation est structurée selon quatre grands axes :

- **Instrumentation des télescopes et observatoires spatiaux**

- *Spécificités* : concepts optiques, analyse thermique, détecteurs et électronique associée, électronique et logiciel embarqués, etc. dans un contexte où de nombreuses activités sont sous-traitées dans l'industrie imposant un suivi des performances.
- *Champs d'action* : maîtrise d'œuvre, aspects système, études de faisabilité et de performance, réalisation d'instruments complets ou de sous-systèmes, intégration, tests et étalonnages, opérations et segments sol.
- *Distribution géographique* : laboratoires spatiaux dans les OSU suivants : Institut d'Astrophysique de Paris, Institut Pythéas, Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers, Observatoire de la Côte d'Azur, Observatoire des Sciences de l'Univers de Lyon, Observatoire Midi-Pyrénées, Observatoire de Paris, Observatoire des Sciences de l'Univers de l'Université Paris-Saclay.

- **Instrumentation pour l'exploration et les mesures in situ dans le système solaire**
 - *Spécificités* : identique à la catégorie ci-dessus avec de plus miniaturisation de composants et d'instrumentation en conditions extrêmes (particules, radiations, pressions, etc.).
 - *Champs d'action* : identique à la catégorie ci-dessus.
 - *Distribution géographique* : laboratoires spatiaux dans les OSU suivants : Institut Pythéas, Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers, Observatoire Midi-Pyrénées, Observatoire de Paris, Observatoire des Sciences de l'Univers EFLUVE, Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre, Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble, Observatoire des Sciences de l'Univers Nantes Atlantique, Observatoire des Sciences de l'Univers de l'Université Paris-Saclay, Observatoire de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines.

- **Instrumentation des grands télescopes et interféromètres optiques au sol**
 - *Spécificités* : haute résolution angulaire, haute dynamique, imagerie grand champ, spectroscopie multi-objets et à intégrale de champ, etc.
 - *Champs d'action* : maîtrise d'œuvre, aspects système, études de faisabilité et de performance, réalisation d'instruments complets ou de sous-systèmes, intégration, tests et étalonnages, développement de logiciels d'acquisition et de réduction de données.
 - *Distribution géographique* : laboratoires instrumentaux dans les OSU suivants : Institut Pythéas, Observatoire de la Côte d'azur, Observatoire Midi-Pyrénées, Observatoire de Paris, Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble, Observatoire des Sciences de l'Univers de Lyon, Observatoire des Sciences de l'Univers de l'Université Paris-Saclay.

- **Instrumentation des télescopes et interféromètres radio et sub-millimétriques au sol**
 - *Spécificités* : instrumentation hétérodyne, mitigation, réseaux phasés, caméras bolométriques, etc.
 - *Champs d'action* : identique à la catégorie ci-dessus.
 - *Distribution géographique* : laboratoires instrumentaux dans les OSU suivants : Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers, Observatoire de Paris, Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre.

Organismes associés : CEA, CFHT, CNES, ESA, ESO, ILT, IRAM

La liste des moyens et infrastructures entrant dans le cadre de l'Action Nationale d'Observation ANO2 se trouve dans la [base de données des services d'observation en Astronomie-Astrophysique](#).

AA-ANO3 Stations d'observation

Les astronomes ont à leur disposition des moyens lourds nationaux ou internationaux dont la gestion est une tâche souvent exigeante, et qui n'a pas de retour direct en termes de publications. Cette Action Nationale d'Observation comprend :

- la gestion des stations d'observation,
- les activités instrumentales qui leur sont propres,
- l'opération des instruments après leur mise en service,
- les actions amont qui visent la qualification et la protection des sites d'observation existants et futurs, dans toutes les fenêtres spectrales (optique, radio)

Par contre, les activités liées à la réalisation des instruments eux-mêmes n'entrent pas dans ce cadre et relèvent de l'ANO2.

Le soutien apporté à ces moyens, qu'ils soient sol ou spatiaux, par des détachements ou des mises à disposition dans les sociétés internationales permet d'en accroître le retour scientifique ; il comporte une dimension de service, parfois très lourde, qui correspond à l'une des missions du corps des astronomes.

La gestion de ces stations concerne non seulement les responsables de ces moyens d'observation, mais aussi tous les astronomes qui y participent pour une fraction significative de leur temps : par exemple les astronomes résidents (au CFHT ou à l'ESO) dont l'une des missions est d'aider les observateurs à utiliser au mieux le temps qui leur a été alloué. Il est donc vivement souhaitable de poursuivre et de renforcer la politique de détachements de longue durée dans les agences et sociétés internationales, qui permettent aux astronomes français d'intervenir dans la mise en place et l'exploitation des grands projets de la discipline.

OSU coordinateurs :

Institut Pythéas, Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers, Observatoire de la Côte d'Azur, Observatoire Midi-Pyrénées, Observatoire de Paris, Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre, Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble, Observatoire des Sciences de l'Univers de l'Université Paris-Saclay. *Autres établissements susceptibles d'accueillir des personnels CNAP :* sociétés internationales gérant les moyens lourds de l'astronomie (ESO, ESA, IRAM, CFHT).

Stations d'observation :

- Télescope Bernard Lyot au Pic du Midi,
- Télescope de 193 cm de l'Observatoire de Haute Provence,
- CFHT à Hawaii,
- Observatoires au Chili (ESO La Silla, ESO Paranal, ALMA Chajnantor , APEX),
- ALMA Regional Center France,
- SUV (Service aux Utilisateurs du VLTI),
- IRAM (radiotélescope de 30 m, NOEMA),
- Observatoire Radioastronomique de Nançay,
- LOFAR, NenuFAR,
- THEMIS,
- Virgo

Organismes associés : ESA, ESO, IRAM, European Gravitational Observatory, International LOFAR Telescope

Appartenance à un réseau international : OPTICON RadioNet Pilot

La liste des moyens et infrastructures entrant dans le cadre de l'Action Nationale d'Observation ANO3 se trouve dans la [base de données des services d'observation en Astronomie-Astrophysique](#)

AA-ANO4 Grands relevés, sondages profonds et suivi à long terme

Cette Action Nationale d'Observation couvre :

- la définition et la conduite de grands programmes d'observations d'ampleur internationale ayant pour but la cartographie du ciel dans différents domaines spectraux,
- le suivi temporel d'objets sur de longues échelles de temps,
- l'observation systématique de populations d'objets.

La mise à disposition de la communauté des données, de manière systématique et dans les délais les plus courts possibles, constitue la mission de cette Action Nationale d'Observation.

Les grands relevés et sondages profonds fournissent un relevé exhaustif des sources jusqu'à une certaine brillance limite et permettent l'étude à grande échelle de l'univers local et lointain, le recensement de nouveaux types d'objets et de leurs stades évolutifs. Ils permettent des mesures de variabilité dans l'espace et dans le temps (astrométrie, détection de supernovae, d'astéroïdes etc.). Les grands relevés hyper-spectraux fournissent quant à eux des cubes de données avec une dimension spectrale qui permettent une approche multi-traceurs des processus astrophysiques, en particulier en radio-astronomie. Le suivi temporel d'objets connus fournit des informations sur leurs caractéristiques physiques et leur environnement (e.g. objets du système solaire, oscillations et champs magnétiques stellaires, détection de planètes extrasolaires).

Les grands relevés sont donc une des principales sources des bases de données en astronomie. Ce sont des entreprises lourdes, à la fois par le volume des données à acquérir, et par le temps nécessaire à leur réalisation. Le temps de vie des données ainsi produites et archivées est plus long encore (plusieurs dizaines d'années).

Les activités concernées couvrent la préparation initiale, la définition, la réalisation du relevé proprement dit, la réduction des données, et leur mise à disposition. Par contre, la réalisation des instruments et leur opération relèvent de l'ANO2. Un suivi d'une partie des sources détectées sur des télescopes d'usage plus général est parfois nécessaire.

Paramètres mesurés :

Pour les grands relevés : Brillance du ciel à une ou plusieurs longueurs d'ondes ou cube hyper-spectral, d'où l'on peut extraire un catalogue conséquent de sources ponctuelles ou étendues. Le suivi d'une partie de ces sources permet d'obtenir d'autres paramètres (spectre ou décalage spectral par exemple). Pour le suivi temporel de sources : séries temporelles de spectres ou d'images sur une longue période.

OSU coordinateurs :

Institut d'Astrophysique de Paris, Institut Pythéas, Observatoire de la Côte d'Azur, Observatoire Midi-Pyrénées, Observatoire de Paris, Observatoire des Sciences de l'Univers en région Centre.

Organismes associés : CFHT, CNES, ESA, ESO

La liste des moyens et infrastructures entrant dans le cadre de l'Action Nationale

d'Observation ANO4 se trouve dans la [base de données des services d'observation en Astronomie-Astrophysique](#)

AA-ANO5 Centres de traitement, d'archivage et de diffusion de données

Les grands observatoires astronomiques au sol et spatiaux fournissent des volumes importants de données rendues publiques après une courte période d'exclusivité. Cette diffusion rapide à l'ensemble de la communauté vise à maximiser le retour scientifique d'investissements lourds. Cela n'a de sens que si ces données sont traitées, documentées et facilement accessibles pour être utilisées par une large communauté dans une vision intégrée des phénomènes observés. L'Action Nationale d'Observation ANO5 recouvre trois types d'activités : le traitement de données, leur archivage et la diffusion au sein de structures dédiées qui possèdent les expertises et ressources nécessaires. Documenter, valider et apporter de la valeur ajoutée aux données sont des éléments essentiels de ces activités.

- Le traitement des données recouvre le développement des chaînes de traitement systématique et la production de données de haut niveau pour la communauté.
- L'archivage assure la pérennisation des données produites sur des durées allant bien au-delà de la durée de vie des instruments.
- La diffusion repose sur une description standardisée des données pour en permettre l'accès et la manipulation facilitée via les observatoires virtuels et leurs développements.

Pour valoriser les observations, la communauté peut avoir besoin de données de référence issues de calculs théoriques, d'expériences, ou de simulations, accompagnés des outils nécessaires à leur exploitation. Pour la production de ces données, les besoins peuvent également concerner l'exécution à la demande de codes numériques reconnus d'importance pour la communauté. La production systématique de ces données, leur diffusion et leur documentation relèvent de l'ANO5, tout comme la maintenance et l'évolution de ces codes. De même, les activités de compilation de données et d'informations, entre autres issues de la bibliographie, relèvent de cette action nationale d'observation.

Pour garantir la qualité des services et assurer leur développement, leur évolution et leur haute disponibilité, les activités de l'ANO5 nécessitent des expertises et des moyens humains ainsi que matériels suffisants. Elles sont organisées par conséquent en structures à rayonnement international et s'inscrivent à la fois dans des pôles thématiques nationaux et des centres d'expertise régionaux.

Les centres d'expertise régionaux disposent de la masse critique suffisante et des expertises scientifiques et techniques requises pour assurer le développement, la maintenance et la pérennisation des services ANO5 au sein des OSU. Ces centres peuvent être multi-thématiques et devront disposer d'une structure de pilotage. Les pôles thématiques peuvent être répartis entre plusieurs OSU et sont développés au sein de différents centres d'expertise régionaux. Ils regroupent au niveau national les services ANO5 d'une même thématique et doivent être pourvus d'une structure de pilotage.

OSU coordinateurs :

Ecce Terra, Institut de Mécanique Céleste et de Calcul des Éphémérides, Institut Pythéas, Observatoire Astronomique de Strasbourg, Observatoire Aquitain des Sciences de l'Univers, Observatoire de la Côte d'Azur, Observatoire des Sciences de l'Univers de Lyon, Observatoire Midi-Pyrénées, Observatoire de Paris, Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble,

Observatoire des Sciences de l'Univers OREME, Observatoire des Sciences de l'Univers de l'Université Paris-Saclay.

Organismes associés : CFHT, CNES, ESA, ESO, IRAM

Appartenance à un réseau international : Les centres de données sont développés en partenariat avec des structures européennes et internationales (Europlanet, IHDEA, IPDA, IVOA, SPASE, VAMDC) et dans le cadre de projets (par exemple Horizon 2020).

La liste des moyens et infrastructures entrant dans le cadre de l'Action Nationale d'Observation ANO5 se trouve dans la [base de données des services d'observation en Astronomie-Astrophysique](#).

AA-ANO6 Surveillance du Soleil et de l'environnement spatial de la Terre

Les phénomènes se produisant à la surface du Soleil, dans le vent solaire ou dans l'environnement ionisé de la Terre, ainsi que les objets géocroiseurs et les débris en orbite sont susceptibles d'affecter les performances et la fiabilité de dispositifs sol et spatiaux, et de mettre potentiellement en danger la santé humaine. L'évolution vers une prévision opérationnelle et la surveillance systématique de ces phénomènes fait l'objet d'intenses développements dans beaucoup de pays, particulièrement en Europe dans le cadre du programme S2P (*Space Safety Programme*) de l'ESA (anciennement appelé *Space Situational Awareness* ; SSA). Les retombées scientifiques sont importantes, en particulier sur la compréhension des cycles solaires, sur la physique des relations entre l'héliosphère et la Terre, sur la dynamique de l'environnement spatial de notre planète, y compris la nature des astéroïdes, comètes, météoroïdes. L'étude des phénomènes d'origine solaire avec la mise en place d'outils pour leur prévision constitue un champ appelé météorologie de l'espace. Leur surveillance à long terme fournit les données nécessaires pour explorer la climatologie de l'espace, notamment la contribution potentielle de l'activité solaire à l'évolution du climat sur Terre.

Cette approche systémique des relations Soleil-Terre ainsi que les développements scientifiques en amont d'outils à caractère opérationnel constitue le périmètre de l'Action Nationale d'Observation 6 (ANO6) de l'INSU. L'ANO6 a une forte portée sociétale puisque les implications sont à la fois économiques et humaines.

Il existe trois grandes sources de perturbations externes de l'environnement terrestre. Deux sont d'origine naturelle et une est d'origine humaine :

- L'activité solaire, qui est responsable de perturbations dans tout le spectre électromagnétique, d'émissions de particules de haute énergie, d'éjections de masse coronales, de vents solaires rapides ainsi que des régions d'interaction associées. Elle provoque des orages géomagnétiques dans l'environnement spatial de la Terre, ce qui déstabilise les ceintures de radiation, génère des flux de particules énergétiques, modifie les propriétés de l'ionosphère et de la thermosphère et engendre des courants induits à la surface de la Terre. In fine, ces orages engendrent des perturbations dans certaines infrastructures (satellites, pipelines, réseaux électriques) et dans les systèmes de communication terrestres (communications HF, système de positionnement GNSS) ;
- Les astéroïdes, comètes et autres météoroïdes susceptibles d'entrer en collision avec la Terre ;
- Les débris d'origine artificielle, qui représentent un risque croissant de collision pour les véhicules en orbite et pour la présence de l'homme dans l'environnement spatial.

Activités de service relevant de l'ANO6 :

Concernant les trois sources de perturbations citées ci-dessus, tous les aspects contribuant à une action prioritaire et récurrente de surveillance et de prévision de cet environnement terrestre font partie des activités relevant de l'ANO-6. Cela concerne en particulier :

- Le développement d'instruments de mesure sol et espace dédiés aux activités de météorologie de l'espace ainsi qu'au suivi de géocroiseurs, débris et météoroïdes ;
- Les activités continues et systématiques de mesure, de caractérisation en temps réel et/ou sur de grandes échelles de temps, du Soleil et de l'environnement spatial de la Terre, depuis le sol ou depuis l'espace ;
- La prévision de l'activité solaire et des conditions de l'environnement spatial de la

Terre, avec le développement des modèles et de chaînes de modèles nécessaires pour mieux comprendre les phénomènes en rapport direct et prévoir l'impact des perturbations qu'ils peuvent engendrer ;

- La production d'indices géophysiques ou solaires et de toute autre grandeur caractéristique utile à la météorologie de l'espace ;
- La surveillance des objets géocroiseurs, débris et météoroïdes, avec le suivi et la caractérisation des objets, la gestion des bases de données orbitales et physiques nécessaires à la prévention des risques, et la prévision des rencontres avec les essaims météoritiques ;
- La mise à disposition de la communauté scientifique et éventuellement d'utilisateurs non-académiques ou industriels des produits pertinents.

Paramètres mesurés ou modélisés :

Indices d'activité solaire ; images multi-longueurs d'onde du Soleil entier et spectres électromagnétiques ; magnétogrammes du Soleil ; mesures du rayonnement radio émis par le Soleil ; mesures in situ du plasma dans le vent solaire ou dans l'environnement de la Terre ; mesures plasma, neutre et électrodynamique de la haute atmosphère et ionosphère terrestre champ et indices géomagnétiques indices ionosphériques (e.g. scintillations) ; flux de particules énergétiques ; positions et trajectoires de petits corps géocroiseurs du Système Solaire et de débris artificiels ; caractéristiques des météores.

OSU coordinateurs : École et observatoire des sciences de la terre de Strasbourg, Institut Pythéas, Observatoire Midi-Pyrénées, Observatoire de Paris, Observatoire des Sciences de l'Univers de l'Université Paris-Saclay.

Organismes associés : CNES, ESA, France Télécom, IPEV, IRSN, Météo-France, NASA, ONERA.

Appartenance à un réseau international : Certains services sont intégrés dans le World Data System (WDS) de l'International Council of Science (ICSU), NMDB (Neutron Monitor DataBase), S2P (ESA, Space Safety Program), MPC/IAU (Minor planet center de l'UAI). Les projets de coopération européenne ont largement contribué à développer les activités de surveillance et d'applications.

La liste des moyens et infrastructures entrant dans le cadre de l'Action Nationale d'Observation ANO6 se trouve dans la [base de données des services d'observation en Astronomie-Astrophysique](#).