PROSPECTIVES IN2P3-IRFU

GR 17 : INTERFACE AVEC LES SCIENCES DE LA TERRE ET L'ENVIRONNEMENT

Groupe de travail : Remy Barbier (IPNL), Vincent Breton (LPC ClFer), C. Cârloganu (LPC ClFer), O. Corpace (SIS), Jean Duprat (CSNSM), Cécile Engrand (CSNSM), Stéphanie Escoffier (CPPM), I. Giomataris (SPP), Imad Laktineh (IPNL), C. Landesman (Subatec), Thierry Lasserre (SPP), Jacques Marteau (IPNL), Francois Montanet (LPSC), Fabrice Piquemal (Modane), Pierre Salin (Villefranche), Thierry Stolarczyk (SPP), Alessandra Tonazzo (APC), Claude Vallée (CPPM), George Vasileiadis (LUPMontpellier)

1 INTRODUCTION

Q % % % %Y % % % %sont par essence confrontées à des défis croissants face aux questions toujours plus exigeantes et quantitatives posées par la communauté scientifique et % % % 3% % % 1% % % % % 1% % des effets potentiellement de plus en plus dévastateurs des tremblements de terre ou des éruptions volcaniques liés au peuplement croissant des régions à risque demandent des études approfondies, inter-disciplinaires et sur des périodes de plus en plus longues.

La réponse apportée à ces besoins par l NS Z%http://www.insu.cnrs.fr/. 1%institut du CNRS qui a % % % % % % % % % % % % % Terre, de l'océan et de l'atmosphère a conduit à plusieurs développements notables:

- La création des Observatoires des Sciences de l'Univers (OSU), dont la mission première de surveillance et de prévision des phénomènes naturels en Géophysique, est complétée par la mise en place de programmes en vue de l'exploitation et la protection du milieu océanique dans une perspective pluridisciplinaire en Océanographie. Ces observatoires ont également la vocation de pérenniser l'acquisition de données d'observation et de la combiner avec le développement et l'exploitation de moyens appropriés.

- La mise en place des programmes nationaux, subventionnant de projets ambitieux qui ont nécessité des approches multi-disciplinaires, multi-organismes, souvent organisées à un niveau international, couplant observation, expérimentation et modélisation à toutes les échelles de temps et d'espace.

Dans le cadre de la prospective INSU (2008-2013) pour les Sciences de la Terre, une **approche globale** est préconisée pour la compréhension et la prévision du % % % % % système Terre dans son environnement, ainsi que pour la prévision et prévention des risques naturels et environnementaux à court, moyen et long termes. **Le besoin de mesures physiques et environnementales sur de longues échelles de temps est souligné, ainsi que la nécessité de développer des outils de traitement et d'analyse de gros volumes d'observations**, de plus en % % % 1% % % % % % % % % % 3% % % % % % % % % % % ils numériques pour la simulation % % % % % % % % % % % % % % % 3

Des conclusions tout à fait équivalentes ressortent des Journées de prospective pour la physique de % % % % % %7566 1% % % % % % % % % % % % modélisation de la Terre ont été reliées à des mesures multi-sondes à très longue durée, comme

% % % % % %F N% % % % l'amélioration de la connaissance des processus et des mécanismes qui interviennent, l'amélioration des modèles, le couplage des modèles avec les observations (incluant l'assimilation et l'optimisation des paramétrisations des modèles) et les comparaisons entre modèles et données.

La modélisation et la simulation numérique des systèmes géologiques en particulier restent insuffisantes. Les processus physiques et leurs interactions, sont parfois incomplètement compris. La connaissance des milieux géologiques reste incomplète à certaines échelles. Le besoin est clairement % % % % % % % % % % % % % % % % matière de calcul intensif et de traitement de données pour :

- renforcer leur mutualisation et leur intégration dans la pyramide de ressources au niveau national et européen,
- % % % % % % % % % % % % % % % % % %Y 1
- mieux structurer la communauté et permettre les développements méthodologiques de % % % % % % % % % % % % % intensif au niveau national et européen.

H % % % % % % % % % % % également prendre en % % % % % % %L WNQJ % 1% % % % % 1% % % % % % %N % %o % % %HSW 3

Dans cette mouvance INSU vers des approches globales, avec des mesures de longue durée in situ, % % % % % % % % 1% % % % IN2P3/IRFU-INSU sont multiples. Le savoir-faire des équipes de l'IN2P3 % %NWKZ en matière de détection, d'analyse et de simulations numériques est particulièrement visible sur ces recherches transverses, dont la dynamique profite des développements permanents menés dans le cadre des expériences auprès des accélérateurs ou hors accélérateurs :

- Les transferts de technologie et de savoir-faire, tant sur la partie instrumentale que sur plan méthodologique sont tout fait naturels, conduisant à la mise en place de nouvelles techniques de mesures. H % ment le cas de la tomographie des structures géologiques avec des muons atmosphériques ou des mesures de faible radioactivité pour IN2P3, ainsi que les projets ICOS et FORFIRE %NWKZ 3 N% % % % % % % %engagés qui continueront naturellement.
- Les observatoires astro-particules pérennes in situ deviennent ou peuvent devenir, avec des investissements minimaux et une approche interdisciplinaire bien coordonnée pour la gestion des moyens, également des observatoires des sciences de la Terre. MEUST est un exemple % % % % % % % % % %la Mer. Le LSM est également devenu au cours du temps une plate-forme multidisciplinaire qui accueille des expériences de N$ Z% %N$ J J% % 1% % -électronique et de biologie qui nécessitent des conditions de très basse radioactivité. Dans % % F 1% % % % % % exploitée initialement, mais des groupes de travail communs INSU-IN2P3 se mettent en place % % % % % % % % % % % % % % % % 3(% % % %mixtes dédiés aux études atmosphériques sont déjà en place pour des futures expériences comme CTA, même si la composante INSU pourrait être renforcée. Il serait opportun que les futurs observatoires puissent structurer leurs activités pluri-disciplinaires en s'inspirant de l'expérience acquise par AUGER & HESS et de leurs contacts à l'INSU. Ceci pourrait passer par des revues de projets dédiées auxquelles seraient invitées des experts des aspects pluri-disciplinaires par exemple. Des développements communs sur les moyens informatiques liés à la gestion des grands volumes de données et à leur traitement sont également possibles. Ce dernier axe est développé plus en détail dans un autre groupe de travail.

A l'heure actuelle plusieurs activités se développent ou abordent une phase de "consolidation" autour de thématiques communes IN2P3/IRFU-INSU et permettent de mettre en évidence la complémentarité mentionnée ci-dessus. N% % % % % % % de collaboration bien formalisés % %institut %HSW 1% N$ J J% ?4 3 3 4 4, qui a pour vocation % % % % % % % écologie globale, même si des synergies existent.

Les chapitres suivants mettent en relief les caractéristiques des projets actuels, leurs développements futurs ainsi qu'une prospective globale pour l'interaction IN2P3/Irfu-Sciences de la Terre.

2 LES DIFFERENTES THEMATIQUES - SITUATION ACTUELLE ET PERSPECTIVES

2.1 SCIENCES DE LA TERRE

2.1.1 GEOSCIENCES, VOLCANOLOGIE

Contributeurs : C. Cârloganu, J. Marteau, S.Gaffet

Les Sciences de la Terre et de l'Environnement sont par essence confrontées à des défis croissants face aux questions toujours plus exigeantes et quantitatives posées par la communauté scientifique et la société en général. Le volcanisme et la prévention des aléas volcaniques permettent d'appréhender [illegible] économiques et sociétales. Le [illegible] les infrastructures terrestres locales et mettent en danger des populations. Environ 500 millions de personnes vivent dans des régions affectées par des risques volcaniques et nou [illegible] jour des moyens efficaces pour minimiser les effets des éruptions, malgré des systèmes de surveillance de plus en plus sophistiqués. En particulier les territoires français sont soumis à un important risque sismique et volcanologique en métropole (dans une moindre mesure), et dans les [illegible] T [illegible]-mer qui abritent 3 volcans actifs : Piton de la fournaise (Iles de la réunion), Montagne Pelée (Martinique), Soufrière (Guadeloupe). La Montagne Pelée a ainsi causé la mort de 30.000 personnes en 1902-1905 (première cause de mortalité par catastrophe naturelle en France) et la Soufrière a connu des épisodes éruptifs récents (1976-1977).

Les volcans actifs sont des systèmes très complexes, hautement non-linéaires, faisant apparaître de nombreux régimes de fonctionnement. Ils peuvent se réveiller rapidement ou changer de régime [illegible] rigine (type de magmas, débits de magmas), par le réservoir de magmas, la géométrie des conduits, etc. Cette complexité nécessite la mise au point d'instruments et/ou de techniques d'exploration, d'analyse de données ou d'imagerie visant à améliorer la compréhension du fonctionnement des volcans et de contraindre les modèles actuels, pour élargir le panel des paramètres à disposition des observatoires et favoriser l'observation et la prédiction. La tomographie avec des muons atmosphériques est une de ces méthodes novatrices.

Le principe de la méthode est le suivant : un détecteur de muons est placé sur un versant du volcan et [illegible] verticale locale (zénith) et dans le plan horizontal (azimut). Ce flux [illegible] pendant leur propagation dans la roche. Cette atténuation est déterminée par le parcours géométrique des muons dans la roche, calculable avec une bonne précision si un modèle précis de la forme [illegible] en fonction de leur zénith et azimut permet la réalisation [illegible]

U [illegible] éruptions volcaniques et des risques associés fait appel à de nombreuses spécialités des sciences de la Terre : tectonique, sismologie, géodésie, physique des roches, géochimie, hydrologie, mécanique des fluides ..., avec des approches complémentaires et des instruments variés. Les méthodes existantes à l'heure actuelle présentent des limitations intrinsèques à la méthode (par exemple l'analyse des champs de potentiel, gravimétrie, souffre par essence de non unicité) ou aux paramètres physiques des roches étudiées (comme la résistivité électrique par exemple qu'il est en outre difficile [illegible] de méthodes d'imagerie toujours plus performantes, tridimensionnelles, pour ausculter l'intérieur de la Terre et en caractériser les structures et leurs changements. La R&D en tomographie par muons atmosphériques doit permettre d'installer dans le paysage de la volcanologie une approche

complémentaire et pérenne permettant autant de mieux contraindre des modèles de structure et % % % %, % % % % % % % % % % des réseaux de surveillance des volcans actifs. IN2P3 participe à deux projets visant au % % % % % % : DIAPHANE et TOMUVOL.

Les applications de la tomographie muonique ne se limitent pas à la volcanologie. En fournissant des cartes de densi % % % % % % % % % % % % % % % environnementales. Elle permet notamment de quantifier des risques en géologie, principalement la % % % % % % % % % % . stabilité des tunnels, des glissements de terrain, endommagement, instabilité des falaises et cônes volcaniques). Q % % % % % % % % % % % % % % % % % % % par compactification du massif. La présence des nappes phréatiques peut être identifié également. Un troisième projet IN2P3, T2DM2, se concentre essentiellement sur ces études environnementales.

DIAPHANE : tomographie en site souterrain et aux petites Antilles

Le projet DIAPHANE de tomographie par muons cosmiques a démarré en 2008 par une collaboration tri-partite IPG Paris-IPN Lyon-Géosciences Rennes, sur un choix de technologie de détection et une approche globale du problème incluant la gestion des conditions de terrain extrêmes régnant sur les pentes des volcans tropicaux. Les cibles visées dans le projet sont naturellement des volcans mais aussi des réservoirs karstiques, des tunnels, des falaises ou la couverture géologique de sites de stockage souterrains de déchets nucléaires ou de CO_2.

La première phase du projet, cofinancée par un BQR IPGP, un volet de dossier ANR (volet WT 1.3 du projet DOMOSCAN) et le programme Astroparticules P&U de l'IN2P3, a permis :

- la validation du concept de capteurs autonomes sur réseau mis en oeuvre dans les télescopes
- la validation de la technique de détection (scintillateurs plastiques à lattes lus par fibres à décalage de longueur d'onde et fibres claires)
- le choix des photo-détecteurs (photo-muliplicateurs segmentés 64 canaux et R&D pour une évolution vers les MPPC)
- le choix de l'électronique de lecture (chaîne d'acquisition du trajectographe d'OPERA)
- la réalisation des bâtis mécaniques articulés pour orienter les détecteurs
- la mise au point de l'environnement des détecteurs (panneaux solaires, wifi, géodésie etc)

Cette étape de validation s'est concrétisée par la réalisation de 3 télescopes actifs de trois plans chacun pour pouvoir effectuer un filtrage actif du niveau de bruit ambiant important et réduire les coïncidences fortuites à un niveau compatible avec la détection d'événements rares (les taux de muons traversant plusieurs centaines de mètres de roche étant plusieurs ordres de grandeur en dessous des taux à ciel ouvert). Ces télescopes ont été exposés sur quatre sites différents :

- le laboratoire souterrain du Mont-Terri pour le commissioning in-situ d'un téléscope par l'étude de couches géologiques bien contraintes (décembre 2009-maintenant)
- l'Etna (juin-septembre 2010)
- la Soufrière de Guadeloupe, site dit de la Ravine Sud (juillet 2010-mars 2011) puis site dit de la Roche Fendue (mars 2011-maintenant)

La qualité des images obtenues révèlent le potentiel important de la technique. Une itération est en cours pour la compréhension plus fine du détecteur et de ses systématiques et une optimisation de l'inversion du problème (obtention des cartes de densité).

Cette première phase exploratoire (2008-2011) s'est conclue par la soutenance de la première thèse sur le sujet (IPGP, décembre 2011) et doit se poursuivre dans le cadre de campagnes de mesures systématiques en plusieurs points différents, de surveillance de sites potentiellement dangereux et de campagnes exploratoires sur des volcans actifs en éruption (soufrière de Montserrat). En termes techniques, l'extension du programme s'appuie sur une jouvence de l'électronique digitale et une

amélioration de ses performances, développement commun avec les programmes HEP OPERA et T2K. Le but de cette phase de consolidation est la possibilité d'intégrer les télescopes à muons dans le cadre des observatoires Sciences de la Terre par un transfert total de compétences et de technologie.

La collaboration repose sur les trois entités initiales : IPGP, IPNL, Université de Rennes avec une extension progressive vers l'APC (thématique géoparticules).

T2DM2 : Tomographie Temporelle de la Densité par la Mesure des Muons

Les objectifs scientifiques du projet Y7I R7% % % 3% % % .% % % % % 1% % % % % % % % % % % % mécaniques. Ces effets se traduisant par des variations temporelles de densité spatialement % % %pour la tomographie utilisant la mesure des flux de muons pour une détermination directe de la densité des roches. Le principe de détection est une Chambre à Projection Temporelle (TPC) lue par des détecteurs Micromegas-Bulk.

Le projet T2DM2 a commencé avec les financements du CNRS (appels à projet de P&U- de l'IN2P3-INSU) en 2008 et 2009, du laboratoire GEOAZUR, de l'Université de Nice - Sophia-Antipolis, de l'Observatoire de la Côte d'Azur et du LSBB. Ces fonds nous ont permis d'intégrer la collaboration RD51 du CERN pour le « développement technologique des détecteurs gazeux à Micro-Pattern ». Cette collaboration a permis à T2DM2 de définir et construire un télescope prototype afin de tester et de définir les processus et protocoles expérimentaux, garantissant notamment la pérennité du mélange de gaz utilisé dans les télescopes équipés de TPC Micromegas (EGU 2011) et démontrant la faisabilité d'observation à long terme pluri annuelle.

Au-delà de T2DM2, l'objectif est de créer un réseau de télescopes qui sera installé et utilisé au dans une première phase en tant que démonstrateur méthodologique au Laboratoire Souterrain à Bas Bruit (LSBB, http://www.lsbb.eu) avant son exploitation future dans d'autres ouvrages et espaces souterrains et pour la surveillance de falaises instables et de mouvements gravitaires. Dans ce contexte, nous présentons une demande de financement à EPIC-OSEO avec le soutien du pôle compétitivité TRIMATEC (http://www.pole-trimatec.fr), demande en cours de montage en 2011.

Pour réaliser ce projet, la collaboration allie les expertises de plusieurs partenaires :

- GEOAZUR (UNS/CNRS/OCA) Responsable scientifique et chef de projet - Détecteurs de particules, modélisation et imagerie géophysique,
- CPPM (Univ. Aix-Marseille II) Modélisation des interactions muons-matière, caractérisation du flux de muons en surface,
- Irfu (CEA) Inventeur des Micromegas, certification des procédés industriels de production des Micromegas dans RD51,
- RD51 (CERN) Collaboration internationale pour le développement technologique des détecteurs gazeux à micro-structure,
- GM (Univ. Montpellier II) Caractérisation gravimétrique et modélisation des masses fluides,
- EMMAH (Univ. Avignon) Caractérisation hydrogéologique des transferts de masses fluides.

TOMUVOL : Tomographie avec des Muons Atmosphériques des Volcans

TOMUVOL est une collaboration LPC/IPNL avec le Laboratoire Magmas et Volcans (LMV) de Clermont K 1% % % % % % % % % 1% % % une technologie de détecteur mise au point dans le cadre de la collaboration CALICE/ILC (chambres GRPC) et les méthodes de détermination des flux de particules cosmiques % % % ANTARES.

Q % % %

Q % % - %% % % % % %%55: % % %P QF SI % %O 1%
et une mesure plus précise de leur flux total (au-dessus du seuil de détection) a été fournie en 2010
% %G % %Q %S % %L % % %N 1% % % %
KamLAND. La prochaine étape sera la mesure du rapport moyen U/Th, dépendant du site de
% % % % % % % % % restre.

Les futurs détecteurs pour les géo-neutrinos devront être de très grande taille, pour collecter une statistique plus élevée et accéder à des analyses spectrales. LENA (Low Energy Neutrino Astrophysics) sera un détecteur de 50 kt de scintillateur liquide, proposé pour être installé à Pyhäsalmi en Finlande ou au Fréjus. Il pourra mesurer le flux total de géo-neutrinos au % et le rapport U/Th dans la croute à 5-35% (selon le lieu et la durée de la prise de données).

Toutes ces expériences pourront accéder principalement aux géo-neutrinos produits dans la croûte
3%Z % % % % %Z4Y % % % % % % % %
nouveau détecteur à un endroit où la contribution de la croûte terrestre est moins importante (comme dans le cas du projet Hano-M % % % % % % % M .1% % % %
mesure de la direction des neutrinos.

La détection des géo-neutrinos du ^{40}K sera possible uniquement avec des nouvelles techniques expérimentales qui demandent une R&D dédiée.

2.2 PHYSIQUE DE L'ATMOSPHERE

Contributeurs : François Montanet(LPSC Grenoble), Karim Louedec (LPSC, Grenoble), George Vasileiadis (LUPM)

Intervenants extérieurs : Rémi Losno (LISA, Créteil), Aurélie Colomb (LAMP, Clermont Ferrand)), Karine Sellegri (LaMP/OPGC, Clermont Ferrand)

2.2.1 AUGER

QT %U %F 1% % % % % %R % %F % % % % %
détecteur de rayons cosmiques jamais construit et réalise actuellement de grandes avancées dans la connai % % % % % % % % % % -haute énergie. Cet observatoire est aussi le premier à développer une technique de détection hybride, basée sur des détecteurs de surface et des télescopes de fluorescence, ce qui lui permet d'atteindre une précision et des performances sans précédent. Durant les nuits claires sans Lune (un peu plus de 10% du temps),
% % % % % -dessus du réseau Auger. Chaque station contient six télescopes, conçus pour récolter la lumière produite par les gerbes atmosphériques. Les cuves au sol détectent les particules (principalement muons, électron, positrons et photons) atteignant le sol, alors que les télescopes récoltent la lumière de fluorescence émise lors de la désexcitation du diazote.
J % 1% % % % % % % % % 1% % % %% %
produits excitent les molécules de diazote qui émettent ensuite une lumière de fluorescence de
% % % % % % %855% 430 nm.

Q % % % % % % % % % % % % % % % % %
1% % % % % % 3% % % % % % % % % %
systématiques sur les mesures par fluorescence, la Collaboration Auger a développé un important
% % % % 3F 1% % % % % % % % % %8555% % %
détecte %F 1% % % % % % % % % % % % % e : 2 lasers centraux UV qui permettent de déduire les concentrations en aérosol à différentes altitudes, 4 lidars (à deux longueurs d'onde et à orientation réglable : balayage ou la capacité de tirer dans la direction

dans laquelle une gerbe vient d'être détectée), deux aerosol phase function monitors, ou APF (faisceau horizontal tiré devant les détecteurs de fluorescence et permettant de déterminer la fonction de phase de diffusion des aérosols), deux télescopes optiques HAM et FRAM. Un lidar Raman, actuellement en test au Colorado, sera prochainement installé sur site. Les nuages sont également %% : alors que les lidars servent à sonder la hauteur des nuages, quatre caméra infra-rouge installées sur chacun des sites de fluorescence quantifient la couverture nuageuse.

Les données des détecteurs de fluorescence, bien sûr, mais aussi des détecteurs de surface (détecteurs de particules) qui sont insensibles aux propriétés optiques de l'atmosphère, nécessitent également une bonne modélisation des propriétés physiques (pression température) et de leur profil % 3H %% % % % % % % % %% % %7557%% décembre 2010, et a permis de construire une base de données de 331 profils atmosphériques. A % % % 1% % % % % % % % % % % % 3

La collaboration Pierre Auger a accumulé une importante base de données atmosphériques. Cet effort a réduit de manière significative les incertitudes systématiques sur la reconstruction des gerbes atmosphériques. La richesse des informations collectées, leur combinaison dans un système de base de données performant et ouvert et leur mise en relation avec la physique de l'atmosphère des régions andines sont apparemment d'un grand intérêt pour les physiciens de l'atmosphère.

U % % % % % % % %%T %U %F 1% % % citer :

- Une nouvelle méthode de mesure de la concentration en aérosols en fonction de %% % % %% %F 3Z % % % % % % % % % lasers centraux, la lumière diffusée et récoltée par les télescopes de fluorescence donne une % % % % % 3
- Il a été mentionné que la collaboration Auger a accumulé une importante base de donnée % % % % % % 1%3 3% 1% %% 3Z % étude originale, et publiée par la collaboration en janvier 2012, a mis en évid % % % ces mesures avec un modèle atmosphérique à grande échelle développé par la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Ce modèle, appelé GDAS (Global Data Assimilation System), fournit toutes les trois heures une estimation des principales quantités 3N% % % % % % % % 1% % % % % % % % 1% % %% % %% % % %% % % % des gerbes atmosphériques.
- Q % % % % % % % 1% % % 3N % % % % % % 3Z % % %% % %% % % % % %% % % % % % % 3% Utilisant un outil de rétro-trajectographie (également fourni par la NOAA), il a été démontré % % % %3 3% % % % % % % .% % % % étaient directement %% % % % % % 3H % 1% % % % % % % % %% 1% % % % % %% % % % % % % % % % % % % % % % % %a collaboration Pierre Auger.

Des ateliers et rencontres auxquels ont participé des physiciens de la collaboration Auger attestent du % % % % % % % % % % % 3S % % entre autres :

- IS@AO Interdisciplinary Sciences at the Auger Observatory (http://www.auger.org/ISatAO). Cette conférence publique, organisée par la collaboration Auger en avril 2011, avait pour but de % % % %% % % % % 3% Durant deux jours, plusieurs domaines tels que la sismologie ou la vulcanologie ont été présentés par des scientifiques de ces domaines cherchant à collaborer avec la collaboration Pierre Auger.
- From the Geosphere to the Cosmos. H % 1% % % % % % ASPERA en décembre 2010 au Palais de la Découverte, a vu la participation de plusieurs expériences d'Astroparticules. Le but ici était de faire un catalogue de tous les projets interdisciplinaires en cours au sein de % % 3Wéférences complètes sur :

  (http://indico.cern.ch/conferenceTimeTable.py?confId=109104#20101201).

- ISSAOS (http://cetemps.aquila.infn.it/issaos/). C'est une école d'été % %%F % % septembre 2011, avec une forte participation de collaborateurs d'Auger.

En termes de "ressources", la tâche de monitoring de l'atmosphère dans Auger est une tâche très importante qui occupe beaucoup de collaborateurs. La collaboration Pierre Auger fait également beaucoup d'efforts (le projet Auger Access financé par l'ECR) pour proposer de faire du site d'Auger un véritable laboratoire ouvert aux autres domaines scientifiques, notamment à la physique de l'atmosphère et des géosciences en général (aérosols, transport radiatif, phénomènes électriques et lumineux, sismologie...), et à la physique du soleil (vent et événements solaires). En France et à l'IN2P3, l'implication autour ce ces sujets a été assez faible jusqu'à présent (la participation française à la construction d'Auger a concerné surtout le détecteur de surface). Cependant, le groupe du LAL a ouvert la voie et une thèse vient d'être soutenue en septembre 2011 sur ce sujet. La démarche qui consiste à établir une collaboration avec des chercheurs de l'atmosphère mérite d'être soutenue.

H %7566% %K 3% % % % % A % %CF Q1% % % % % % % % % % % %Q %N -universitaire des Systèmes Atmosphériques (LISA) à Créteil. Un mini-atelier a également eu lieu en %7567%%T % %U % %L % %H -Ferrand (LaMP/OPGC) qui opère un % % % % % % % %1 3%Q % % % % % % %K % % %% % % ?% % % % % % %CN F %1% par exemple, déjà participé à % %N E F T 3F % 1% % % % % % % % % %7567%% % %5 % % % % % % % % % % % % T %U %F % % % % % % % la 3%H % % % % 1% % % 1% % % % : le LPSC (UMR 5821/IN2P3), le LISA (UMR 7583/INSU) et le LaMP/OPGC (UMR 6016/INSU). Plusieurs axes de recherche et développement sont envisagés et présentés dans ce document :

- **le développement d'un modèle d'évolution de l'aérosol pour le continent Sud Américain (LISA).** En effet, selon certains modèles, ce continent pourrait jouer un rôle clef dans l'évolution du climat (notamment des périodes glaciaires). Les aérosols présents au-dessus du continent sur américain pourraient également influencer le développement des bactéries dans l'océan Atlantique.
- **l'étude du lien entre les aérosols et précurseurs ioniques, qui pourraient être liés aux rayons cosmiques en altitude (LaMP/OPGC).** Si l'influence des rayons cosmiques sur la formation de nanoparticules (donc in fine sur le climat) est étudiée actuellement en chambre de simulation dans l'expérience CLOUD au CERN, les études en atmosphère réelle n'ont pas encore été menées de manière concluante. Il faut en effet à la fois un observatoire de haute altitude, et l'instrumentation adéquate sur ces observatoires (nanoparticules, ions..). De par % % % % % % % % % udes atmosphériques % % % % % % % % % % %% % 1% % U %5 % % % % % % % % % % 3

  Une étude complémentaire pourrait par ailleurs être faite à M % % % % rayonnement cosmique : y a-t-il nucléation même sans rayonnement cosmique ?

- **renforcer et valoriser les mesures atmosphériques à l'observatoire Auger dans le cadre de "GAW" (Global Atmosphere Watch) de la WMO (LaMP/OPGC).** L'Observatoire Pierre Auger est situé tout proche de Malargüe (Province de Mendoza), typiquement (35° S, 69° W), à 1452m au-dessus de la mer. Son environnement est dit "desert like", même si la végétation stoppe normalement les levées de sable dues au vent. Selo % % % % % %% 1% % % % % % % % % %% % %H % %R soit peu % % % % 3%N% % % % % 1% % % % % % stations permanentes existent en Amérique du Sud. Aussi avec des mesures in- % 1% et de gaz, des mesures par télédétection, et des paramètres météorologiques de qualité, la % % %% % % % % % GAW » (Global Atmosphere Watch), de la WMO.

2.2.2 HESS ET CTA

L'expérience HESS est située en NAMIBIE, sur le plateau du Gambergs (latitude 23° 16' sud, longitude 16° 30' est) à une altitude de 1800 m. Elle est constituée de quatre télescopes de 12 mètres de diamètre, répartis aux coins d'un carré de 120 mètres de coté. Chaque foyer est équipé d'une caméra électronique de grande taille composée de 960 tubes photomultiplicateurs, dispositifs sensibles à la lumière bleue et dont le temps de réponse est extrêmement rapide, de l'ordre de la nanoseconde. La sensibilité de cet instrument (capacité à détecter des sources faibles) est 10 fois supérieure aux expériences précédentes (WHIPPLE, HEGRA, CAT) pour un seuil en énergie de 100 GeV.

Les rayons gamma qui pénètrent dans l'atmosphère génèrent une cascade de particules. Ces particules émettent un flash de lumière bleue peu intense, appelée lumière Cerenkov et ne durant que quelques milliardièmes de seconde. Cette lumière est réfléchie par les miroirs de 107 m2 puis enregistrée par des caméras ultra-sensibles. Chaque image donne la position dans le ciel d'un photon gamma, et son énergie. Les objets célestes émettant un rayonnement gamma sont cartographiés avec H.E.S.S. à partir des directions d'arrivée dans le ciel de chaque photon gamma.

Notre équipe contribue au projet d'étude des effets atmosphériques sur les résultats des mesures des % % %énergie au moyen d'un LIDAR type élastique. L'atmosphère fait partie du détecteur et la connaissance de la transmission, respectivement la détection des changements de la transmission de l'atmosphère, devient cruciale pour améliorer des données d'astronomie gamma terrestre.

Il y a deux composants principaux dans l'atmosphère: les molécules et les aérosols. Les composants de molécules dépendent du profil de densité de l'atmosphère et du processus bien connu de dispersion, dit dispersion de Rayleigh. Cependant la dispersion Mie, par la composante d'aérosol, est compliquée.

La méthode de LIDAR (Light Detection and Rangions) est une méthode utile pour le monitoring atmosphérique, qui a été développée dans le domaine de la recherche environnementale. L'intensité des gerbes produites par des photons Cerenkov pénétrant l'atmosphère peut être réduite à cause de l'absorption et de dispersion (ou extinction). Ainsi la connaissance de ces paramètres est importante % % % % % 3

Les buts de ce projet sont plus spécifiques:

- Démontrer qu'un système de détection de LIDAR peut être employé pour ces mesures.
- Prouver que la détection de couche mince de nuages est possible.
- Prouver que les coefficients d'extinction de l'atmosphère peuvent être mesurés.
- Evaluer l'impact de ces paramètres sur le calcul d'énergie reconstruit de gerbes gamma atmosphériques.
- Etudier l % % % % % % % % % % % % % % % des sources galactiques.

Au cours des 2 dernières années, nous analysons les données acquises avec notre Lidar type élastique installé à proximité des télescopes HESS. Ce lidar de deux longueurs d'onde nous permet de calculer le coefficient d'absorption de l'atmosphère et son contenu en aérosol. L'erreur systématique sur ces mesures est de l'ordre de 15% en raison de limitations théoriques. Dans le même temps nos données ont un intérêt particulier pour la communauté internationale dans l'atmosphère, car elles serviront à caractériser l'effet combustion de la biomasse, un phénomène qui se produit pendant la période de fin d'été traverse le continent africain. Pour le futur et pour améliorer cette erreur expérimentale pour le futur projet du CTA nous envisageons de % % % LIDAR type Raman. En utilisant le principe de la détection de lignes %WFRFS1% % systématiques totales seront de l'ordre de 5-6%. Ce projet est une collaboration internationale % % % J %NKJF4ZFG.% % % %u Laboratoire CEILAP dF 3%b% % % % % % % %bYF-sud et il %

part à nos propres intérêts expérimentaux, % % % reste de la communauté scientifique en fournissant des données capables de caractériser plus en détail le type et le contenu des couches d'aérosols présents dans l'atmosphère.

2.3 ETUDES ENVIRONNEMENTALES

2.3.1 MESURES DES FAIBLES RADIOACTIVITES

Contributeurs : F. Piquemal, *Jérôme Wassermann (Université de Cergy Pontoise, mesure des radioactivités)*

Le LSM est une unité mixte de recherche CNRS et CEA existant depuis 1981. Situé au milieu du tunnel du Fréjus sous 1800 m de roche, il est le second laboratoire le plus profond au monde. A cette profondeur équivalente à 4800 mètre équivalent eau, le rayonnement cosmique % % % % 7% % % %% % 3% % % %% % % % % % % % % % % -forme multidisciplinaire pour les sciences nécessitant un environnement très basse radioactivité et les techniques expérimentales associées.

Q % -faible radioactivité pour la sélection des matériaux, notamment les détecteurs de spectroscopie gamma. Après 20 ans de développement, ces % % % % % % % % 5% G 4 % % % % % (plusieurs kilogrammes) en 1 mois de mesure sur le site du LSM. Cette méthode est non-destructive. La spectroscopie gamma est la méthode la plus sensible pour les éléments à durée de vie courte - % % % % % % % .3%Q % % % % % % % abondamment utilisées dans les sci % % 3%J % 1% les radio-isotopes sont utilisés comme traceurs dans l'environnement ou comme chronomètres pour la datation des couches glaciaires ou sédimentaires. Les domaines étudiés au LSM sont les suivants :

- H % % % % % % % % 6: 5% % % % % % % % % en utilisant les sédiments, la neige ou la glace
- Q % % % % % % % % % % % % % % p % % % % % % % % % % % % % % % % dans les vallées les plus reculées.
- Comprendre à partir des échantillons de la cryosphère du système climatique et des processus impliqués dans la variabilité de la composition atmosphérique présente et passée
- J % % % % % % % % % % % % % climatiques pour une meilleure compréhension des rétroactions entre la composition atmosphérique et le changement climatique
- Géochi % % % % % % % % % % 1% % % % leur âge en utilisant les 4 isotopes du radium)
- Q % solides en suspension et des polluants associés dans les rivières, suivi des retombées de K 1 .

I % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

% % % % % elques millénaires les échantillons ce qui est essentiel pour étudier finement la variabilité du climat.

Q % % % % % % % % % % 3

Elle permet également des expertises comme par exemple la datation des millésimes de Bordeaux % % % % % % % % % % % % % % % HJ S% G -Gradignan. Le LSM est également ouvert aux laboratoires académiques et industriels pour mesurer l'effet de la radioactivité très faible sur les circuits microélectroniques. Il semble évident que dans le futur il y aura une demande plus forte de la communauté micro/nano pour tester de nouveaux matériaux utilisés dans la fabrication (procédés technologiques) ou l'encapsulation (packaging) des circuits intégrés, ce dernier devenant de plus en plus sensibles aux impuretés résiduelles radioactives (en particulier émetteurs alpha), même à des concentrations bien en dessous du ppb.

La LSM accueille également des expériences de biologie pour étudier le développement de bactéries E. Coli dans un environnement non radioactif afin de mieux comprendre l'impact des radiations sur phénomènes de mutations.

Les géosciences semblent également intéressées pour équiper de capteurs le LSM pour mesurer en continu et à long terme l'évolution des propriétés des roches dans les environs de la cavité.

2.3.1 RADIOCHIMIE

Contributeurs: C. Landesman

Q % W 4 % % % Y % % % W % % % % % % % essentiellement liée à la thématique de recherche sur le stockage des déchets nucléaires en couche géologique profonde et en surface. Les études menées portent principalement sur :

1. la compréhension et la description mécanistique du transfert des radionucléides (RN) et des % % % % % % % I -T % % % % % % de stockage en profondeur),
2. % % % % % oïdes (notamment de la matière organique) et des bactéries (sulfato-réductrices) sur le transfert des RN (stockages profond et de surface),
3. % % % % % % % % % % % % % % % % ou le chlore (radioécologie).

Q % % % % % % % % % % % % % % % % % % % calcul géochimiques.

S % % % % % % % % - % % % macroscopique et moléculaire) % % % % % % % % % % % % moléculaire (en cours).

Q % % % % % % % % % % % % % % % % % % %

laboratoire de Planétologie et de Géodynamisme de Nantes (LPGN/INSU). Un soutien financier au
% %% %U % %%Q % % % % 3

2.3.2 ENVIRONNEMENT RADIATIF ET VIVANT

Contributeurs: V. Breton

Les organismes vivants sont en permanence exposés aux radiations, pour le meilleur et pour le pire. Pour le meilleur parce que les mutations dans le matériel génétique causées par les radiations font
% % % % % %% % % % % % % % % %
avec toujours plus de précision pour le traitement des cancers. Pour le pire pour les victimes de
, % % %% % % % % % % % % % %
nucléaires de Fukushima et Tchernobyl.

Q % % % % % %% % % % %
% % %% % % % % % % % % % % %
les organismes vivants.

Z % % % % %% % %L % % % % % %de Poitiers de
% % % % % % % % % % % % % %
seuls réacteurs nucléaires naturels connus. Cette découverte, publiée dans Nature en 2010 (El-Albani et al) %% % % % % % % % % % % % % %%
diversité biologique et les effets de la radioactivité.

QN$7U8% %N % % % % % % :

- De nombreuses équipes possèdent des compétences en radioprotection et dosimétrie et disposent des instruments nécessaires à la datation et à la caractérisation radiative des milieux
- % % % % 1% % % % % % 1% % %
sont en mesure de faire varier le taux de % % % % % %% %
%% % 3N% % % % % % % 1% % % % %
ou au contraire de le réduire en plaçant ces organismes dans un environnement à très basse radioactivité. Un programme expérimental dans ce but démarre au Laboratoire Souterrain de Modane
- la biologie des systèmes fait aussi partie des disciplines en plein essor. La modélisation des
% % %% % % % % % % % loppements
majeurs dans le domaine de la simulation Monte-H % % % % % %%
vivant en cours dans les collaborations GATE et Geant4-ADN
- les compétences des services techniques ouvrent la voie à la capture de nouvelles observables physiques pour caractériser les échanges intercellulaires et la réponse à des stress contrôlés ;
- % % % % % %% % % %% % % %
de biologie moléculaire produites par les séquenceurs de nouvelle génération. Ces données sont nécessaires à la caractérisation biologique des effets observés.

Le CENBG, le LPC Clermont-Ferrand et Subatech Nantes sont actifs sur ces thématiques.

Les prochaines années doivent voir se développer des programmes nouve % %
contrôlée sur des lignes nanofaisceaux (AIFIRA) ou au LSM (faible radioactivité) et une participation
%% % % % %% % % % % % %
Tchernobyl et Fukushima.

2.3.3 SOURCES ET PUITS DE GAZ A EFFET DE SERRE

Contributeur : O. Corpace

ICOS, pour Integrated Carbon Observation System, est un observatoire européen des flux de gaz à effet de serre. L'augmentation de ces gaz étant une des causes du changement climatique, l'intérêt stratégique d'ICOS est de permettre, à terme, une surveillance de leurs sources et puits.

Q %NHT % % % % % % % % % % % % .3%H %
stations sont réparties en trois catégories : atmosphérique, écosystème et océanique.

Le LSCE (Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement, UMR CEA-CNRS-UVSQ) possède la responsabilité de la station de démonstration de type atmosphérique. Cette station devra démontrer sur une année la faisabilité des mesures et la pertinence des résultats obtenus. Elle fonctionnera ensuite pendant plus de 10 ans.

H % % % - % % %Q HJ%% % % % % % %N % % % %
% % % %% % % 3%QN %% % % % % % %
% % % % % % % 3% 1%% %% % % % %
% %%N 3% % % 1% %Q HJ% % % % % % % % % %
station de démonstratio % %N % % % % % % % % % % % % %
nouvelles compétences.

Le LSCE finance la totalité du matériel nécessaire au projet et participe au financement de la main %N % % % %5 % % le-ci.

2.3.4 SURVEILLANCE DES FEUX DE FORETS

Contributeur : I. Giomataris

Les feux de forêt constituent un danger permanent, notamment dans les pays arides. Ils sont un frein % % % % % % % % 1% % % % %ibération de %% % % % % % % % 3

Q % %KT WKNWJ%% % % %J 1% % % % % %KU % % %HJF -Irfu y est un partenaire majeur (Project FP7 SME 2008 1). Outre le CEA de Saclay, qui y joue un rôle de premier plan, le projet FORFIRE réunit les instituts, entreprises et universités de plusieurs pays européens ?%MJ WT S%Y 1% % F 1%N % %K % %J 1%N 3

Q % % % % % % % un système de détection de feux de forêt en utilisant un photo-détecteur UV de type Micromegas. Le détecteur FORFIRE ainsi que son électronique a été développé et construit par une équipe du SEDI en employant des techniques industrielles.

Les avancées du projet sont:

- Optimisation du principe du détecteur et de son gaz au laboratoire et en particulier son efficacité de détecter les photoélectrons uniques.
- Construction et mesures au laboratoire.
- Mesures de feux à grand distance.
- R % % % % ecteur pixélisé.
- Développement et optimisation de son électronique.

Le projet finit à la fin de cette année ainsi que son financement.

Reste à faire :

- Optimisation du dépôt de CsI pour obtenir une meilleure efficacité quantique.
- Maximiser le signal sur bruit du détecteur dans les conditions réelles de son fonctionnement.

Par sa sensibilité dans la gamme UV, un tel dispositif peut détecter la lumière émise par effet Cerenkov. Il peut aussi observer la lumière de scintillation, en particulier pour les liquides et gaz nobles.

2.4 OCEANOGRAPHIE, MICROBIOLOGIE ET BIOLOGIE MARINE

Contributeurs : S Escoffier, C. Vallée

2.4.1 ANTARES

Le télescope ANTARES a pour but de détecter les neutrinos cosmiques de très haute énergie produits lors de phénomènes violents dans Z 3% % % % % % % % %
H % % % % % % % % % % % % % % 3%
Immergé à 2500 mètres de profondeur en mer Méditerranée, à environ 40 km du large de Toulon (Var), ANTARES est constitué de près de 900 photomultiplicateurs répartis sur 12 lignes de 450 m de hauteur. Chaque ligne est connectée à une boite de jonction, elle-même reliée à terre par un câble électro-optique de 40 km de long. Certaines lignes ANTARES sont aussi équipées de nombreux
%- % % % % 1% 1 .% % % % % %
conditions environnementales de ce milieu hostile.

Q % % % % %F SYF WJ % % % % % % %
aux sciences environnementales, en donnant la possibilité de "monitorer" les grands fonds en temps
% % % % 1% % % % % % % % % % %
de campagnes dédiées, avec des capteu % 3%Q % % % % % % %
% % % % % % % % % % % % % % %
tsunamis. Mais il est aussi bénéfique à une plus large communauté menant des projets ambitieux par
% % % 1% % % % % % % % % % % %
% % 1% % % % % % % % % %
événement particulier exceptionnel.

Les thématiques concernées par I % % % F SYF WJ % % 1%
% % % % % % %N$ Z% % % % % % % %
N$J J 3% % % % % % % % % % % % % % %
mutualiser les acquis entre disciplines. Il est toutefois possible de discerner différents niveaux
:

- **Mise à disposition de l'infrastructure câblée :**

  I % % % % % 1% %F SYF WJ % % % % %
  sismographes large bande pour complé % % % %terrestres et à terme
  % % % de tsunamis. Les sismomètres ont été développés et financés
  % % % %F SYF WJ 1% % % % % %L %
  Azur de Villefranche-sur-mer.

- **Mise à disposition des instruments installés :**

  Les données des nombreux capteurs océanographiques installés sur les lignes ANTARES sont
  % % % % % % % % % % % % des
  en zone méditerranéenne, en particulier dans le contexte des changements environnementaux. Dans le domaine de la biologie marine, les hydrophones AMADEUS développés pour la détection acoustique des neutrinos de ultra haute énergie sont également utilisés à des fins de
  % % % % 3%J % % % F SYF WJ 1% %
  %% % 1% % % % % % % % % % % %
  en milieu profond. Ces projets ont donné naissance à des collaborations scientifiques entre laboratoires de différentes horizons, mais impliquant davantage les laboratoires issus des
  % % % % % % % % % % % 3

- **Transfert de technologie pour le développement de nouveaux capteurs :**

Enfin un dernier volet concerne les collaborations interdisciplinaires à vocation plus technologique. Ceci inclut par exemple le développement de nouveaux capteurs innovants % % % % % % % % % % es issues de la physique des hautes énergies. Z % % % % % % % G % JGHRT % % % % grands fonds (collaboration CPPM-IPNL-DT–NS Z.% % % % % % % % % % % % F SYFWJ 3%Z % % % % % % % instrument novateur baptisé IODA, consistant à fournir une mesure de la consommation % % % % % paramètres biogéochimiques et biologiques (collaboration CPPM-HTR1% % SW% % % % % % Z % % % R .3

Dans un contexte européen et international, il est essentiel de considérer chaque plateforme % % % % % % % % ucoup plus général, dans lequel les problématiques locales cèdent la place à une compréhension globale des phénomènes mis en jeu, par exemple dans le contexte des changements climatiques mondiaux. Cela nécessite également une standardisation de la connexio % % % % % % % % % % % % % % % J TSJY% % % % % J NYJ 3

2.5 PLANETOLOGIE

Contributeurs : J.Duprat

N%%%91 % % % % % % % % % % % % it le système 3%J % % % % % % % % % % % % % % %

Q % % % % %% % % % % % % astrophysique de naissance du système solaire (voir contribution au GT Astrophysique Nucléaire). **Pourtant, certains axes de recherche reliés au flux de micrométéorites sur Terre concernent plus spécifiquement les sciences de la Terre.** Les micrométéorites représentent, de loin, le principal **apport de matière extraterrestre** accrété actuellement par notre planète. Pourtant la valeur % % % % % % % % ontroverses. Une analyse préliminaire de la collection HT SHT W IN F % % % % % % % % % % % % % % Terre de 6 000 ± 3000 tonnes/an. Dans les années à venir, un programme de mesures est prévu pour mieux contraindre cette valeur. La connaissance du flux de matière extraterrestre ainsi que la composition de celui- %%%%%3 %R % % % % % % % -clasts dans des météorites) est une donnée cruciale pour **comprendre l'apport tardif d'éléments rares à la surface terrestre** -N%T %U .% % % % %**origine de l'hydrosphère terrestre**.

La question de la contribution des poussières se pose également dans le contexte de l'apport de l'eau sur les planètes telluriques, % % % % % % % % % % % %U % % % % % % % % % % % % Venus, la Terre et Mars auraient débuté avec des proto-atmosphères riches en eau issues du dégazage % % % % % % % % % % % % % % et martienne modernes peut être expliquée par un échappement massif par photodissociation de la % % % % % % % % % %U % % % % % % % % % % % % % %

- Boîte de jonction secondaire % %7565 1% % % % %NKWJRJW1% % % 1% % % % % % % 1% % % % % % %DeepSeaNet pour les géosciences.
- J % % % % % % %NS7U8% %NS Z%. % % % %NS7U8% %NS Z. :
  - NTI F% % % % % % . : CPPM-COM
  - BioCamera EBCMOS: IPNL DT-INSU

La boîte de jonction secondaire est ouverte aux utilisateurs pour la durée de vie FSYFWJ % % % au prototypage des futurs composants de MEUST/EMSO.

- **MEUST/KM3NeT-EMSO**

MEUST (Mediterranean Eurocentre for Underwater Sciences and Technologies) est une infrastructure sous-marine de 2ème génération développée dans le cadre de KM3NeT (KM3NeT-Toulon dans une configuration multi- % %PR8S Y.% %JR T% % % %Q % % % % % % -marins).

- H % % % %NS7U8-INSU, qui a vocation à intégrer les partenaires de KM3NeT et EMSO.
- Capacité décuplée en taux de données par rapport à ANTARES, 10% prévu pour sciences environnementales.
- Couplé à des outils complémentaires (gliders, radars) permettant des campagnes % % % % % % % % 3
- Construction commencée avec un budget CNRS-FEDER, time scale 2013-14 pour premières boîtes de connexion sous-marines opérationnelles.

3.2 DETECTEUR MEGATONNE

Un détecteur de neutrinos de très grande taille sera un outil unique pour adresser des questions de % %Z vers et de la Terre, ainsi que pour des études sur les propriétés des neutrinos. Le % % % % % % % % % % % % % % % % % % FP7 LAGUNA-LBNO (2011-7569.1% % %NS7U8% %N 3

Trois options de détecteur de type « mégatonne » sont considérées : MEMPHYS, Cherenkov à eau % % % %55% 1%QJSF1% %5% % % % 1% %L QFHNJW1%55% %F % liquide. Les techniques et les performances de ces trois détecteurs se complémentent sous plusieurs aspects. Deux sites souterrains sont considérés pour leur installation : la mine de Pyhäsalmi en Finlande et une extension du LSM dans le tunnel du Fréjus.

Un aspect très complémentaire de LENA (Low Energy Neutrino Astrophysics) par rapport aux autres options est la possibilité de détecter des neutrinos de basse énergie : il serait donc un observatoire idéal pour les géo- 3% % % % % % 1%% % %% % %% 6 % et effectuer des analyses spectrales pour déterminer le rapport U/Th avec un précision (en 5 ans) de 35% au Fréjus et 17% en Finlande, où le bruit de fond du aux réacteurs est moins important.

3.3 AUTRES GRANDS EQUIPEMENTS

Comme il a été mentionné dans les sections précédentes, les grands équipements astroparticules et/ou physique des particules ont des prolongements d'activités naturels dans les domaines variés des Sciences de la Terre.

Parmi ceux-ci, le **laboratoire souterrain de Modane** est probablement appelé à jouer un rôle important, comme structure d'accueil pérenne pour des expérimentations dédiées, effectuées par des équipes de nos instituts ou des équipes extérieures, et naturellement comme laboratoire hôte de nombreux projets en physique des hautes énergies. Sa possible extension dans le cadre des projets "Mégatonne" permet de compléter cette approche pluridisciplinaire puisqu'elle permettrait l'émergence d'un observatoire permanent (par exemple des géo-neutrinos, du rayonnement cosmique etc) doublé d'une structure d'accueil complémentaire.

Les observatoires **AUGER**, et les expériences **HESS** et **CTA** ont déjà intégré cette dimension Sciences de la Terre et leurs avancées récentes ont permis de mettre en relief l'intérêt de la communauté pour leur potentiel unique en matière d'investigation. Les détails ont été développés dans les sections précédentes.

4 MOYENS EXISTANTS ET BESOINS FUTURS

Cette section donne un état des lieux moyens/personnels de la plupart des projets discutés dans les sections précédentes. Les nombres entre parenthèses correspondent à des contributions autres que IN2P3 /Irfu.

NOM	*DIAPHANE*				
Date de début/fin	2008 / 2020				
Contact	J.Marteau (UCBL/CNRS-IN2P3), D.Gibert (INSU)				
Nature	Expérience en cours et R&D				
Ressources					
	Thésard	PostDoc, CDD	Chercheurs	Personnel technique	Budget hors RH - 4 .
Actuels	0(1)	0	1.2 (2.0)	1.2 (1.5)	
Besoins	0	1	1.5 (2.0)	1.2 (1.5)	

NOM	*T2DM2*				
Date de début/fin					
Contact	S.Gaffet, P.Salin				
Nature	R&D				
Ressources					
	Thésard	PostDoc, CDD	Chercheurs	Personnel technique	Budget hors RH - 4 .
Actuels					

Besoins				

NOM	*TOMUVOL*			
Date de début/fin	Janv. 2010 / janv 2021			
Contact	C Cârloganu			
Nature	Expérience en cours et R&D			
Ressources				
	Thésard	PostDoc, CDD	Chercheurs	Personnel techniq
Actuels	0	1(0)	2 (0.8)	3.5 (1.3)
Besoins	1(1)	1(1)	2 (2)	3 (2)

NOM	Transfert de Radio-		%% %	4 -sphère/envir
Date de début/fin	1/7/2011 -> 1/1/2021			
Contact	Catherine Landesman, catherine.landesman@subatech.in2p3.fr			
Nature	R&D			
Ressources				
	Thésard	PostDoc, CDD	Chercheurs	Personnel techni
Actuels	0	1 IE	1(1)	0
Besoins	16 21.96 ref			

NOM	LSM interdisciplinaire				
Date de début/fin	1/1/90 -				
Contact	Fabrice Piquemal, fabrice.piquemal@lsm.in2p3.fr				
Nature	Infrastructure , Expériences en cours et R&D				
Ressources					
	Thésard	PostDoc, CDD	Chercheurs	Personnel technique	Budget %WM% 4 .
Actuels		2	1	1	100(110)
Besoins		1		1	20(250)

NOM	QT %J %				
Date de début/fin					
Contact	François Montanet (LPSC), montanet@in2p3.fr				
Nature	Expérience en cours				
Ressources					
	Thésard	PostDoc, CDD	Chercheurs	Personnel technique	Budget hors RH - 4 .
Actuels	1->0	1->0.1	1->0.1	0	
Besoins	3	1	1	1	RL + 130ke

Planétologie

Les ressources en moyens et personnels impliquées dans la partie « Planétologie » figurent dans la section « Astrophysique Nucléaire » de ce même document.

F % % 1% % % une infrastructure Salle Blanche au CSNSM est indispensable à la % % % % %R % % % % % % % % de masse. Le coût total du projet es % %885% % % % % % % %H S R 3%Z % % % % % % % %

5 RECOMMANDATIONS ET ANALYSE DES RISQUES

L'intérêt sociétal de la valorisation des techniques et méthodologies innovantes issues de la [illegible] antation de nos laboratoires dans le territoire. Il est opportun que les projets menés dans le cadre de l'interdisciplinarité soient reconnus comme enjeux transverses [illegible] interdisciplinaire de retour scientifique et de valorisation des grandes infr [illegible] pour l'environnement et le développement durable (géosciences, écologie marine, climatologie,..) qui doit être encouragé.

Q [illegible] est essentiel de définir des **appels d'offres ciblés et pérennes** pour les amorcer et leur permettre [illegible] IRFU se doivent de les accompagner en structurant les réponses aux appels d'offre des réseaux européens, en facilitant le dialogue institutionnel avec des acteurs locaux (Universités, Régions) ou scientifique avec des chercheurs extérieurs aux instituts.

Une partie importante des synergies IN2P3/INSU repose sur la valorisation des transferts de technologie et de savoir-faire, tant sur la partie instrumentale que sur plan méthodologique. Dans sa grande majorité **l'implication de l'IN2P3/IRFU est nécessaire autant au niveau physicien** que des services techniques ; nvestissem [illegible] gratuit pour nos laboratoires, même si IN2P3/IRFU ne supportent pas financièrement ces activités.

A des rares exceptions (voir Section Planétologie), la valorisation scientifique de ces projets est portée plutôt par des chercheurs en dehors de nos instituts. Dans le cas ou des chercheurs IN2P3/IRFU participent il est important de veiller à ce que leurs travaux soient reconnus scientifiquement, même si [illegible] valorisation technologique, quand des scientifiques sollicitent uniquement nos compétences techniques, il faut veiller à ce que cette collaboration ne dévie pas vers une relation type prestation de service ou sous-traitance. Cela passe par une **étude amont approfondie des bénéfices mutuels** que peuvent en tirer les collaborateurs et par un cadrage précis [illegible]

Globalement, au niveau IN2P3/IRFU il faut veiller à la **structuration de ces activités** [illegible] **pilotage technique** des projets pour assurer une optimisation des ressources techniques et humaines investies. IN2P3 devrait également pouvoir utiliser les activités interdisciplinaires pour augmenter sa visibilité envers les acteurs scientifiques et politiques régionaux et pour cela les spécificités locales doivent bien être prises en compte dans la définition de la politique scientifique.

5.1.1 SCIENCES DE LA TERRE

Parmi les thématiques communes IN2P3/IRFU-INSU, la **tomographie par muons atmosphériques des structures géologiques** (Section 2.1.1) [illegible] de ces structures. Plusieurs projets, issus de contacts directs entre membres des deux communautés, ont émergé : **DIAPHANE** (collaboration IPNL-IPGP-Géosciennes Rennes), **TOMUVOL** (collaboration LPC-IPNL-LMV-OPGC), **T2MD2** (collaboration Géosciences Azur-LSBB) sont dans des phases diverses de développement/prise de données. Les objectifs géophysiques sont l'imagerie des réservoirs karstiques, des tunnels, des volcans, des réseaux hydro-thermaux en temps réel ou non.

Ces projets tendent vers un transfert maximal de compétences pour assurer une autonomie de fonctionnement dans le cadre des OSU. La technique nécessite encore des développements autant [illegible] ur réaliser ce transfert, [illegible]

Recommandations : a [illegible] pilotage technique des projets pour assurer une optimisation des ressources techniques et humaines investies [illegible] des groupes IN2P3 pour que leur apport puisse être pleinement valorisé.

Risques : sans une implication suffisamment forte % IN2P3, le transfert méthodologique IN2P3/INSU ne se fera pas.

5.1.2 LES GEONEUTRINOS

Recommandations : Poursuivre l'investigation du potentiel d'un nouvel observatoire pour l'étude des geo-neutrinos et de l'information qu'ils pourraient apporter sur la composition et la dynamique du manteau terrestre.

Participer au projet et à la réalisation des futures expériences de type "megatonne" dans un contexte de coordination au niveau Européen et mondial, afin de maximiser le potentiel global de physique et d'exploiter au mieux la complémentarité des différentes techniques.

Risques : comme le budget pour la réalisation de ce projet est très important, un manque de coordination au niveau mondial risque d'en empêcher la réalisation.

5.1.3 SCIENCES DE L'ATMOSPHERE

Les études en **physique de l'atmosphère et en particulier du contenu en aérosols** sont une % % % % % % % % % % % % % % % **Auger** ou avec des télescopes gamma dans le cas de **HESS** et **CTA**. Un programme similaire devrait voir le jour également sur **LSST**.

Q % % % % % % % sur HESS, portées par le LAMPT, pourrait servir à caractériser l'effet de la combustion de la biomasse, un phénomène qui se produit cycliquement en fin d'été en Afrique. Pour le futur, dans le cadre du projet CTA, % % % % LIDAR type Raman est envisagée en collaboration avec des équipes espagnoles (IFEA/UAB) et des experts du Laboratoire CEILAP (Argentine). Il sera installé sur le site de CTA-sud et il fournira des données capables de caractériser plus en détail le type et le contenu des couches d'aérosols présents dans l'atmosphère, en plus de caractériser les propriétés optiques de celles-ci pour CTA.

Recommandations : Les activités actuelles (AUGER, HESS) et futures (CTA, LSST) bénéficieraient % % % % % % % % % % % % % % %

1) F % % % 1% % % % % % % % %S Z% et IN2P3 concernés sera soumise au Collaboration Board de la collaboration Pierre Auger. Il % % % % % % %

% -forme de mesure de très basse radioactivité. Continuer le développement des techniques de mesures de très basse radioactivité.

Risques : La mise en place administrative de la plate-forme de mesure de très basse radioactivité pourrait être compliquée et retarder le projet. Il y a une très forte demande de mesures de faible radioactivité pour la physique fondamentale et le parc de détecteur étant limité, il pourrait être difficile de faire face à la demande de mesure pour l % % % % % % % % % % % 3%

ENVIRONNEMENT RADIATIF ET VIVANT

Recommandations : Q % % % % % 1% % % % 1% % % % % % K % % %Y 1% % % % % 3N% % % % % % % % % % % % % N$7U8% % NWKZ% pas encore apporté tout leur potentiel tant sur le plan de % % % % % % % 3Q %Q % % %R % : un tel programme doit être soutenu 3Q % % % % % % %% % % % (anciens sites de mines, zones polluées autour de Tchernobyl) est un axe de collaboration qui doit être exploré activement %NSJ J mais aussi av %NW S% % % % %I WJF Q% % privés (AREVA). J % % 1% % % % % % % % % % % % % %R J Z Y% % % % % % % % % % % % % % % % % systèmes aquatiques (digues de retenues de stériles, milieu océanique au large de Fukushima). Par 1% % % % % % % % % % % % % % % % % % % %