

Cour des comptes



LE PILOTAGE ET LE FINANCEMENT DES TRÈS GRANDES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE

Communication à la commission des finances du Sénat

Mai 2019

Sommaire

PROCÉDURES ET MÉTHODES	5
SYNTHÈSE	7
RÉCAPITULATIF DES RECOMMANDATIONS	11
INTRODUCTION	13
CHAPITRE I MIEUX DÉFINIR LES INFRASTRUCTURES ESSENTIELLES DE RECHERCHE DANS UN CONTEXTE EUROPÉEN ET INTERNATIONAL PRÉGNANT	19
I - UN SYSTÈME NATIONAL EN STRUCTURATION CONTINUE	19
A - La feuille de route nationale des infrastructures de recherche : évolution des définitions, stabilité des exclusions.....	20
B - Les éléments de structuration actuels.....	24
II - UN CADRE EUROPÉEN ET INTERNATIONAL DÉTERMINANT	27
A - Les infrastructures de recherche en UE : un paysage institutionnel complexe	27
B - L'absence de spécificité des TGIR françaises dans les dispositifs européens.....	33
C - La présence de la France à Bruxelles	35
D - S'impliquer davantage dans la coopération multilatérale	37
CHAPITRE II STRUCTURER ET RENFORCER LA GOUVERNANCE ET LE PILOTAGE DES TGIR ET DE L'ENSEMBLE DES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE	41
I - DES ACTEURS NOMBREUX, UN PILOTAGE COLLÉGIAL À ENCORE RENFORCER	41
A - Des capacités ministérielles à affermir	41
B - Les instances collégiales	45
C - Les opérateurs	48
D - Les infrastructures elles-mêmes.....	51
E - Les entreprises.....	55
II - RENFORCER LE PILOTAGE AU SERVICE D'UNE STRATÉGIE NATIONALE	57
A - Renforcer l'efficacité de la gouvernance des infrastructures de recherche	57
B - Des processus de décision collégiale à mieux structurer.....	57
III - UN SYSTÈME D'ÉVALUATION À PARFAIRE ET DÉVELOPPER	60
A - Des évaluations sans ligne directrice	60
B - Une évaluation socio-économique encore en chantier	63
CHAPITRE III DES CONTRAINTES FINANCIÈRES À MIEUX APPRÉHENDER	69
I - DES RESSOURCES ALLOUÉES AUX TGIR PROVENANT POUR L'ESSENTIEL DES ÉTATS	69
A - Les ressources publiques françaises.....	71
B - Les ressources publiques étrangères et européennes.....	78
C - Les ressources propres	80

II - L'ÉVALUATION DES COÛTS COMPLETS : UNE INITIATIVE INTÉRESSANTE À CONSOLIDER.....	80
A - Un calcul des coûts complets aux objectifs multiples.....	81
B - Un premier exercice prometteur, des faiblesses méthodologiques.....	81
III - UN SOUTIEN FINANCIER À MOYEN TERME QUI POSE QUESTION	84
A - Les besoins de financement pour les TGIR existantes ou en construction	85
B - La fin de vie des TGIR : la question du démantèlement	88
C - Les engagements financiers potentiels	91
D - Un horizon de prévisions financières à fiabiliser	93
LISTE DES ABRÉVIATIONS	99
ANNEXES	103

Procédures et méthodes

En application du 2° de l'article 58 de la loi organique n° 2001-692 du 1^{er} août 2001 relative aux lois de finances (LOLF), la Cour des comptes a été saisie par le président de la commission des finances du Sénat, par lettre du 1^{er} juin 2018, d'une demande d'enquête portant sur le financement et le pilotage des très grandes infrastructures de recherche (TGIR). Cette demande a été acceptée par le Premier président par courrier du 27 juin 2018, qui a également déterminé les modalités d'organisation des travaux demandés à la Cour. Elles ont été précisées en accord avec le sénateur Jean-François Rapin au cours d'un entretien qui s'est déroulé le 22 mai 2018 en présence des rapporteurs et du contre-rapporteur.

Conformément à ce qui a été convenu, l'enquête s'efforce :

- de recenser précisément ces infrastructures et d'identifier l'existence de critères de définition opérants, ainsi que les modalités et circuits de décision précédant l'inclusion d'un projet dans une catégorie ;
- d'en évaluer le coût global et l'origine des ressources (budget, PIA, Union européenne, collectivités territoriales, ressources propres, etc.) ;
- d'identifier la soutenabilité du financement de ces infrastructures dans la durée ;
- d'en apprécier les modalités de gouvernance par la DGRI et par les opérateurs, leur articulation ainsi que la pertinence des différents statuts juridiques ;
- d'analyser les modalités de la représentation française dans les instances européennes ;
- de déterminer l'existence d'une stratégie française globale concernant les TGIR ainsi que de méthodes prospectives destinées à assurer dans le futur les objectifs d'excellence qui président à la définition des TGIR.

Dans ce cadre, une attention particulière a été accordée à l'environnement international et à la gestion de ce type d'infrastructures par d'autres États. Par ailleurs, la Cour s'est efforcée d'identifier la nature des réflexions sur l'adaptation des TGIR aux exigences liées à l'excellence numérique française ainsi que les modes de gestion des données rassemblées et traitées par ces infrastructures.

Par lettres en date du 28 février 2018 et du 29 juin 2018, le lancement des travaux de la Cour a été notifié aux ministères chargés de l'enseignement supérieur et de la recherche (MESRI), de la défense, du budget, de l'Europe et des affaires étrangères, de l'outre-mer et de l'intérieur, ainsi qu'au secrétariat général pour l'investissement, et à six opérateurs (ANR, CEA, CNRS, Ifremer, IPEV, IRD). Des questionnaires ont été adressés à partir du 6 mars 2018. Une réunion d'étape avec le sénateur Jean-François Rapin a eu lieu le 12 septembre 2018.

Les rapporteurs ont conduit une quarantaine d'entretiens avec des représentants des directions d'administration centrale des ministères, des opérateurs concernés, de la représentation permanente à Bruxelles et de la DG recherche et innovation de la Commission européenne. Des visites des TGIR GANIL, GENCI, FOF, Huma-Num et ProGeDo ont par ailleurs été effectuées.

L'enquête a été réalisée par la troisième chambre de la Cour des comptes. Après avoir été délibéré le 10 janvier 2019, un relevé d'observations provisoires a été adressé le 11 février 2019 au secrétariat général pour l'investissement, au MESRI, au ministère de l'action et des comptes publics, au ministère de l'Europe et des affaires étrangères, au CEA, au CNRS, à l'Ifremer.

Les présidents-directeurs généraux de l'Ifremer et du CNRS, l'administrateur général du CEA, le représentant de la directrice du budget et le directeur général pour la recherche et l'innovation ont été auditionnés les 1^{er} et 4 avril 2019 en application de l'article L. 143-0-2 du code des juridictions financières.

Le présent rapport, qui constitue la synthèse définitive de l'enquête menée par la Cour a été délibéré le 11 avril 2019 par la troisième chambre présidée par Mme Moati, présidente de chambre, et composée de MM. Rousselot, Gautier, Guaino, Mousson, Miller, conseillers maîtres, ainsi que, en tant que rapporteurs, Mme Revel, conseillère maître en service extraordinaire, MM. Lapeyre et Ducluzau, rapporteurs extérieurs, Mme Cornu, vérificatrice et, en tant que contre-rapporteur, M. Bouvard, conseiller maître.

Il a ensuite été examiné et approuvé le 14 mai 2019 par le comité du rapport public et des programmes, composé de M. Migaud, Premier président, M. Briet, Mme Moati, M. Morin, Mme Pappalardo, rapporteure générale du comité, Mme de Kersauson, MM. Andréani et Terrien, présidents de chambre et M. Johanet, procureur général entendu en ses avis.

Synthèse

L'enquête de la Cour sur les Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR) rend compte des progrès qui ont été effectués dans leur pilotage et leur suivi et confirme, pour la recherche française, l'importance majeure de ces grands équipements qui commande des améliorations dont le présent rapport trace les pistes.

La nécessité d'une juste et complète appréhension des grands enjeux

L'importance scientifique de ces grands instruments fait l'objet d'un consensus universel. Observatoires astronomiques, supercalculateurs, détecteurs d'ondes gravitationnelles, accélérateurs de particules, faisceaux laser, bâtiments océanographiques ou réseaux de données : ces infrastructures couvrent la plupart des fronts pionniers de la recherche. Mises en œuvre par et pour les chercheurs, elles mobilisent des technologies parmi les plus avancées. Toutes les grandes nations structurent leurs besoins en infrastructures de recherche.

Entre 2012 et 2017, le montant cumulé des ressources des TGIR a atteint 4,2 Md€ selon l'estimation de la Cour, dont la moitié sur crédits budgétaires français. En 2017, la France a mobilisé 356 M€ au bénéfice de 22 TGIR, soit 41,8 % de leurs ressources sur cet exercice (851 M€). On observe en effet une tendance historique à la mutualisation de la prise en charge des coûts de ces infrastructures dans le monde et, en particulier en Europe.

La Commission européenne tend à organiser une compétition interne pour obtenir des installations de niveau mondial : la répartition du potentiel scientifique entre États rend indispensable la maîtrise des processus de décision et la conception par la France d'une véritable ingénierie d'influence.

L'implantation d'un grand instrument sur le territoire national a des conséquences durables en termes financiers et économiques : elle procède donc de considérations de sécurité ou de souveraineté qui excèdent les seuls enjeux scientifiques, afin d'éviter que la France ne se trouve en situation de dépendance dans des secteurs prioritaires tels que le numérique ou l'énergie. Il convient ainsi de disposer d'une capacité d'expertise complète et prospective de chaque dossier au bénéfice de la qualité des arbitrages gouvernementaux comme de l'information du Parlement.

Une dynamique positive enclenchée et poursuivie par le ministère en charge de la recherche

Des progrès ont été réalisés en ce sens depuis les derniers travaux de la Cour qui portaient, en 2009, sur le pilotage des TGIR. La direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI) du ministère chargée de la recherche s'est mobilisée et progressivement réorganisée.

La mise au point, dès 2008, d'une feuille de route régulièrement actualisée (en 2012, 2016 et 2018) permet de suivre l'état des infrastructures de recherches dépendant du ministère chargé de la recherche.

La création en 2012 du Haut comité pour les TGIR, organe consultatif de haut niveau, et du comité directeur des TGIR, présidé par le directeur général de la recherche et de l'innovation, a considérablement amélioré la capacité de pilotage des grands équipements. La première étude des coûts complets des infrastructures de recherche, lancée en 2016, illustre les changements positifs enregistrés. Ces derniers sont soutenus au meilleur niveau et de manière continue par les grands opérateurs de recherche, au premier rang desquels le CNRS et le CEA, responsables de la plupart des TGIR, tout comme l'Ifremer pour la flotte océanographique.

Trois axes de progression pour asseoir une stratégie nationale et un pilotage adapté

La Cour identifie cependant des marges de progrès de trois types.

Repenser la définition des infrastructures de recherche

Pourraient être prises en compte dans la feuille de route, qui deviendrait le support effectif d'une politique nationale, l'ensemble des infrastructures essentielles, pour tout ou partie de la recherche, sans faire intervenir les rattachements ministériels ou budgétaires.

La distinction entre infrastructures relevant de la catégorie des TGIR et infrastructures n'en relevant pas procède, pour l'essentiel, de conventions de portée administrative ou financière qui compromettent la lisibilité de la politique nationale, ainsi que la poursuite raisonnée d'une définition des priorités. Du reste, on constate l'absence dans la feuille de route d'équipements de premier ordre comme ITER ou le réacteur Jules Horowitz ou l'exclusion d'infrastructures de premier plan relevant d'autres ministères. Cette situation limite la compréhension des arbitrages à opérer en termes d'allocation de ressources qui se sont diversifiées (crédits budgétaires, PIA, crédits communautaires ou régionaux).

Renforcer le pilotage stratégique et opérationnel

Il s'agit de prolonger l'effort initié en 2012 pour renforcer la collégialité des décisions sur les TGIR et leur pilotage stratégique, même si les deux grands opérateurs en charge du pilotage opérationnel, le CNRS et le CEA, exercent une gouvernance de qualité. L'actuel comité directeur est trop restreint dans sa composition et devrait davantage s'ouvrir aux représentants d'autres ministères, notamment ceux chargés de la défense, de l'environnement, de l'énergie, sans compter la direction du budget ou le secrétariat général pour l'investissement, afin de préparer des choix interministériels de niveau national, européen et international. Une instance représentative des universités fait également défaut.

Si le pilotage de l'ensemble ainsi redéfini des infrastructures de recherche doit être davantage interministériel, encore faudrait-il qu'il soit mieux éclairé. Aujourd'hui, les évaluations scientifiques ou administratives se font en ordre dispersé et par à-coup. Les évaluations socio-économiques préalables aux investissements, pourtant obligatoires aux termes de la réglementation en vigueur, sont lacunaires voire inexistantes.

Améliorer l'information financière pour permettre des choix éclairés

En dernier lieu, le soutien national aux infrastructures de recherche essentielles requiert une amélioration de la qualité de l'information financière et budgétaire : en ces domaines, le suivi entretient, en l'état des nomenclatures actuelles, des zones d'opacité. La multiplication des états chiffrés et la diversité des points d'entrée ne permettent pas d'élaborer une vue d'ensemble sur l'année en cours ni, *a fortiori*, sur les perspectives pluriannuelles.

Le plan Action publique 2022, adopté par le Comité interministériel de la transformation publique du 29 octobre 2018, préconise de « clarifier la gestion des très grandes infrastructures de recherche ». L'enquête de la Cour n'étant pas un contrôle organique, elle n'est pas entrée dans le détail de la gestion de chaque TGIR.

Disposer d'une vision exacte et globale est un impératif qui en appelle un autre : l'anticipation. La nature des charges certaines et nouvelles doit être désormais modélisée faute de quoi le financement des infrastructures de recherche oscillera entre fuite en avant et risques de rupture. Les remises à niveau, les jouvences, les différents types de maintenance, les surcoûts, les démantèlements et l'émergence de projets nouveaux dont les coûts peuvent être très élevés sont autant de données essentielles qui font aujourd'hui l'objet d'une attention défaillante.

Le moment est propice à la mise en œuvre de directions renouvelées et d'un pilotage renforcé, compte tenu notamment des décisions prochaines sur le futur programme Horizon Europe et de ses déclinaisons en matière d'infrastructures de recherche.

Récapitulatif des recommandations

Mieux organiser le pilotage stratégique

Réunir dans un périmètre homogène les grandes infrastructures identifiées comme essentielles ou stratégiques pour tout ou partie de la recherche nationale [MESRI] (recommandation n° 1).

Intégrer au sein de la politique nationale portée par la feuille de route de la DGRI les infrastructures de recherche des autres départements ministériels lorsqu'elles se prêtent à des mutualisations [MESRI, CNRS, CEA, Ifremer, IPEV] (recommandation n° 2).

Élargir la composition du CD-TGIR et l'ériger en instance interministérielle de préparation des décisions pour l'ensemble des infrastructures de recherche [MESRI, SGPI, MEAE] (recommandation n° 6).

Développer une stratégie et une ingénierie d'influence dans l'Union européenne

Élaborer une stratégie de présence nationale continue et durable dans les organes d'expertise et de décision de l'Union européenne [MESRI, MEAE, CEA, CNRS, Ifremer, IPEV] (recommandation n° 3).

Affermir et outiller le pilotage opérationnel

Doter la gouvernance de chaque grande infrastructure française d'une lettre de mission du MESRI à chaque président, d'un plan stratégique évolutif, d'une revue biennale des performances et de quelques indicateurs robustes et harmonisés [MESRI, tous opérateurs de TGIR] (recommandation n° 4).

Dans le cadre du Comité d'orientation du numérique (CODORNUM), étudier l'élargissement du périmètre d'intervention de GENCI en matière d'infrastructures de calcul de la recherche ; mieux articuler les niveaux national et régionaux de l'organisation numérique du calcul et du stockage en France [MESRI, CEA, CNRS, CPU] (recommandation n° 5).

Prendre en compte et organiser le financement des besoins prévisibles

Établir dès à présent une programmation pluriannuelle qui intègre l'ensemble des déterminants de la dépense [MESRI] (recommandation n° 7).

Accélérer et approfondir la réflexion sur de nouveaux modèles économiques intégrant des industriels en amont des projets en tenant compte des orientations européennes [MESRI, CEA, CNRS] (recommandation n° 8).

Clarifier et rationaliser la présentation des financements, améliorer la transparence et la lisibilité de l'information financière

Fiabiliser les données contenues dans les documents budgétaires, en veillant notamment, pour le RAP 2021, en lien avec les opérateurs, à communiquer des chiffres sincères et actualisés et à harmoniser la méthodologie de comptabilisation de consommation des crédits au sein des programmes de la MIREs [MESRI, MACP (DB)] (recommandation n° 9).

Engager, au plus tard dans le PAP 2021, la rationalisation de la présentation budgétaire du programme 172 pour regrouper sur une seule action (action 13) les crédits consacrés aux grandes infrastructures de recherche, en distinguant les dépenses du titre 3 de celles du titre 6. [MESRI, MACP (DB)] (recommandation n° 10).

Enrichir l'information du Parlement

Enrichir l'information du Parlement, en complétant le « jaune » budgétaire « Rapport sur les politiques nationales de recherche et de formations supérieures », en lui transmettant les avis du HC-TGIR et les contre-expertises du SGPI, et en lui remettant lors du dépôt du PLF 2021, puis au moins tous les cinq ans, un rapport proposant des scénarios chiffrés à long terme [MESRI, MACP (DB)] (recommandation n° 11).

Introduction

Les infrastructures de recherche sont des équipements mis en œuvre par et pour les chercheurs, au service des fronts pionniers de la recherche, dans des domaines aussi divers que la physique nucléaire et les hautes énergies, les sciences de la matière, l'astrophysique, le calcul intensif, l'observation de l'environnement, la biologie ou les sciences humaines et sociales. Tous ces domaines de la recherche et les infrastructures associées présentent un caractère interdisciplinaire de plus en plus marqué dont résulte, corollairement, une interdépendance croissante entre acteurs de la recherche au niveau national, européen et international.

Des enjeux de divers niveaux

Le rôle des très grandes infrastructures n'a cessé de croître au fil des ans dans la recherche. Ce mouvement continue à s'accroître tant les évolutions scientifiques et technologiques les rendent de plus en plus indispensables aux communautés de chercheurs. Leur impact est également économique et industriel et devient stratégique pour les pays.

Pour la France, comme pour tous les États qui en disposent, les défis posés par les très grandes infrastructures de recherche sont d'ordres très divers, scientifiques, organisationnels, financiers mais ressortissent *in fine* de la nécessité de conjuguer des objectifs d'excellence scientifique, de souveraineté et de soutenabilité financière. Les grandes infrastructures de recherche contribuent en effet à positionner un pays au sein des puissances scientifiques mondiales et à lui éviter de subir une situation de dépendance technologique s'agissant de besoins fondamentaux tels que l'énergie et le numérique. La France est particulièrement concernée par ces défis et doit se préparer à des choix réfléchis. Possédant un grand nombre d'infrastructures de niveau mondial, elle est chef de file de programmes de pointe (comme les nouveaux projets européens dans le numérique) et ses chercheurs sont à l'origine d'infrastructures nouvelles voire de rupture (comme dans le domaine des lasers).

De son côté, la Commission européenne dispose de programmes axés notamment sur l'harmonisation communautaire des grandes infrastructures de recherche, qu'il s'agisse de leur priorisation, de leur localisation ou de leur financement. L'échelon européen est appelé à s'impliquer de plus en plus dans la construction et la propriété des infrastructures continentales. La compétition, à la fois internationale et intra européenne, est en partie organisée par la Commission dont l'objectif est de parvenir à construire des infrastructures de niveau mondial.

Tous les domaines de la recherche sont concernés

La physique fondamentale et l'astrophysique sont les domaines scientifiques les plus anciennement concernés par les grands instruments de recherche. Les découvertes qui ont pu se passer des grandes infrastructures de recherche pour voir le jour sont quasi inexistantes. Certaines avancées sont si difficiles d'accès que la coopération internationale entre plusieurs grandes infrastructures est indispensable pour obtenir le résultat recherché comme ce fut le cas récemment pour la « photographie » d'un trou noir. L'interdisciplinarité entre physique fondamentale et astronomie a considérablement progressé dans les dernières décennies grâce

en particulier à de très grandes infrastructures situées au sol ou évoluant dans l'espace. Les rapprochements entre grands télescopes et radiotélescopes au sol et les observatoires spatiaux permettent l'accès à tout le spectre électromagnétique. L'accès au calcul à haute performance autorise de nouvelles simulations numériques. Les coûts de ces équipements ont entraîné une coopération internationale importante ainsi que la recherche de nouveaux modèles économiques incluant les industriels en amont.

Dans le domaine des sciences de la matière, étroitement associé à celui de la physique fondamentale, les accélérateurs de particules et les faisceaux de neutrons sont également des infrastructures de recherche utilisées dans des champs divers. De nombreux verrous technologiques sont à l'étude comme l'accélération par plasma. Par ailleurs, les détecteurs d'ondes gravitationnelles sont désormais un instrument essentiel en physique fondamentale. Les lasers de forte puissance pourraient être utilisés à terme pour la construction des futures générations d'accélérateurs de particules. Dans ces domaines, les grandes infrastructures performantes sont la condition *sine qua non* de l'avancement de la science. Elles sont également des lieux d'accueil où se rencontrent les chercheurs de tous horizons, dès lors en mesure de coécrire, parfois en très grand nombre, des articles de rupture.

Un autre domaine, celui de l'environnement et du système terre au sens large, couvre des champs d'expérimentations très vastes comme la terre interne, l'atmosphère, les océans et le littoral, les surfaces continentales, la biodiversité et les écosystèmes. L'acquisition des données nécessite des infrastructures « logistiques » qui permettent aux chercheurs de réaliser des observations, des prélèvements, des expériences *in situ*, pour comprendre et prédire le fonctionnement de la terre, la mesure en temps réel de la température et de la salinité des océans, du cycle du carbone, des flux et concentrations atmosphériques des eaux de surface océaniques en gaz à effet de serre. Dans le contexte actuel de dérèglement climatique et environnemental, l'enjeu sociétal et économique de cette recherche fondamentale est manifeste. Les infrastructures françaises du secteur, notamment océanographiques, sont parmi les premières au monde.

Les sciences humaines et sociales (SHS) sont le dernier domaine à être entré dans le circuit des très grandes infrastructures. Elles ont pris un essor européen et international notable avec le numérique distribué puis le web qui ont depuis les années 1990 profondément transformé les conditions de travail des chercheurs en leur donnant accès à une masse documentaire sans précédent et à des outils d'analyse renouvelés. Les défis sont nombreux, en termes de mutualisation, d'interopérabilité et de confrontation des sources, de reproductibilité des expériences, d'élargissement des objets étudiés, etc. Si les équipements logistiques sont beaucoup moins spectaculaires que dans les « sciences dures », ils contribuent à la connaissance de la complexité sociale et à l'aide à la décision.

À la confluence de tous ces enjeux scientifiques, la puissance de calcul et la gestion de la donnée jouent un rôle crucial. Toutes les disciplines aujourd'hui – demain encore plus – recourent au calcul intensif et ont besoin de stockage et de transport de données, avec quelques « gros consommateurs » comme les sciences de la terre (notamment la climatologie), la physique et l'astrophysique, la chimie, la médecine et les sciences humaines et sociales. Il est aujourd'hui admis que la simulation numérique est devenue le troisième pilier de la science, avec la théorie (modélisation) et l'observation/expérimentation.

Le cadre européen est structurant pour l'offre de calcul, établissant des hiérarchies de puissance de machines au niveaux européen, national et régional selon leurs catégories. Cette présence s'exerce *via* plusieurs directions et de nombreux programmes de la Commission. Le numérique est un domaine dans lequel la France possède des infrastructures de recherche reconnues comme de premier ordre.

Si les domaines précités, et en premier lieu les sciences de la matière et de la physique au sens large, se sont structurés depuis les lendemains de la deuxième guerre mondiale et ont contribué aux premières politiques publiques de recherche, il n'en a pas été de même d'autres domaines, aux communautés plus disséminées et dont le besoin en grandes infrastructures s'est accéléré plus tard. Tel est le cas du secteur de la biologie santé. Soumis à une dure concurrence internationale, il mobilise des infrastructures de recherche en génomique, protéomique, bioinformatique, imagerie cellulaire et du petit animal, exploration fonctionnelle, biologie structurale, recherche clinique. En France, cependant, même si certaines de ces infrastructures nationales sont les composantes françaises des infrastructures européennes et si plusieurs initiatives de structuration ont eu lieu depuis quinze ans, le secteur de la biologie santé n'a pas de très grande infrastructure de recherche pour des raisons historiques et culturelles.

Le présent rapport est assorti d'un cahier complémentaire par grand domaine de recherche, qui comprend également une brève présentation d'ITER.

Le périmètre de l'enquête

Aujourd'hui, la feuille de route 2018 de la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGRI) du ministère de l'enseignement supérieur et de l'innovation (MESRI) dresse une liste de 99 infrastructures de recherche, réparties en trois catégories : 5 organisations internationales (OI, dont un « instrument » d'OI), 22 très grandes infrastructures de recherche (TGIR), 68 infrastructures de recherche (IR). Y figurent également quatre « projets ».

Le présent rapport, initialement axé sur les seules TGIR, a dû élargir le champ de ses analyses en tant que de besoin aux autres catégories. Compte tenu de leur taille, de leur coût, de leur histoire parfois, de leur pilotage national commun et des contextes européen et international dans lesquels toutes ces infrastructures évoluent, l'élargissement de la perspective était indispensable pour apprécier la qualité de leur conduite stratégique et financière eu égard aux enjeux qu'elles représentent.

L'enquête s'est déroulée en 2018, année où paraissait une nouvelle feuille de route d'ESFRI (*European Strategy Forum on Research Infrastructures*), l'organe de référence européen en matière d'infrastructures de recherche, où la DGRI présentait les conclusions de son étude sur les coûts complets des TGIR et où de nouveaux programmes européens étaient mis en place.

Les conséquences possibles du Brexit, qui pourraient remettre en cause les statuts ou la gouvernance d'un certain nombre d'infrastructures européennes, n'ont pas été instruites.

Le premier chapitre aborde les principes et objectifs qui conduisent à la qualification de TGIR, leur périmètre ainsi que les défis européens et internationaux auxquels les infrastructures de recherche sont confrontées.

Le deuxième chapitre analyse les systèmes de décision concernant les IR et TGIR, leur pilotage stratégique et opérationnel, leur gouvernance et leurs modes d'évaluation.

Dans un troisième chapitre, le rapport décompose l'effort budgétaire global, décrit l'organisation des circuits de la dépense publique et propose que soit mise en œuvre une méthode d'évaluation des coûts futurs.

Tableau n° 1 : les 22 TGIR et les 5 OI (dont l'instrument de l'ESO)

<i>Sigle</i>	Nom développé	Catégorie (TGIR/OI)	Localisation (siège ou site principal)	Domaine (feuille de route 2018 de la DGRI)	Type d'équipement
<i>ESO</i>	<i>European Southern Observatory</i> (observatoire européen austral)	OI	Chili	Astronomie et astrophysique	Observatoire astronomique
<i>Dont : ESO-ALMA</i>	<i>Atacama Large Millimeter Array</i> (grand réseau millimétrique de l'Atacama)	Instrument de l'ESO	Chili		Observatoire astronomique
<i>CTA</i>	<i>Cherenkov Telescope Array</i> (réseau de télescopes Tcherenkov)	TGIR	Chili et Espagne		Observatoire astronomique
<i>IRAM</i>	Institut de radioastronomie millimétrique	TGIR	Saint-Martin-d'Hères, France		Observatoire astronomique
<i>CFHT</i>	<i>Canada France-Hawaii Telescope</i> (Télescope Canada France-Hawaï)	TGIR	Hawaïi		Observatoire astronomique
<i>EMBL</i>	<i>European Molecular Biology Laboratory</i> (Laboratoire européen de biologie moléculaire)	OI	Heidelberg, Allemagne	Biologie et santé	Notamment base de données de l'Institut européen de bio-informatique (<i>European Bioinformatics Institute, EBI</i>)
<i>GENCI</i>	Grand équipement national de calcul intensif	TGIR	Paris, France	e-infrastructures	Supercalculateurs
<i>RENATER</i>	Réseau national de télécommunications pour la technologie, l'enseignement et la recherche	TGIR	Paris, France		Réseau informatique
<i>CERN</i>	Centre européen pour la recherche nucléaire	OI	Meyrin, Suisse		
<i>Dont : LHC</i>	<i>Large Hadron Collider</i> (grand	TGIR	Genève, Suisse		Accélérateur de particules

<i>Sigle</i>	Nom développé	Catégorie (TGIR/OI)	Localisation (siège ou site principal)	Domaine (feuille de route 2018 de la DGRI)	Type d'équipement	
	collisionneur de hadrons)			Physique nucléaire et des hautes énergies		
<i>FAIR</i>	<i>Facility for Antiproton and Ion Research</i> (Dispositif pour la recherche sur les ions et les antiprotons)	TGIR	Darmstadt, Allemagne		Accélérateur de particules	
<i>GANIL</i>	Grand accélérateur national d'ions lourds	TGIR	Caen, France		Accélérateur de particules	
<i>EGO VIRGO</i>	<i>European Gravitational Observatory – Virgo</i> (observatoire gravitationnel européen – Virgo)	TGIR	Cascina, Italie		Détecteur d'ondes gravitationnelles	
<i>ESS</i>	<i>European Spallation Source</i> (source européenne par spallation)	TGIR	Lund, Suède	Sciences de la matière et ingénierie	Accélérateur de particules (faisceaux de neutrons)	
<i>ILL</i>	Institut Laue-Langevin	TGIR	Grenoble, France		Réacteur nucléaire (faisceau de neutrons)	
<i>LLB/Orphée</i>	Laboratoire Léon Brillouin/Orphée	TGIR	Gif-sur-Yvette, France		Réacteur nucléaire (faisceau de neutrons)	
<i>E-XFEL</i>	<i>European X-Free Electron Laser</i> (laser européen à électrons libres et à rayons X)	TGIR	Schenefeld, Allemagne		Accélérateur de particules (faisceaux de photons)	
<i>ESRF</i>	<i>European Synchrotron Radiation Facility</i> (source européenne de rayonnement synchrotron)	TGIR	Grenoble, France		Accélérateur de particules (faisceaux de photons)	
<i>SOLEIL</i>	Source Optimisée de Lumière d'Énergie Intermédiaire du LURE	TGIR	Gif-sur-Yvette, France		Accélérateur de particules (faisceaux de photons)	
<i>Huma-Num</i>	Humanités numériques	TGIR	Paris , France		Sciences humaines et sociales	Stockage et traitement de données
<i>ProGeDo</i>	Production et gestion de données	TGIR	Paris, France			Production et gestion de bases de données statistiques

<i>Sigle</i>	<i>Nom développé</i>	<i>Catégorie (TGIR/OI)</i>	<i>Localisation (siège ou site principal)</i>	<i>Domaine (feuille de route 2018 de la DGRI)</i>	<i>Type d'équipement</i>
<i>CEPMMT</i>	Centre européen de prévisions météorologique à moyen terme	OI	Reading, Royaume-Uni	Système Terre et environnement	Supercalculateurs
<i>Euro-Argo</i>	-	TGIR	Plouzané, France		Flotteurs (observation des océans)
<i>ICOS France</i>	<i>Integrated Carbon Observation System</i> (système intégré d'observation du carbone)	TGIR	Villeneuve d'Ornon, France		Divers centres et laboratoires
<i>Concordia</i>	-	TGIR	Antarctique		Base de recherche polaire
<i>ECORD</i>	<i>European Consortium for Ocean Research Drilling</i> (consortium européen pour le forage océanographique)	TGIR	Aix-en-Provence, France		Organisation d'expéditions de forage (pas de matériels propres)
<i>FOF</i>	Flotte océanographique française	TGIR	Toulon, Brest (France)		Navires océanographiques et engins embarqués

Source : Cour des comptes

Chapitre I

Mieux définir les infrastructures essentielles de recherche dans un contexte européen et international prégnant

Les très grandes infrastructures de recherche représentent un intérêt scientifique majeur pour les communautés nationales et internationales de chercheurs. Ces équipements sont construits en vue de faire reculer les frontières de la connaissance « *jusqu'à des extrêmes que seules des réalisations technologiques majeures permettent de confronter à la réalité expérimentale* »¹. Suivant le mouvement général de la recherche, ils sont conçus et utilisés dans un cadre de plus en plus international. Ils nécessitent souvent des investissements majeurs et des dépenses de fonctionnement qu'un État ne peut pas assumer seul. Ils se développent aujourd'hui dans un système national (I), largement inscrit dans un cadre européen (II) et dans un contexte international (III).

I - Un système national en structuration continue

La physique nucléaire, des hautes énergies, des sciences de la matière et de l'astrophysique ont longtemps été les seuls domaines concernés par les « très grands équipements de recherche » (TGE), sous la responsabilité du CNRS et du CEA². À partir de 2008, à la suite d'un rapport du Haut conseil de la science et de la technologie³, ces grands équipements s'étendent à tous les domaines de la recherche et sont regroupés en TGIR et IR sur une feuille de route nationale.

¹ Note GENCI pour la Cour des comptes du 14 septembre 2018.

² En dépit de la création en 1982 du Conseil supérieur de la recherche et de la technologie (CSRT), chargé d'élaborer une politique nationale de la recherche.

³ La même année, un haut conseil de la science et de la technologie (HCST) est mis en place en France. Cette instance consultative placée auprès du Président de la République émet dès 2007 un avis sur les TGIR, qui débouche un an plus tard sur la feuille de route.

Depuis 2008, trois feuilles de route nationales ont été élaborées, en 2012, 2016 et 2018. Elles résultent chaque fois d'une revue stratégique intégrant les diverses communautés scientifiques et sont calées sur le calendrier de l'*European Strategy Forum on Research Infrastructure* (ESFRI)⁴.

A - La feuille de route nationale des infrastructures de recherche : évolution des définitions, stabilité des exclusions

Les principes qui régissent les IR et TGIR apparaissent assez stables, avec des précisions progressives souvent liées au cadre européen. Un point essentiel a toutefois été établi dès 2008 et n'a pas été modifié : la liste du ministère de la recherche « *ne prend pas en compte les secteurs de l'espace et de la défense* ».

1 - La définition des infrastructures de recherche de la feuille de route

a) Les critères et objectifs du MESRI

Depuis 2008, le MESRI s'efforce de préciser les définitions des infrastructures et leurs critères d'appartenance aux catégories labellisées par la feuille de route. Ces critères sont trop nombreux et généraux pour constituer un tableau permettant d'aboutir à une définition stable. La plupart des critères retenus s'adaptent aux TGIR aussi bien qu'aux IR. Ils peuvent également convenir à d'autres grands équipements scientifiques qui ne sont pas sur la feuille de route du MESRI. De fait, cette batterie de critères n'est pas discriminante.

Les critères et objectifs définis par la DGRI dans les feuilles de route

En 2008, les critères de labélisation sont scientifiques (réponse aux besoins de la communauté scientifique ; qualité de la production scientifique attendue), pédagogiques (ouverture aux doctorants et post-doctorants) et de l'ordre du transfert de connaissances, notamment en direction du monde industriel. Les objectifs, de leur côté, sont d'abord fonctionnels, avec la distinction entre TGIR « de programmes » ou « de service ». Ils sont aussi géostratégiques, avec une logique de compétition internationale explicitement mentionnée. Sont ainsi distingués les projets globaux, le plus souvent construits et exploités par des OI (LHC [CERN], ALMA [ESO] ou ITER), des projets de dimension pan européenne pouvant « entrer dans une logique de compétition avec leurs équivalentes au Japon ou aux États-Unis » (ESRF, ILL ou CEPMMT) et celles « de dimension nationale avec néanmoins des collaborations sinternationales (SOLEIL) ». L'articulation européenne est revendiquée pour les 90 infrastructures de la feuille de route. Dès 2006, 35 d'entre elles figuraient déjà dans la feuille de l'instance européenne de référence, l'ESFRI.

⁴ Ou Forum Stratégique européen pour les infrastructures de recherche, dont la première édition date de 2006, voir détail au chapitre I, II, A,4.

Dans la feuille de route 2012, les critères demeurent inchangés et sont enrichis des précisions suivantes : les IR et TGIR doivent faire l'objet d'une gouvernance identifiée, d'un plan de financement et d'un budget consolidé, traduit au moyen d'actions budgétaires dans les programmes de la LOLF. Ces infrastructures doivent disposer de caractéristiques uniques et requises pour la conduite d'activités de recherche de haut niveau. Elles s'inscrivent dans la durée avec une priorisation budgétaire.

Des objectifs ambitieux sont fixés : être au premier rang dans la construction d'une Europe des infrastructures ; assurer la présence française dans les grands programmes internationaux ; servir l'ensemble des enjeux de société identifiés ; soutenir les besoins des communautés de chercheurs notamment la recherche fondamentale dans tous les secteurs de la connaissance ; renforcer les partenariats avec les secteurs économiques fournisseurs et utilisateurs ; contribuer à la dynamique européenne dans le domaine du numérique et des « e-infrastructures » de recherche de manière générale.

L'accent est mis sur la pluridisciplinarité et sur la complémentarité des IR et TGIR, « *navires amiraux* » dont le maillage est essentiel dans une période d'échanges accrus entre disciplines marquée par la rationalisation budgétaire, et qui contribuent à l'effort de formation, de culture et de communication scientifiques.

Les feuilles de route 2016 et 2018 confirment les critères et objectifs posés en 2008 et 2012⁵. La fonction économique des IR/TGIR est détaillée en 2016⁶. En 2018, l'obligation est faite aux infrastructures de disposer d'instances d'évaluation adéquates.

b) La différence entre TGIR et IR vue par les opérateurs

Les IR et TGIR constituent un élément clé de la stratégie des opérateurs (majoritairement CNRS et CEA). Elles viennent en support direct des travaux de leurs propres équipes de recherche (souvent en partenariat étroit avec d'autres organismes ou des universités) et permettent la valorisation de leurs compétences technologiques. La DGRI précise que l'inscription d'une infrastructure de recherche sur la feuille de route est aussi le résultat d'une stratégie d'établissement. Elle admet que d'autres équipements spécialisés créés à l'initiative d'organismes de recherche pourraient également satisfaire les critères de la feuille de route, parfois à une échelle plus modeste.

Le CEA et le CNRS gèrent ou cogèrent 19 des 22 TGIR existantes en 2018. Les autres opérateurs ainsi que les universités sont des participants, contributeurs et utilisateurs importants des TGIR, mais leur présence et leur rôle sont relativement peu visibles.

⁵ Qui sont conformes aux définitions posées par les Règlements européens sur les infrastructures de recherche de 2009 et 2013.

⁶ « Une infrastructure de recherche est souvent un lieu privilégié de collaboration avec le secteur économique, notamment dans les phases de conception, d'ingénierie et de mise en service, mais également par la possibilité de lever des verrous technologiques conduisant ainsi à des innovations. Ceci peut également se concrétiser par la formation et la diffusion de connaissances ».

Les opérateurs ont une vue plus ramassée et plus opérationnelle des critères que doit remplir une TGIR par rapport à une IR. Selon eux, les caractéristiques de la labélisation en TGIR sont au nombre de quatre : il s'agit d'infrastructures cruciales et structurantes pour la recherche indépendamment de leurs coûts ; elles représentent un investissement qui s'il n'est pas réalisé fait perdre des années de recherche ; elles sont pérennes et en quelque sorte « sanctuarisées » dans leur financement ; enfin, elles ont nécessairement un impact international.

Ces critères de bon sens sont marqués par l'intérêt bien compris des opérateurs. La catégorie des TGIR protège à leurs yeux la pérennité de champs de la recherche qui s'inscrivent par nature dans la longue durée selon une double garantie : la reconnaissance stratégique d'un domaine de la recherche et une affectation des ressources figée dans l'architecture budgétaire de la MIREs.

2 - Un périmètre limité qui exclut nombre d'infrastructures

Selon une estimation de la DGRI, une soixantaine d'importantes installations ne disposent pas du « label » IR ou TGIR. Les plus significatives sont citées ci-après.

a) Des infrastructures relevant du MESRI : ITER et le Réacteur Jules Horowitz

Le programme ITER⁷ et le Réacteur Jules Horowitz (RJH) figuraient sur la feuille de route de 2008 mais ont disparu des suivantes tout en restant financées par la MIREs (*mission interministérielle recherche et enseignement supérieur*)⁸ sur des programmes budgétaires différents. Cette exclusion s'explique, selon la DGRI, par le fait que « les infrastructures très applicatives [...] ne rentrent pas dans le champ des infrastructures de recherche pour lesquelles une ouverture plus large sur les communautés scientifiques avec un soutien des projets sur la base de l'excellence scientifique est attendu ». Ces deux infrastructures sont essentiellement gérées par le CEA pour la France.

ITER a une incontestable vocation scientifique, même si ce programme mondial, dans lequel la France est représentée par la Commission européenne, a une finalité applicative énergétique, la fusion nucléaire pouvant permettre, une fois maîtrisée, une énergie abondante et à faible impact environnemental.

Le choix d'exclure RJH de la liste des TGIR s'explique aussi probablement par son accès non ouvert et sa vocation industrielle. S'il ne figure plus sur la feuille de route DGRI, il est cependant toujours présent sur celle d'ESFRI, qui le qualifie d'infrastructure-clé pour la communauté internationale du nucléaire. Ce projet débuté en 2007, situé à Cadarache sur le site du CEA, et toujours en cours de construction, est destiné à fournir des données sur l'énergie nucléaire et le comportement des matériaux exposés à de hauts stress.

Tant sur un plan scientifique que financier, il serait logique d'intégrer ces deux projets dans une feuille de route élargie pilotée par un comité directeur des grandes infrastructures de recherche⁹ dans leur ensemble.

⁷ Voir présentation en cahier complémentaire.

⁸ Voir chapitre III.

⁹ Voir chapitre II.

b) Des infrastructures de recherche d'autres départements ministériels

Un postulat a été posé en 2008 : la liste des TGIR (soit, à l'époque, toutes les infrastructures sélectionnées sur la feuille de route) ne prend pas en compte les secteurs de l'espace et de la défense. Pourtant, les installations de ces secteurs, supposées non ouvertes, accueillent parfois des programmes de recherche internationaux ou bénéficient de financements européens de la recherche.

Du fait des impératifs budgétaires croissants et d'objectifs scientifiques proches, des coopérations se mettent en place entre ces infrastructures et celles relevant de la DGRI. Dans le domaine spatial, le Centre national d'études spatiales (CNES, qui relève du programme budgétaire 193 géré par la DGRI) dispose de ses propres équipements de recherche (salles blanches, salles de montage de satellites, centres d'essais de propulseurs, etc.) mais des coopérations significatives avec des IR et TGIR de la feuille de route DGRI sont déjà en place et devraient se développer, notamment entre le traitement des données issues de l'observation spatiale et celui des informations assemblées par les mesures *in situ* (océanographiques par exemple)¹⁰. L'intérêt de tels rapprochements est scientifique mais aussi financier, en particulier du point de vue de la capacité de calcul et de stockage nécessaire. L'intérêt de maintenir ces infrastructures d'usage commun hors du champ des IR/TGIR paraît de moins en moins justifié.

Dans le champ de l'aéronautique, de la défense et de l'environnement, les chambres anéchoïques et souffleries de l'ONERA, les bassins d'essais hydrauliques de la DGA, les centres d'essais des propulseurs d'avions, le laser Mégajoule (LMJ) du CEA sont des équipements de recherche dont le degré d'ouverture est variable. Certains ne sont toutefois pas totalement étanches par rapport aux IR/ TGIR de la DGRI. Ainsi l'IR Petal qui figure sur la liste DGRI est adossée à LMJ. Concernant le calcul, ce sont les mêmes équipes du CEA/DAM qui ont la charge d'exploitation du TGCC et du très grand centre de calcul TERA1000. Les deux supercalculateurs de forte puissance de Météo France, Prolix2 et Beaufix2, situés en novembre 2018 aux 89^e et 90^e places du Top 500 mondial ne sont pas classés TGIR. Météo France va en acquérir prochainement un troisième, destiné à mieux prévoir le climat et ses risques par la simulation numérique.

Au-delà de ce premier constat, il convient de noter que le domaine du calcul intensif, dont la montée en puissance correspond à des enjeux considérables, pourrait être le front pionnier de synergies nouvelles entre recherches civile et militaire. Selon un rapport d'information de mai 2018 de l'Assemblée nationale¹¹, la recherche civile (académique ou appliquée) peut être indirectement à l'origine de services et dispositifs duaux utiles à la défense nationale, par exemple dans la modélisation et la simulation numérique, le développement de briques matérielles et logicielles spécifiques, la robotique et les drones, l'aide à la décision, l'intelligence artificielle et la « fouille de données » (*data mining*). Ce constat peut conduire à encourager des synergies opérationnelles entre le monde civil et celui de la défense pour les TGIR et IR concernées, pouvant déboucher à terme sur la mutualisation d'infrastructures de recherche civiles et militaires dans le domaine du calcul.

¹⁰ Ces deux approches se révélant de plus en plus complémentaires pour une bonne compréhension du « système Terre ». Ainsi ont commencé un partage de données avec l'Ifremer, *via* le supercalculateur Datarmor de ce dernier et plus largement une coopération avec l'IR Pôle de données système Terre, ou bien avec l'INSU (Institut national des sciences de l'univers du CNRS), qui recueille des données d'observation de l'univers *via* des IR telles que Lter ou IAGOS. Les deux organismes travaillent sur une IR qui rassemblerait ces données.

¹¹ *Défense : enjeux de la numérisation des armées*, commission de la défense nationale et des forces armées, Assemblée nationale, 30 mai 2018.

Au titre des bonnes pratiques déjà existantes, la coopération de la Marine nationale avec les TGIR FOF, Concordia et Euro Argo peut être mentionnée.

La coopération avancée de la Marine nationale avec des TGIR civiles

Le premier exemple concerne la TGIR FOF. Le service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM) a besoin d'informations scientifiques permanentes et actualisées et coopère dans ce sens avec la TGIR et avec l'Ifremer. Certains achats de navires (le *Pourquoi pas ?* et le *Beautemps-Beaupré*) ont été réalisés en commun, chacun bénéficiant d'un droit d'utilisation au prorata de son investissement. Il existe aussi des « droits de tirage » sur des navires appartenant à FOF. Une réflexion est actuellement en cours sur l'élargissement de cette coopération à tous les bâtiments de FOF.

Il en va de même avec la TGIR Concordia où la Marine nationale et les TAAF (Terres australes et antarctiques françaises) se répartissent l'utilisation de l'Astrolabe, acheté essentiellement par les TAAF et armé par la Marine, qui a récupéré en 2018 sa compétence sur les glaces où elle exerce une police des pêches.

Enfin le SHOM utilise le programme océanographique Coriolis de la TGIR Euro Argo.

La qualité et l'approfondissement des coopérations entre infrastructures relevant ou non de la feuille de route laissent penser que le périmètre actuel des IR/TGIR de la feuille de route du MESRI n'est pas de nature à garantir une vision globale, scientifique et financière, des grandes infrastructures de recherche françaises.

B - Les éléments de structuration actuels

La liste des infrastructures de recherche établie par la DGRI en 2018 s'ordonne selon deux axes : l'assignation à une catégorie, la détermination du ou des domaines de recherche dont elles relèvent.

1 - Les évolutions des catégories

C'est en 2012 qu'apparaît la classification toujours actuelle en quatre catégories. La DGRI précise que le niveau d'excellence est le même pour toutes, sans hiérarchie de qualité :

- les **OI** (« **organisations internationales** ») sont liées à des accords passés par la France ; s'y ajoute en 2018 une catégorie nouvelle, « l'instrument apparenté OI¹² » ;
- les **TGIR** (« **très grandes infrastructures de recherche** »), qui relèvent *d'une politique nationale ou d'une stratégie gouvernementale et sont identifiées au moyen de plusieurs actions de la LOLF*. Le texte de 2018 précise que « *les TGIR sont sous la responsabilité scientifique des opérateurs de recherche* » ;
- les **IR** (« **infrastructures de recherche** »), mises en œuvre par les Alliances¹³ ou leurs membres ou par des établissements publics pour des missions particulières. La mention de

¹² Il s'agit pour la DGRI d'assurer un suivi distinct de cette infrastructure au sein de l'ESO.

¹³ Voir détail au chapitre II, I, C,2.

la labellisation « *par des programmes incitatifs de type Equipex* » présente en 2016 a disparu en 2018 ;

- les **projets**, caractérisés en 2018 : tout en répondant aux exigences des critères énoncés, ils n'ont pas encore acquis leur pleine maturité. Ils sont placés dans une phase transitoire et feront l'objet d'une nouvelle analyse pour la prochaine feuille de route.

Tableau n° 2 : répartition des infrastructures entre catégories dans les différentes feuilles de route de la DGRI

	2008	2012	2016	2018
<i>OI</i>	90 TGIR	3	5	5 (4+ 1 « instrument »)
<i>TGIR</i>		18	20	22
<i>IR</i>		43	61	68
<i>Projets</i>		7	9	4
<i>Total</i>		71	95	99

Source : feuilles de route de la DGRI

Les TGIR sont les infrastructures les plus stables, ce qui n'est pas le cas des IR. En effet, sur les 22 TGIR actuelles, 20 figurent déjà sur la feuille de route de 2008 (ont été ajoutées, en 2012, Huma-Num, pour les sciences humaines et sociales et en 2018, LHC, en physique nucléaire et des hautes énergies, présentée à part du CERN). Deux TGIR de 2012 ont évolué dans une autre direction : ESO ALMA (observatoire astronomique) est devenue en 2018 « instrument de l'ESO » (catégorie nouvelle) et EMBL, dans le domaine de la biologie santé, est devenue OI. À l'inverse, plus de la moitié des IR sont, par rapport à celles de 2008, nouvelles en 2018. Corrélativement, un grand nombre d'IR de 2008 ont été déclassées ou ont disparu.

Les IR et TGIR peuvent être monosites dans le cas de grands équipements physiques (26), distribuées sur plusieurs sites en France ou dans d'autres pays (64), virtuelles ou de réseaux (9).

2 - L'élargissement des secteurs des IR/TGIR au fil des ans

Les IR/TGIR ont été réparties en 2008 en sept secteurs de recherche puis en neuf en 2012. La feuille de route 2016 fixe les dénominations des neuf domaines¹⁴, auxquels s'ajoutent en 2018, les « e-infrastructures »¹⁵ qui comprennent les deux TGIR GENCI et RENATER. Cette nouvelle nomenclature permet de distinguer les outils/réseaux et la recherche en numérique. Sur les 99 infrastructures de la feuille de route 2018, 22 sont à double ou triple appartenance sectorielle, les infrastructures étant d'usage de plus en plus polyvalent.

¹⁴ SHS ; sciences du système Terre et environnement ; Énergie ; Sciences de la matière et ingénierie ; biologie et santé ; physique nucléaire et des hautes énergies ; sciences et technologies du numérique ; mathématiques ; Information scientifique et technique. Les secteurs mentionnés en 2012 sont maintenus, à l'exception notable des Sciences Agronomiques, écologiques et environnementales, disparues en 2016 (mais dont les projets seront récupérés pour la plupart en « sciences du système Terre et de l'environnement »).

¹⁵ Autrefois dénommées « Données, calcul, services ou sciences du numérique et mathématiques ».

Tableau n° 3 : nombre d'infrastructures par type et par secteur en 2018

<i>Domaines</i>	Total	OI	TGIR	IR	Projets	Double appartenance
<i>Sciences humaines et sociales</i>	6		2	4		1 TGIR et 4 IR
<i>Sciences du système Terre et environnement</i>	25	1	5	18	1	3 IR
<i>Énergie</i>	5			5		1 IR (triple appartenance)
<i>Biologie et santé</i>	24	1		22	1	3 IR
<i>Sciences de la matière et ingénierie</i>	16		6	10		1 IR
<i>Astronomie et astrophysique</i>	12	2 (1+1 instrument de recherche)	4	5	1	2 TGIR et 2 IR
<i>Physique nucléaire et hautes énergies</i>	12	1	5	6		2 TGIR et 2 IR
<i>Recherche en sciences du numérique ; mathématiques</i>	2			1	1	
<i>Information scientifique et technique</i>	6		1	5		1 TGIR et 3 IR
<i>e-infrastructures</i>	4		2	2		
<i>Total des mentions par secteur</i>	112	4 + 1 instrument	25	78	4	
<i>Total des infrastructures physiques</i>	99	5	22	68	4	

Source : Cour des comptes à partir de la feuille de route DGRI 2018

La répartition actuelle des TGIR, OI, IR et projets entre catégories et entre domaines apparaît comme le résultat de l'exercice stratégique national mené depuis dix ans par la DGRI. Elle s'explique également par des facteurs historiques et des différences de cultures entre disciplines.

Les domaines de la matière, de la physique nucléaire et de l'astrophysique, à l'origine de la politique publique en faveur de la recherche au lendemain de la 2^e Guerre Mondiale, depuis longtemps structurés autour de grands équipements, largement financés par l'État, sont défendus et promus par leurs communautés de recherche depuis plusieurs décennies¹⁶. Il en résulte qu'ils dominent la catégorie des TGIR.

¹⁶ Le rapport du conseil supérieur de la recherche et de la technologie de 2011 observe « un décalage entre la communauté des physiciens, dotés d'une solide expérience de près de 60 ans depuis la création du CERN, et les autres communautés dont la culture est très différente ». *Recommandations du CSRT sur les très grandes infrastructures de recherche*, adopté le 12 octobre 2011 en séance plénière à l'unanimité.

D'autres communautés, comme les SHS, ont su imposer récemment – y compris comme TGIR- leur présence sur la feuille de route, soutenues en cela par le même mouvement en Europe et dans le monde. Inversement, l'absence de TGIR dans le secteur de la biologie santé est à remarquer. Les communautés de ce secteur, qui disposent de 22 IR, sont moins concentrées et appartiennent à un environnement industriel et scientifique longtemps plus réticent à rechercher une structuration et une labélisation de leurs grandes infrastructures sous l'égide de l'État que d'autres domaines. Cependant, les coûts croissants, le développement de l'interconnexion des disciplines et les exigences du calcul intensif sur des données massives, leur imposent de trouver des regroupements et financements.

Un tableau retraçant l'évolution de chaque TGIR et OI depuis 2008, par domaine, figure en annexe n° 3.

II - Un cadre européen et international déterminant

A - Les infrastructures de recherche en UE : un paysage institutionnel complexe

Le cadre européen se présente aujourd'hui comme un paysage institutionnel complexe où la distribution des compétences n'est pas toujours très lisible et où les infrastructures font l'objet à la fois de partenariats de compétition.

1 - Un long chemin

Les infrastructures de recherche ont fait une entrée tardive dans la politique de recherche européenne, en 2008. Depuis 2010, la gouvernance de l'espace européen de la recherche (EER) repose sur l'ERAC (*European Research Area Committee*)¹⁷, comité consultatif d'orientation stratégique, composé de tous les États membres, de la Commission et coprésidé par cette dernière et un État. Ce comité comprend aujourd'hui six groupes thématiques dont un en charge des infrastructures de recherche (l'ESFRI, cf. *infra*). Leur financement relève en grande part du 8^e et actuel PCRD - appelé Horizon 2020 (H2020, 2014-2020). Le 9^e et prochain PCRD, qui couvre la période 2021-2027, s'intitule « Horizon Europe »¹⁸.

En juillet 2012, les infrastructures de recherche sont présentées comme une des six priorités de la recherche européenne. Il s'agit de « *renforcer la coopération et la concurrence transnationales, notamment en créant et en exploitant efficacement des infrastructures de recherche majeures* » dans le cadre d'un des trois « piliers » du programme européen H2020, celui de l'excellence scientifique¹⁹.

¹⁷ En français, CEER « Comité de l'Espace européen de la recherche et de l'innovation », acronyme peu utilisé.

¹⁸ Ce nouveau programme est actuellement en cours de définition. Il a été présenté par la Commission européenne le 2 mai 2018 devant le Parlement européen et a fait l'objet d'une proposition de règlement le 7 juin 2018.

¹⁹ Les deux autres étant « primauté industrielle » et « défis sociétaux ». Le volet spécifique aux IR se situe dans le premier pilier, aux côtés des financements destinés à l'ERC, des programmes Sklodowska Curie et des Technologies futures et émergentes (FET).

Le règlement (UE) n° 1291/2013 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2013 portant établissement du programme-cadre H2020 précise que les infrastructures de recherche sont les « *principaux équipements* », les « *ressources cognitives* », les « *infrastructures en ligne* » et « *toute autre infrastructure de nature unique, essentielle pour parvenir à l'excellence dans le domaine de la recherche et de l'innovation* ». Elles concernent les « communautés de chercheurs », ce qui exclut les équipements « fermés ».

Les objectifs affichés pour H2020 sont de développer de nouvelles infrastructures de classe mondiale, d'ouvrir les infrastructures de recherche existantes d'intérêt paneuropéen à de nouveaux utilisateurs académiques ou économiques, de développer et déployer des infrastructures en ligne pour le calcul, la mise en réseau et l'accès à des données mondiales dans les différentes disciplines (notamment environnement, santé, climat), de promouvoir le potentiel d'innovation et de valorisation des ressources humaines, de renforcer la politique européenne en matière d'infrastructures de recherche et ses coopérations internationales. Il s'agit aussi avec ESFRI de développer l'inclusion des infrastructures de recherche dans la chaîne d'innovation et de favoriser le transfert de technologies.

La montée en puissance des programmes de recherche européens est indéniable, mais la place des infrastructures en leur sein ne paraît pas augmenter dans les mêmes proportions, sauf dans le secteur du calcul intensif. Si l'UE permet une véritable coopération entre infrastructures de recherche, sa politique consiste également, comme pour tous ses programmes de recherche, à organiser une coopération/compétition (« coopétition ») entre États, dans le but de promouvoir *in fine* l'émergence d'infrastructures de classe internationale.

L'équilibre entre la volonté communautaire et les choix des États est une donnée majeure. Ainsi les États résistent à la volonté de la Commission de participer systématiquement à l'investissement dans les infrastructures européennes, encore récemment dans le projet de radiotélescope géant SKA (*Square Kilometer Array*). Elle atteindra probablement cet objectif dans le domaine du calcul intensif, qui nécessite des financements particulièrement importants et une orientation stratégique commune. De fait, la nécessité de financements et la compétition internationale devraient conduire à une intégration communautaire croissante.

2 - Les instruments juridiques créés par l'Union européenne pour les infrastructures de recherche

Pour faciliter l'émergence d'infrastructures européennes, la Commission a mis en place des instruments légaux et financiers gérés par de nombreux acteurs.

Le statut ERIC (*European Research Infrastructure Consortium*²⁰) créé par un règlement européen du 25 juin 2009 est reconnu dans toute l'Union. Attribué par la Commission, il permet un accès privilégié aux appels à projets financés par l'UE et bénéficie dans la plupart des pays membres d'une exemption de TVA. Son obtention repose sur un engagement de trois pays minimum, sur au moins trois à cinq ans, appuyé par un plan d'affaires et un budget prévisionnel valant engagement des États concernés.

²⁰ Consortium pour une infrastructure européenne de recherche.

Il existe actuellement 21 ERIC, dont les membres correspondants en France peuvent tout aussi bien être des TGIR (comme Euro-Argo, ICOS ou ESS) que des IR, comme EMBRC France, ECCSEL France, EMSO France ou dans le secteur Biologie, Celphedia, nœud français d'Intrafrontier, ou Frisbi dont une partie est le nœud français du réseau Instruct.

En octobre 2012, l'expression *Large Research Infrastructure* (LRI) est adoptée dans des principes (*guidelines*) de comptabilisation des coûts dans les financements demandés à la Commission pour ce type de projet. La définition d'une LRI figure seulement dans le modèle de convention de financement²¹ : il s'agit d'une infrastructure de recherche d'une valeur totale d'au moins 20 M€, calculée comme la somme des actifs historiques de chaque infrastructure individuelle de ce bénéficiaire. Leurs procédures de financement et leurs critères d'éligibilité sont des plus complexes, que le label soit accordé *ex ante* ou que la qualité de LRI soit déclarée (et potentiellement contrôlable). Sur 17 demandes de financement, 6 seulement ont obtenu une réponse positive sur la certification LRI *ex ante*, soit 25 M€, pour un coût total des infrastructures réalisées annoncé à 295 M€ (les chiffres cités ne concernent que les opérateurs ayant choisi le système *ex ante*, les systèmes d'information actuels de la Commission ne permettant pas d'identifier le nombre total de bénéficiaires des financements LRI).

3 - Les ressources et les coûts des infrastructures de recherche européennes

Les ressources des infrastructures de recherche européennes proviennent principalement des États.

La Commission européenne intervient essentiellement *via* le programme H2020, lui-même géré par deux directions générales différentes (DG recherche et innovation et DG Connect) et *via* les fonds structurels, en particulier le FEDER, lui-même décomposé en plusieurs branches.

Au titre du programme H2020 (2014-2020), les infrastructures de recherche sont dotées de 2,43 Md€ sur sept ans et représentent 3,2 % du budget H2020. Cette part du budget de la recherche a certes augmenté depuis le 5^e PCRD (1998-2002), où elle n'en représentait que 0,3 % mais elle n'a cessé de décroître depuis le 6^e (2002-2006), où elle comptait pour 4 %, passant à 3,4 % lors du 7^e PCRD, à 3,2 % aujourd'hui. Cette part passera en principe à 2,4 % dans le successeur d'H2020, Horizon Europe (du fait de l'augmentation globale de ses crédits). Deux tiers des crédits sont gérés par la DG Recherche, pour les infrastructures de recherche « physiques » et un tiers par la DG Connect, pour les e-infrastructures. Les fonds structurels disposent de 800 M€ pour les infrastructures de recherche françaises, qu'elles relèvent ou non de la feuille de route nationale²². Les financements du FEDER sont en général accordés sur des projets territoriaux figurant sur les CPER (contrats de plan État-Région), la sélection étant dans ce cadre « réalisée au fil de l'eau »²³. Ces importantes ressources en provenance de l'UE ne sont pas intégrées dans la stratégie nationale des TGIR.

²¹ *Model Grant Agreement*, note de bas de page afférente à l'article 6.2. D.4.

²² Dont près de la moitié étaient programmés au 30 juin 2017 et sur lesquels au 1^{er} janvier 2017, 257 M€ avaient été lancés, sur 211 opérations, en très grande majorité en subventions non remboursables. Source : FEDER OT1 (objectif thématique n°1) Interfonds Juin 2017.

²³ https://www.europe.bzh/jcms/preprod_233652/fr/developpement-des-infrastructures-de-recherche?portal=wcrb_233927

Tableau n° 4 : les ressources européennes des infrastructures de recherche (2014-2020)

<i>Horizon 2020</i>		<i>Hors Horizon 2020</i>	
<i>Montant total du programme (hors Euratom et ITER)</i>	77 Md€	Fonds structurels	États
<i>Dont part IR</i>	2,43 Md€		
<i>Dont Crédits DG Recherche (DGRI)</i>	1,6 Md€ Dont : - nouvelles infrastructures 960 M€ - soutien 640 M€ (dont ESFRI 425 M€)		
<i>Dont Crédits DG Connect</i>	830 M€	90 Md€ pour l'innovation et la recherche dont environ 11 Md€ pour les infrastructures de recherche ²⁴ (dont 800 M€ pour les infrastructures de recherche françaises)	42 à 48 Md€ (estimation DG Recherche)

Source : Cour des comptes à partir des documents de la DG Recherche et de ceux des fonds structurels

L'apport des États n'est pas connu de manière précise et se déduit de calculs en ordres de grandeur. En effet, selon le recensement des infrastructures de recherche européennes de 2008 (le dernier officiel à ce jour), l'actif cumulé de ces dernières est estimé entre 80 et 100 Md€, chiffre calculé selon les coûts de reconstruction. Il est admis que leur fonctionnement/maintenance annuel représente 10 % de ce coût, soit entre 8 et 10 Md€ (dont 1 Md€ pour des actualisations majeures et 2,5 Md€ pour acquérir des fournitures et services de haut niveau).

Ce chiffre est à mettre en rapport, en ordre de grandeur, avec le budget européen pour les infrastructures de recherche, de 2,4 Md€ dans le cadre d'H2020, soit 340 M€ par an et des fonds structurels, d'environ 1,6 Md€ par an.

En chiffres arrondis, et à défaut de données précises des instances européennes, l'apport global des fonds européens toutes sources confondues aux infrastructures civiles de recherche s'élèverait donc à environ 2 Md€ par an. Rapportés aux besoins estimés à 8 à 10 Md€, une charge de 6 à 8 Md€ annuels restent donc à la charge des États, On peut estimer que les ressources communautaires couvrent entre 20 % et 33 % des besoins annuels des infrastructures de recherche des pays européens.

L'allocation allouée aux infrastructures de recherche dans Horizon Europe sera *a priori* du même ordre que dans H2020, soit environ 2,4 Md€ (hors Euratom et ITER). Ces données laissent penser que la part qui revient aux États ne devrait pas baisser dans les prochaines années, bien au contraire, sauf à ce que les fonds structurels viennent abonder plus qu'ils ne le font aujourd'hui le montant total des fonds européens consacrés aux infrastructures de recherche et sauf programmes spécifiques comme celui prévu pour le calcul intensif, qui devrait bénéficier de 9 Md€ dans le prochain programme.

²⁴ Estimation Cour des comptes.

D'une manière générale, les ressources européennes destinées aux infrastructures s'apprécient globalement et sur des valeurs approchées. On note la même imprécision sur la connaissance même des infrastructures, pour lesquelles il n'existe ni recensement fiable, ni coût global connu. Ainsi, dans la base européenne MERIL (*Mapping of the European Research Infrastructure Landscape*) qui a pour objectif d'inventorier, dans l'ensemble des domaines scientifiques, les infrastructures européennes d'intérêt supranational, on observe que 600 des 900 structures identifiées ne sont pas renseignées en détail.

Enfin, les montants annoncés par l'organisme de référence lui-même, ESFRI (voir *infra*), sur les coûts de construction et d'exploitation de ces infrastructures sont également considérés comme sujets à caution.

4 - De nombreux acteurs

a) La DG Recherche et les organismes liés à la recherche

La recherche, désormais liée à l'innovation, fait l'objet d'un commissariat européen à part entière. Son programme H2020 et les appels à projets qui en découlent sont gérés par la DG Recherche et Innovation, ex- DG Recherche²⁵. Elle comprend en son sein un directeurat « *Open innovation & Open Science* », dont dépend le département infrastructures de recherche.

ESFRI est donc l'instance-clé pour les infrastructures de recherche de référence au sein de l'UE. Il n'en finance ni la construction ni le fonctionnement, mais assure un rôle important d'harmonisation des feuilles de route nationales, de définition de critères de performance, de bonnes pratiques, en lien avec les communautés scientifiques européennes et avec les organisations internationales comme l'OCDE, dans le but final d'agir sur les politiques gouvernementales dans un cadre commun.

Instance intergouvernementale, créée en 2002 par le Conseil compétitivité de l'Union européenne²⁶, ESFRI comprend les vingt-huit membres de l'UE auxquels s'ajoutent la Serbie et la Commission européenne²⁷. Cette dernière est représentée par le département infrastructures de recherche de la Direction de la Recherche, qui assure également le secrétariat d'ESFRI ainsi que la gestion de ses appels à projets. ESFRI est pour les communautés scientifiques nationales un lieu d'échanges et d'influence pour faire émerger les projets. Il présente sa feuille de route pour validation au Conseil Compétitivité de l'UE et lui rend compte. ESFRI a jusqu'à présent présenté cinq feuilles de route en 2006, 2008, 2010, 2016 et 2018.

La présence sur la liste ESFRI permet le financement direct d'études de faisabilité et de soutien et ouvre une voie facilitée aux autres financements H2020. Pour être accepté par ESFRI, un projet doit faire l'objet d'un engagement financier d'un État et être porté par au moins deux autres. Il doit également figurer sur la feuille de route nationale. Le travail d'ESFRI s'organise autour de groupes de travail thématiques (*Strategic Working Groups*, SWG), qui fournissent une analyse sur les nouveaux projets. L'évaluation se fait par les pairs, avec comme critère

²⁵ Que, par convention, le présent rapport continue à appeler de la sorte pour ne pas la confondre avec la DGRI française du ministère de la recherche.

²⁶ Qui réunit les ministres de tous les États membres chargés du commerce, de l'économie, de l'industrie, de la recherche et de l'innovation, et de l'espace ainsi que les membres de la Commission européenne compétents.

²⁷ Ainsi que 12 membres associés.

principal son utilité pour la recherche et l'ouverture aux industriels. L'harmonisation est préparée conjointement par le groupe d'implémentation et par les groupes de travail stratégiques. L'arbitrage est assuré par le bureau exécutif sur la base des résultats de cette harmonisation. La décision finale est effectuée en session plénière par le forum ESFRI.

ESFRI joue un rôle important en matière d'homogénéisation des critères d'évaluation et a créé sur ce sujet un groupe de travail *ad hoc* dont la DGRI française est membre. À côté de cette instance de régulation douce, directement connectée à la Commission, il y a lieu de mentionner des organisations satellites d'influence.

Des organisations satellites

Le European Intergovernmental Research Organisation Forum (EIRO Forum) est composé des huit plus importantes infrastructures de recherche de l'UE : CERN, EMBL, EUROfusion, ESA, ESRF, E-XFEL et ILL. Créé en 2002, présidé à tour de rôle par le président de l'un des organismes, c'est un lieu d'échanges et de lobbying européen et international, qui a notamment le pouvoir de favoriser l'entrée d'une infrastructure de recherche sur la liste ESFRI²⁸. D'autres instances à caractère scientifique peuvent se prononcer sur les infrastructures de recherche. C'est le cas du JRC (*Joint Research Center*), centre de ressources interne de la Commission, créé en 1957, qui peut avoir à se prononcer sur les infrastructures de recherche dans sa fonction de conseil stratégique.

De nombreuses organisations non gouvernementales à Bruxelles jouent un rôle important d'information et de lobbying auprès des institutions européennes, notamment en élaborant des déclarations communes sur des aspects de la politique européenne de recherche. Ces organismes se retrouvent pour la plupart au sein de la plateforme des acteurs de l'ERA (*ERA Stakeholders platform*). On peut aussi citer la Fondation européenne de la science (ESF), associée au traitement de la base de données MERIL. Par l'intermédiaire de ces instances, la DG Recherche entend nouer un dialogue direct avec les utilisateurs sans passer par les États. Elle a ainsi le projet d'élaborer avec *ERA Stakeholders* une charte commune d'accès aux informations des organisations financées.

b) DG Connect et DG Regio

D'autres directions et programmes européens interviennent dans les infrastructures de recherche. Ainsi la DG Connect est-elle active dans le domaine des infrastructures numériques, pour tous les sujets concernant le calcul et les réseaux. ESFRI dispose aussi d'une commission e-infrastructures. La plupart des appels à projets se font en coordination entre les deux instances. En France, le correspondant habituel de la DG Connect est plus la DGE, direction générale des entreprises du ministère de l'économie, que la DGRI. La DGE participe d'ailleurs en observateur au conseil d'administration de la TGIR GENCI.

La direction générale de la politique régionale et urbaine (« DG Regio ») gère les fonds structurels FESI (Fonds européens structurels et d'investissement, parmi lesquels le FEDER) et finance à ce titre des infrastructures à impact régional.

Une des grandes questions en cours est la formalisation de la participation du FEDER à des infrastructures de recherche financées par dans le cadre d'Horizon 2020 (prochainement

²⁸ Parmi ses membres, cinq sont inscrits sur la feuille de route ESFRI : le HL-LHC du CERN ; le laser européen à rayons X et à électrons libres (European X-ray free-electron laser, E-XFEL) ; l'installation européenne de rayonnement synchrotron (European Synchrotron Radiation Facility, ESRF) et l'Institut Laue-Langevin (ILL).

dénommé Horizon Europe). Le commissaire à la recherche a annoncé en juillet 2018 lors du colloque ESOE (*European Open Science*) à Toulouse que la Commission européenne entendait faciliter la combinaison entre les deux différents types de fonds. Devrait ainsi être incluse entre les futurs programmes une règle de « confiance croisée » rendant inutile une nouvelle évaluation si un projet a été reçu par H2020. Il serait également possible aux États membres impliqués de participer au financement non plus nécessairement sur leurs fonds propres mais aussi en faisant appel à leurs fonds structurels européens sans que cet apport soit qualifié d'aide d'État. Ces dispositions bienvenues restent à préciser et à mettre en œuvre.

B - L'absence de spécificité des TGIR françaises dans les dispositifs européens

1 - Des catégorisations différentes

ESFRI comprend depuis 2016 des *Landmarks* (infrastructures de référence) et des *Projects*²⁹, pour un total de 55 en 2018 (37 *Landmarks*³⁰ et 18 *Projects*).

La France est présente dans de très nombreux projets européens selon des formes diverses, chef de file, acteur ou partenaire (cf. annexe 4). Les catégories françaises ne rejoignent pas exactement les européennes, ce qui est le cas de toutes les feuilles de route nationales des États européens (certains n'en ayant pas encore malgré les demandes de la Commission). Sur les 37 *Landmarks*, 16 incluent des IR et 16 des TGIR, 4 des laboratoires d'universités ou d'opérateurs et un le Réacteur Jules Horowitz (RJH), qui ne figure plus sur la feuille de route française. Sur les 18 *Projects*, 11 IR sont représentées ainsi que 5 autres correspondants français.

Sur 55 infrastructures ESFRI, l'Allemagne dispose de sept sièges (neuf si on compte les installations multisites) tandis que la France en compte neuf (douze si on intègre les multisites).

FOF, Concordia, SOLEIL, Orphée, le CFHT et le CEPMMT ne font pas partie de la liste ESFRI. De fait, une TGIR n'a pas nécessairement besoin d'y figurer. FOF n'est pas pris en compte car l'accès aux bateaux n'est pas ouvert aux programmes de recherche européens (sauf à utiliser le système *Eurofleets* d'échange de jour/bateau). Dans le cas de SOLEIL, le besoin est suffisamment large en Europe pour que des infrastructures purement nationales se justifient. Les TGIR françaises peuvent aussi être liées à des infrastructures internationales faisant intervenir des États hors UE, comme CFHT. D'autres rassemblent la France et des États européens hors ESFRI (Concordia, ECORD, IRAM, EGO-Virgo, Renater).

2 - Un retour financier décevant pour les IR et TGIR

Si l'on en juge par les indicateurs de réussite aux appels à projets, le résultat français toutes catégories confondues est décevant. Selon les données partielles H2020³¹, la France a

²⁹ Les projets sont des infrastructures qui doivent en dix ans avoir atteint leur pleine maturité et devenir alors *Landmarks*. Dans le cas inverse, ils disparaissent de la liste.

³⁰ Dont 18 sont établis en ERIC.

³¹ DG recherche, 2016-2017, en octobre 2017.

obtenu 18 M€ pour 60 M€ demandés (30 %). De son côté, l'Allemagne a obtenu 23 M€ sur 65 M€ demandés (38 %), le Royaume-Uni 18 M€ sur 48 M€ (37,5 %), l'Italie 15 M€ sur 38 M€ (40 %). D'autres pays ont des ratios encore meilleurs sur des montants certes faibles. Le cas du CERN, obtenant 100 % des appels auxquels il a postulé, est à part. Les fonds structurels, répartis sur les territoires, ne sont pas précisément tracés par projet.

Pour la même période, la France obtient de bons ratios sur les appels à projets de la DG Connect (numérique), avec 6 M€ demandés et 3,5 M€ obtenus, ce qui est un des meilleurs résultats européens, mais il reste non satisfaisant pour la communauté concernée car les montants sont plus faibles que pour l'Allemagne, qui obtient 10 M€ sur 22 M€ demandés.

La France est le troisième pays bénéficiaire de financements, derrière l'Allemagne et le Royaume-Uni (à quasi-égalité). Les autres États performants sont l'Italie, les Pays-Bas, la Suisse (membre associé), la Suède et l'Espagne.

La part des pays d'Europe centrale croît plus encore en intégrant les fonds structurels. Ces derniers ont permis de financer des projets emblématiques comme le centre de lasers ELI en Hongrie, Roumanie et République tchèque pour un coût de construction initial de 850 M€ (dont 85 % de fonds européens et 15 % de fonds nationaux)³².

En outre, les fonds européens ne financent que marginalement les TGIR françaises (cf. chapitre III). Ce sont les IR, et non les TGIR, qui tirent le meilleur profit des 6^e et 7^e PCRD.

3 - Des enjeux structurants : le cas des programmes de calcul

En juin 2018, la Commission européenne a proposé le lancement d'un ambitieux programme pour une Europe numérique, visant à investir de manière plus coordonnée 9,2 Md€ sur la période 2021-2027 (Horizon Europe) avec les axes suivants : supercalculateurs (2,7 Md€), intelligence artificielle (2,5 Md€), cybersécurité et confiance (2 Md€), compétences numériques (700 M€), diffusion dans l'économie et la société (1,3 Md€).

L'initiative EuroHPC a été adoptée par un règlement du Conseil des ministres du 28 septembre 2018 visant à « *mettre en place une infrastructure de supercalculateurs de classe mondiale à l'échelle européenne* ». Le projet sera financé par H2020 et par la *Connecting Europe facility* pour 486 M€, montant devant être doublé par les États membres et par des apports en nature des parties privées. EuroHPC contient des programmes phares, comme EPI (*European Processor Initiative*), consortium réunissant 23 membres de 10 pays européens, qui vise à concevoir et développer les premiers systèmes HPC de puces et accélérateurs, pour maîtriser le cœur technologique des supercalculateurs et assurer une machine « exascale »³³ fondée sur une technologie pleinement européenne. On peut également relever le projet EOSC, *European Open Science Cloud*, système fédéré autour d'un point central (déjà l'objet d'un appel à projets H2020), un portail et un catalogue, gratuit pour l'accès et le recueil d'informations et payant pour le service de traitement des données.

Dans tous ces programmes, la représentation française dans la gouvernance est généralement assurée par la DGRI (en lien avec la DGE sur EuroHPC). Les grands opérateurs de la recherche y participent, de même que GENCI dans PRACE et EuroHPC, le consortium

³² Projet porté par M. Gérard Mourou, chercheur français, Prix Nobel de physique 2018.

³³ Supercalculateur de prochaine génération (cf. *infra*).

GENCI/IN2P3 dans *European Grid Infrastructure*, des industriels comme ATOS, qui pilote le programme EPI, dans lequel sont également présents le CEA, GENCI et la société Kalray. GENCI est appelé à devenir « Entité Hôte » dans le cadre de la candidature de la France pour héberger l'une des deux machines « exascale ».

C - La présence de la France à Bruxelles

Le MESRI représente les intérêts scientifiques français à Bruxelles. L'articulation entre les instances françaises et européennes obéit, dans le domaine des IR/TGIR, aux structures retenues pour l'ensemble de la recherche.

La Représentation permanente (RP) auprès de l'Union européenne, qui dépend du MEAE, pourrait être mieux informée en amont des questions relatives aux infrastructures de recherche. De récents développements laissent cependant augurer une amélioration à venir de ces liens³⁴. La présence française au sein des instances bruxelloises pourrait être davantage coordonnée en amont, d'une part au sein du MESRI et du MEAE, d'autre part entre ces deux ministères. La durée de mandat des représentants français devrait être privilégiée, la connaissance et le réseau de partenaires étant un atout majeur dans ces instances. Le groupe de travail créé en 2012 entre le DGRI et ses homologues des différents États européens pour coordonner et renforcer la présence des États au sein des instances bruxelloises pourrait être réactivé.

Le dispositif de représentation

Le programme H2020 fonctionne selon la comitologie européenne. Son comité de programme comprend 14 configurations, dont une pour les infrastructures. Présidé par la Commission, y siègent représentants des États membres et associés. La représentation française est assurée par des représentants au Comité de programme (RCP) issus du MESRI et si besoin du ministère technique. L'importance des Comités de programme et donc des RCP en leur sein est à souligner, car ils participent à la rédaction des appels d'offres H2020 sur les IR, sur proposition de la DG Recherche. Le travail est préparé en France par des groupes thématiques nationaux (GTN), qui rassemblent des spécialistes de chaque discipline, issus des opérateurs, des agences de financement, des pôles de compétitivité, des universités, des industriels et des associations professionnelles pour définir des positions communes. Les membres du GTN Infrastructures de recherche représentent les communautés scientifiques et sont issus des Alliances scientifiques, de la CPU, ainsi que des organismes dont toutes les thématiques ne sont pas complètement couvertes par les Alliances (CNES, RENATER, GENCI, Observatoire de Paris, ONERA). Par ailleurs un des 22 points de contact nationaux (PCN), coordonnés par la DGRI, est consacré aux infrastructures. Le PCN Infrastructures de recherche comprend le coordonnateur du PCN au MESRI, un PCN membre du CNRS et un PCN membre du CEA, ainsi que le RCP. Ce PCN s'efforce également de promouvoir la présence française parmi les évaluateurs (15 000) auxquels fait appel la Commission. Un portail spécialisé³⁵ fournit des informations actualisées. Ces PCN s'efforcent de travailler avec les régions, qui elles-mêmes ont mis en place des outils pour aider leurs communautés à monter des projets européens et trouver des financements.

³⁴ La RP a accepté que les réunions de *l'implementation group* d'ESFRI, présidé depuis le 1^{er} janvier 2019 par un Français, se tiennent dans ses locaux, ce qui devrait contribuer à renforcer les liens du MESRI et de la RP.

³⁵ <http://www.horizon2020.gouv.fr/pid29759/infrastructures-de-recherche.html>.

Concernant spécifiquement les IR / TGIR, la France est représentée à ESFRI à la fois au bureau exécutif et dans le groupe d'implémentation, par des représentants de deux services différents de la DGRI, la direction des relations internationales semblant peu présente.

L'examen des projets récents soutenus par la DGRI au sein de la dernière feuille de route ESFRI montre qu'elle a défendu principalement des IR plus que des TGIR.

Les projets soutenus par la DGRI à ESFRI

Sur six nouveaux projets soutenus, trois³⁶ ont été placés en *projects* de la feuille de route 2018 et un, OPERA³⁷, en projet « soutenu » (hors feuille de route mais prioritaire pour les financements).

Ont été acceptés trois autres projets non soutenus par la France : Metrofood (*Promoting Metrology in Food and Nutrition*), IFMIF (*International Fusion materials Irradiation Facility*, soutenu par l'Espagne) et EHRI en sciences sociales (*European Holocaust RI*, réseau permettant de faciliter la mise en réseau de témoignages sur la Shoah) soutenu par l'Allemagne, les Pays-Bas et Israël, pays associé. Un autre projet, *Resilience*, projet de SHS portant sur les religions, a été placé en catégorie « soutenue » par ESFRI.

L'exemple du projet SILECS, IR française, plateforme de calcul nécessaire aux chercheurs pour tester leurs calculs et algorithmes, en particulier dans une optique de cybersécurité, est intéressant. Ce projet a été refusé par le jury mis en place par le groupe e-infrastructures d'ESFRI. Comme dans toutes les instances à jury international, il appartient de travailler très en amont pour faire comprendre l'intérêt du projet.

Les communautés scientifiques disposent de leur propre système de représentation. Le Club des Organismes de Recherche Associés (CLORA) regroupe 28 acteurs de la recherche publique française. Il les représente à Bruxelles auprès des institutions de l'Union Européenne. Parmi ces membres, 12 relèvent d'un « premier cercle », incluant les grands opérateurs français et la conférence des présidents d'universités (CPU). Ce club a notamment pour rôle le portage de projets auprès des instances bruxelloises.

Une *European Association of National Research Facilities with open international access* (ERF) a été créée en 2007, essentiellement entre les très grandes infrastructures européennes de la matière et du calcul. En France, SOLEIL et GANIL y appartiennent. On y trouve aussi le programme PRACE européen. Cette association est devenue AISBL (société de droit belge) en 2013 et elle est un interlocuteur important de la Commission.

Un plan d'action national pour renforcer la participation française à Horizon 2020, notamment les coordinations et l'accompagnement, a été annoncé fin 2018³⁸ et validé par une décision interministérielle. Parmi les 14 mesures annoncées, sont à relever la nécessité d'influencer de manière informelle la préparation des textes européens ainsi que la préparation des textes européens en comité de programme. Le sujet de la pertinence du dispositif CLORA est également mis à la réflexion.

³⁶ EU-Ibisba (*Industrial Biotechnology Innovation and Synthetic Biology Accelerator*) porté par l'INRA ; E-LTER (*Long Term Ecosystem*), projet à coordination allemande dont fait partie l'IR française E-LTER OZCAR, portée par CNRS, IRD, INRA, IRSTEA, BRGM et E-LTER RZA (CNRS et nombreux organismes) ; DISSCO, à coordination néerlandaise dont fait partie l'IR française RECOLNAT, portée par le MNHN.

³⁷ Porté par l'IR française Open Edition et coordonné par l'université Aix Marseille.

³⁸ Annonce de la ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche le 22 octobre 2018, développée par une déclaration du DGRI du 5 décembre 2018.

L'enjeu d'EuroHPC et des infrastructures de calcul

Le projet EuroHPC visant à « *mettre en place une infrastructure de supercalculateurs de classe mondiale à l'échelle européenne* » est l'exemple type de la nouvelle politique d'intégration européenne en matière d'infrastructures. La France est présente au *Governing Board*, à l'*Industrial and Scientific Advisory Board* et à l'*Infrastructure Advisory Group*. Les acteurs français sont conscients de la nécessité d'une présence importante.

Une étape cruciale s'affiche clairement pour 2021 et les années suivantes. Pour la France, il y a nécessité d'anticiper les projets dans lesquels elle souhaite – et peut – s'inscrire. Elle paraît d'ores et déjà engagée dans la plupart des grands projets européens, dont les coûts pour les États sont loin d'être définis et parfois relèvent de l'inconnu (Exascale et IA par exemple).

Concernant la contribution française pour l'investissement et le fonctionnement d'un supercalculateur exascale, l'addition des crédits en provenance du budget de GENCI (80 M€) et des montants demandés au PIA dans la liste des projets prioritaires en Sciences et Technologies du Numérique et Mathématiques (80 M€), soit 160 M€, serait à doubler grâce au complément européen³⁹. Elle devra néanmoins sans doute faire l'objet de demandes supplémentaires quand le coût d'une machine exascale 2022 sera connu.

D - S'impliquer davantage dans la coopération multilatérale

Les infrastructures de recherche évoluent au niveau mondial dans un contexte de coopération / compétition entre organismes, entre États et dans des instances multilatérales.

L'effort français s'inscrit dans une course généralisée à la performance des infrastructures de recherche pour maîtriser les technologies du futur. Les États-Unis, la Chine, le Japon, la Russie, le Canada, l'Australie et d'autres États se sont dotés de plans concernant les infrastructures de recherche. Les modèles de gestion diffèrent. Ils sont parfois centralisés (cas de la Chine), parfois traités par des départements ministériels ou agences différents (États-Unis). Ils incluent toujours une forte proportion d'argent public. Les pays d'Union européenne ne sont pas les derniers dans cet effort mondial. L'Allemagne et le Royaume-Uni, par exemple, sont également très actifs au plan national et international et y consacrent des crédits publics importants. L'annexe n° 5 présente quelques-uns de ces programmes.

Cette concurrence n'empêche pas une coopération internationale croissante, tant au niveau des chercheurs que des États, ainsi qu'une activité intergouvernementale et multilatérale en développement.

Un groupe dit GSO (*Group of Senior Officials for Global Research Infrastructures*) adossé au G8 a ainsi été créé lors de sa première réunion en 2008 à Okinawa. Ce groupe se réunit tous les six à neuf mois. Lieu de réflexion et d'échanges sur des cas scientifiques, il devient plus opérationnel, notamment sur les critères de définition internationaux des infrastructures de recherche, du fait d'une activité américaine en croissance. La Russie y est active même si officiellement elle n'y participe plus. De même, des membres du G20 s'y joignent désormais, tels que la Chine, l'Inde, le Mexique, le Brésil, l'Australie, l'Afrique du Sud. Le représentant de la DGRI y est le même qu'à ESFRI, ce qui contribue à la cohérence des positions.

³⁹ Voir détail dans le cahier complémentaire.

Les trois types d'IR selon le GSO

Ce groupe informel, qui a pour but d'explorer les possibilités de coopération internationale, a notamment établi en 2017 un *Framework* qui distingue trois catégories d'infrastructures de recherche : les infrastructures de recherche à localisation unique et dont la gouvernance est fondamentalement internationale, comme ITER ou le CERN (le GSO invite à s'entendre pour que d'éventuelles nouvelles IR de ce type soient conçues sans redondance) ; les infrastructures de recherche distribuées, parties d'un réseau international (incluant également des flottes de recherche et des installations polaires) et dont la gouvernance est également internationale ; les infrastructures de recherche d'intérêt général disposant de capacités uniques qui attirent un large intérêt hors de la nation hôte. Une fois de plus les installations polaires sont mentionnées.

Selon le GSO, les États devraient ouvrir ces équipements tout en tenant compte de leurs intérêts nationaux. Le GSO milite aussi pour l'accroissement des échanges de données.

Ce type d'instance est un lieu d'expression d'intérêts nationaux où s'établissent peu à peu des bonnes pratiques et des règles de gouvernance internationales. La prochaine réunion du GSO aura lieu en France, en 2019. L'ordre du jour porte sur les critères de gouvernance et de prospective financière des infrastructures de recherche. La DGRI exposera ses orientations stratégiques sur ces infrastructures.

En matière multilatérale, l'OCDE mettait l'accent dès 2010⁴⁰ sur des principes à prendre en compte par les États en matière d'infrastructures de recherche et soulignait l'importance essentielle des infrastructures de données (« infrastructures de connaissance ») et de l'accès à ces dernières. Certaines de ces préconisations furent reprises dans le rapport du CSRT français précité, notamment la durabilité du cadre, la continuité des partenariats, la qualité du management.

Les orientations de l'OCDE

Les orientations en matière de soutenabilité de son rapport de 2017 sont similaires à celles exprimées par la Commission européenne dans les siens : des évaluations par des panels d'experts extérieurs doivent être menées régulièrement ; des calculs de coûts complets sont hautement recommandés⁴¹ ; des KPI (*Key Performance Indicators*) de maîtrise des coûts sont conseillés ; l'ouverture et la réutilisation des données doivent être garanties car les utilisateurs sont les vecteurs du progrès scientifique (l'exemple d'ESRF qui la pratique depuis 2015 est mis en exergue), ce qui conduit à demander des systèmes robustes de data management ; les infrastructures de recherche doivent contribuer au transfert de technologie et d'innovation, notamment par la formation fournie à leurs personnels, qui peut se transmettre à l'industrie si des passerelles sont facilitées ou par la création de spin off (start up issues des résultats de l'infrastructure) ; enfin, l'OCDE met l'accent sur l'intérêt pour des pays d'attirer des chercheurs de l'étranger pour accroître leurs compétences scientifiques, comme dans ELI.

⁴⁰ Rapport aux ministres sur la stratégie de l'OCDE pour l'innovation, mai 2010.

⁴¹ À ce sujet, l'OCDE mentionne l'exercice français mené en ce sens en 2016 comme exemple à suivre, tout en suggérant quelques améliorations méthodologiques.

L'OCDE a mené en 2018 une enquête qui devrait aboutir au cadre de référence générique pour l'évaluation de l'impact socio-économique des IR et qui devrait être disponible au printemps 2019. La DGRI y a participé.

L'influence à long terme des travaux de l'OCDE, l'importance qu'ils sont susceptibles de prendre sur les politiques des États et les stratégies des opérateurs en termes de bilans comparatifs, devraient conduire la DGRI, fortes de ses propres efforts méthodologiques en ce domaine (cf. *infra*), à intensifier encore sa participation aux travaux de cette organisation.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La définition des actuelles TGIR repose sur des critères qu'elles partagent avec les IR : excellence, ouverture, gouvernance identifiée et autonome, programmation budgétaire, accessibilité des données, auxquels s'ajoutent une importance particulière attribuée par la communauté scientifique, un fléchage budgétaire spécifique et une continuité dans le financement. Les différences entre TGIR et IR ne sont pas vraiment objectivées. Les critères sont trop nombreux pour jouer un rôle pertinent et aucun n'est déterminant.

Les régimes d'exclusion de la catégorie des TGIR qui portent à la fois sur ITER et sur RJH, tous deux inclus dans la MIREs, ne vont pas de soi. Ces grandes infrastructures pourraient utilement intégrer la stratégie portée par une feuille de route délimitant un pilotage stratégique national, tant elles ne peuvent rester sans influence sur les grands choix d'avenir, scientifiques, technologiques ou financiers. La même question se pose pour les grands instruments civils de la défense, du CNES, de Météo France, etc., dont l'absence de la feuille de route ne permet pas de construire un périmètre cohérent en termes de priorités nationales et de volumes budgétaires.

La logique de priorisation menée depuis 2008 et singulièrement depuis 2012 doit être poussée à son terme. La Cour préconise une définition substantielle des infrastructures de recherche à défaut desquelles la recherche ne pourrait être poursuivie sans perte de temps et de compétences. Cette définition pourrait notamment être liée à la plus-value apportée par des infrastructures à plusieurs disciplines ainsi qu'à la place de la recherche française dans la compétition internationale, dans un contexte d'interdépendance croissante entre secteurs et entre États. Certaines installations pourraient ainsi être considérées comme plus stratégiques que d'autres, tant pour leur impact décisif sur tout ou partie de la recherche que pour la place privilégiée qu'elles doivent tenir dans les programmes de financement à moyen et long termes. Concernant l'environnement européen, qui est devenu déterminant, et compte tenu de la multiplicité des acteurs et de la faible lisibilité des financements, l'organisation d'une véritable ingénierie d'influence est indispensable pour y participer efficacement. La DGRI et les opérateurs sont conscients des enjeux d'influence à Bruxelles mais ne sont pas encore pleinement organisés pour y faire face.

La Cour formule les recommandations suivantes :

- 1. réunir dans un périmètre homogène les grandes infrastructures identifiées comme essentielles ou stratégiques pour tout ou partie de la recherche nationale [MESRI] ;*
 - 2. intégrer au sein de la politique nationale portée par la feuille de route de la DGRI les infrastructures de recherche des autres départements ministériels lorsqu'elles se prêtent à des mutualisations [MESRI, CNRS, CEA, Ifremer, IPEV] ;*
 - 3. élaborer une stratégie de présence nationale continue et durable dans les organes d'expertise et de décision de l'Union européenne [MESRI, MEAE, CEA, CNRS, Ifremer, IPEV].*
-

Chapitre II

Structurer et renforcer la gouvernance et le pilotage des TGIR et de l'ensemble des infrastructures de recherche

Dans son rapport de 2009 sur le pilotage des TGIR, la Cour soulignait que le dispositif ministériel de suivi des TGIR demeurait « *à bien des égards modeste, notamment face aux grands opérateurs* », en particulier le CNRS et le CEA. La capacité de la DGRI à devenir un acteur décisionnaire de première importance restait à démontrer et la feuille de route de 2008 tenait davantage d'une structuration encore à venir du pilotage stratégique des TGIR que d'un outil se suffisant à lui-même.

Cette situation a évolué positivement, même si les acteurs intervenant sur les infrastructures de recherche sont très nombreux et d'une capacité d'influence variable (I). Le pilotage est encore à structurer (II) et les systèmes d'évaluation restent à développer (III).

I - Des acteurs nombreux, un pilotage collégial à encore renforcer

A - Des capacités ministérielles à affermir

1 - Le renforcement en cours des capacités de la DGRI

C'est en 2012 qu'est créée, au sein de la DGRI, l'organisation matricielle actuelle de suivi des TGIR/IR/OI (sans différenciation par catégorie). L'effort de structuration alors engagé a été poursuivi depuis avec constance, autour de deux structures, le département des grandes infrastructures de recherche et le service « Stratégie, Recherche et Innovation ».

Le SPFCO-B4 et le SSRI

Le département des grandes infrastructures de recherche⁴² (SPFCO-B4) assure la déclinaison de la politique gouvernementale pour toutes les infrastructures de recherche et conseille le directeur général. Composé de huit personnes, il est l'interface entre le département de la gestion et du pilotage budgétaires des programmes de la DGRI, la direction des affaires financières (DAF) du ministère et les organismes de recherche. Il est en relation directe avec les responsables « infrastructures de recherche » du CNRS et du CEA.

À côté de ce département, le service « Stratégie, Recherche et Innovation » (SSRI), fort de 60 ETP, élabore la stratégie nationale en matière de recherche et d'innovation (SNRI) et en assure le suivi⁴³. Il anime, coordonne et expertise l'expression des besoins des différents acteurs de la recherche française, en vue d'assurer une cohérence nationale entre infrastructures de recherche et stratégie nationale (et dans le cadre européen et international). Chacun des cinq secteurs scientifiques du SSRI est positionné en miroir face à une alliance de recherche thématique et dispose d'un « correspondant infrastructures ». Chacun forme une cellule-projet avec son correspondant du département SPFCO-B4, dont le chef coordonne les positions avec les autres acteurs (*via* les alliances de recherche) dans la révision de la feuille de route nationale. Chaque cellule participe au groupe de travail ESFRI correspondant à son domaine. Depuis début 2018, des dispositions ont été prises pour fluidifier les relations et les échanges entre le département SPFCO-B4 et le SSRI. Ces deux départements se partagent la représentation du MESRI au sein des instances européennes et internationales (la DAF intervenant également dans les OI, voir *infra*).

Le département SPFCO-B4 a engagé plusieurs chantiers structurants, tels que l'archivage quasi-systématique, sur un site collaboratif, de documents⁴⁴ concernant les infrastructures de recherche et OI en vue de constituer une mémoire fiable du ministère, la fiabilisation de la procédure annuelle d'enquêtes pluriannuelles (à 10 ans) pour les TGIR inscrites sur l'action 13 ou relevant du titre 6, ou encore la synthèse des méthodes et bonnes pratiques⁴⁵. À la suite de l'exercice d'évaluation des coûts complets de 2016 (cf. chapitre III), la DGRI a lancé plusieurs chantiers toujours en cours : disposer d'une meilleure connaissance des infrastructures de recherche situées dans les universités et de leurs besoins en matière de calcul et obtenir de chaque TGIR de fiches d'anticipation, d'expertise et de suivi des grands projets, souvent internationaux.

⁴² Placé au sein du service de la performance, du financement et de la contractualisation des organismes de recherche (SPFCO).

⁴³ Arrêté du 17 février 2014 fixant l'organisation de l'administration centrale des ministères de l'éducation nationale et de l'enseignement supérieur et de la recherche (extrait de l'article 67).

⁴⁴ Statuts, autres documents officiels, courriers, notes, comptes rendus de réunion, budgets, enquêtes, etc.

⁴⁵ Par exemple, les critères de nomination dans les conseils des structures européennes ou internationales, un guide de référence sur les procédures de montage de structures juridiques nationales et européennes ainsi que les bonnes pratiques de gouvernance. Des méthodes de prise de décision française dans les instances européennes et internationales sont en préparation et devraient être publiées mi-2019.

La fiche d'information stratégique sur les grands projets

Cette fiche, qui concerne pour commencer les grands projets en physique des particules et en astrophysique, a pour but d'inciter les acteurs à informer le ministère, dès la genèse des réflexions, sur des grands projets qui sont susceptibles de conduire à une sollicitation (en général financière) du ministère parfois plusieurs années plus tard. Elle doit contenir des informations stratégiques telles que : l'intérêt scientifique, le calendrier prévisionnel, les acteurs concernés, le coût de construction et d'opération, la contribution française envisagée. Elle sera actualisée au fur et à mesure de l'avancement de la conception du projet. La philosophie est de permettre au ministère, en concertation avec les opérateurs, d'acquérir une vision globale des projets en émergence et de construire une vraie stratégie de priorisation et de réduire les risques de n'être qu'en réaction face aux sollicitations parfois dans l'urgence des communautés scientifiques ou encore des diplomates.

Enfin, un groupe de travail a été créé fin 2018 sur la tarification.

Au-delà de ces évolutions récentes, le directeur général indique à la Cour, en janvier 2019, vouloir engager sans tarder les chantiers suivants : analyse plus approfondie des tendances internationales d'évolution et des choix des autres grands pays ; amélioration de la lisibilité et de la clarté du dispositif budgétaire des infrastructures de recherche, au niveau de l'État comme à celui des principaux établissements concernés ; évaluation des infrastructures de recherche ; analyse rétrospective de leurs trajectoires financières et des principaux écarts observés entre prévisions et coûts réels ; analyse de la durée financière à long terme des infrastructures existantes incluant l'ensemble des étapes de leur vie (jouvence, renouvellement, démantèlement) ; analyse des améliorations de gestion possibles pour les infrastructures dont la gestion est partagée, y compris le cas échéant des modifications du partage actuel des responsabilités ; analyse visant à réinterroger les processus de décision de l'État sur la création ou des évolutions majeures d'infrastructures.

Ce programme de travail, s'il est mis en œuvre, comblera en grande part les attentes que l'enquête de la Cour a mises à jour.

2 - La DAF du MESRI : une présence à renforcer

La DAF (direction des affaires financières) du MESRI échange avec les responsables de programme tout au long du cycle budgétaire. En matière d'OI et de TGIR, elle a pour mission de s'assurer, en lien avec les services de la DGRI (SPFCO et SSRI) de la pertinence financière des projets et de leur capacité à s'installer dans la durée. Dans les négociations budgétaires avec la direction du budget, les TGIR constituent une brique de budgétisation qui est traitée de la même manière que les autres briques. La DGRI, chef de file pour la gestion et le pilotage des TGIR, y compris dans sa dimension de programmation pluriannuelle, communique à la DAF toutes les données issues de son dialogue de gestion avec les opérateurs. Sur la base de ces éléments, la DAF établit une programmation à moyen terme pour les TGIR qui constitue une sorte de trajectoire. Si la DAF mesure bien les écarts entre les besoins annuels et la trajectoire, elle ne dispose pas de la programmation annuelle à 10 ans de chaque TGIR, ce qui limite singulièrement l'exercice.

Entre janvier 2015 et juillet 2016, la fluidité de l'information entre la DGRI et la DAF a connu des progrès significatifs dans le suivi des OI et TGIR⁴⁶. L'organisation interne du MESRI, ainsi améliorée, permet un meilleur pilotage et une prise de décision plus éclairée. Mais l'insuffisance des outils de programmation pluriannuelle est un frein majeur à un pilotage optimal du ministère. La DAF ne dispose pas de tableau synthétique retraçant tous les coûts des TGIR.

Depuis lors, la DAF assure la représentation de la France au comité des finances (CF) d'ESO ainsi qu'à celui du CERN. Tous les points à l'ordre du jour des CF de ces OI font l'objet de discussions préalables entre la DGRI et la DAF afin de déterminer la position française. La DAF est également présente aux réunions préparatoires d'autres OI : EUMETSAT, CEPMMT, ITER, ESA, EMBL et EMBC.

La DAF n'entretient que peu de rapports avec les opérateurs sur le sujet des TGIR, alors même qu'elle siège au pré-CA des organismes qu'ils portent. Elle les sollicite en amont du RAP afin de communiquer un tableau retraçant le détail des dépenses exécutées par les opérateurs, par TGIR, et par nature.

Au total, si l'organisation actuelle du MESRI est parfois difficilement lisible, la coopération entre services pour les IR et TGIR s'est améliorée et devrait se renforcer. La DGRI ne conteste pas cette complexité mais explique qu'elle est due à un travail de construction encore en cours. Ainsi, en dépit des réels efforts déployés par le ministère depuis 2012 pour se doter d'une organisation et d'outils plus performants, le constat fait par la Cour en 2009 reste partiellement d'actualité.

3 - Le ministère de l'Europe et des affaires étrangères (MEAE)

Les questions relatives aux infrastructures de recherche internationales y sont du ressort de la direction générale de la mondialisation (DGM), au sein de la DCERR (direction de la culture, de l'enseignement, de la recherche et du réseau) et plus précisément de la sous-direction de l'enseignement supérieur et de la recherche.

Par ailleurs, le MEAE, *via* ses conseillers et attachés scientifiques, accompagne les négociations multilatérales ou bilatérales sur les très grands instruments, de même qu'il se veut « *aux avant-postes pour évaluer les intérêts de nos entreprises dans la construction des grandes infrastructures* »⁴⁷. Il intervient dans les échanges internationaux liés à la gouvernance de ces grands instruments, d'une part pour négocier des contreparties et d'autre part défendre les candidats français aux postes clés des instances de gouvernance des infrastructures internationales⁴⁸. Le MEAE a participé à la rédaction de bonnes pratiques de représentation auprès des OI et TGIR internationales adoptées par le CD-TGIR du 30 janvier 2017.

⁴⁶ Un poste a été créé en 2016 au département SPFCO-B4 afin d'assurer le suivi budgétaire et financier des TGIR en relation avec la DAF.

⁴⁷ Réponse du MEAE au questionnaire de la Cour des comptes : « *L'expérience des diplomates est très utile dans les négociations pour l'élargissement ou l'adhésion de nouveaux membres dans ces structures multilatérales et leur appui s'est montré déterminant pour l'adhésion du Brésil à l'ESO* ».

⁴⁸ Réponse du MEAE au questionnaire de la Cour des comptes.

Des relations plus régulières entre d'une part le MEAE et la DGRI, d'autre part la DGM et la RP de Bruxelles, sont à encourager pour une articulation renforcée avec les échelons européen et international (cf. chapitre I). Le MEAE annonce en mars 2019 la tenue d'un point mensuel entre le service de la science et de la technologie de la RP et la DGM.

B - Les instances collégiales

En 2009, la Cour constatait l'inexistence d'un processus de décision formel et efficace⁴⁹. Elle concluait à la nécessité pour le ministère de définir dans les meilleurs délais « *les étapes et les critères du processus stratégique de décision* » et recommandait « *d'élaborer des procédures standardisées de préparation et de décision transparente des opérations conduisant à la réalisation de très grandes infrastructures de recherche* ».

En 2012, le ministère a mis en place un nouveau schéma de gouvernance et de pilotage des infrastructures de recherche reposant sur un Haut-Comité des TGIR et un Comité-Directeur des TGIR⁵⁰. Le Haut-comité et le comité directeur ont été créés par simples lettres du DGRI⁵¹ informant les acteurs concernés. Il aurait été préférable qu'ils le fussent par une décision officielle signée par le ministre ou le DGRI, publiée au Bulletin Officiel du ministère, de même que la nomination des membres du Haut-Conseil.

Enfin, en termes d'organisation collective de la décision, l'exemple du numérique peut être cité : constatant la convergence des problématiques du numérique (calcul, réseau, organisation régionale), un comité de coordination du numérique appelé CODORNUM a été créé en 2014 en tant qu'instance de décision pour mieux organiser le calcul en France. Il est doté de cinq comités, dont l'un, InfraNum, est consacré aux infrastructures. Il est co-présidé par la DGRI et la DGEISIP. Il conviendrait cependant que ce comité⁵² soit pleinement en mesure d'exercer ses attributions en lien étroit avec le CD TGIR.

⁴⁹ Plus précisément : « *la mécanique qui préside à la réalisation des TGIR ne procède d'aucune construction formelle, mais participe d'un système au coup par coup mettant en œuvre un ensemble variable d'acteurs dont les interactions constituent le moteur grâce auquel les projets cheminent à un rythme et selon des modes échappant à toute détermination* ».

⁵⁰ C'est à la réunion du 3 avril 2012 du comité à l'énergie atomique que le DGRI a présenté ce nouveau dispositif, fondé sur trois raisons principales : « *sur le plan stratégique, les infrastructures deviennent des outils essentiels de la compétitivité scientifique et technologique pour la plupart des sciences et sur le plan du pilotage, il s'agit d'enjeux financiers importants avec des dynamiques de long terme. De plus, dans la plupart des domaines, la coordination européenne voire mondiale est une nécessité* ».

⁵¹ Lettre du 24 avril 2012 aux membres du comité-directeur des TGIR et lettres du 11 décembre 2012 à la présidente et aux membres du HC-TGIR.

⁵² Voir détail en cahier complémentaire.

1 - Le Haut comité pour les TGIR (HC-TGIR)

Le HC-TGIR, instance consultative, est compétent pour l'ensemble des infrastructures de recherche (et non pour les seules TGIR). Il est composé d'une quinzaine⁵³ de personnalités scientifiques de haut niveau disposant d'un mandat de six ans maximum. Ses président et vice-président, en fonction depuis le 1^{er} janvier 2013, sont désignés par le DGRI. Le HC-TGIR constitue un ensemble représentatif des disciplines scientifiques. Le secrétariat du HC-TGIR est assuré par le département SPFCO-B4 de la DGRI⁵⁴.

La mission première du HC-TGIR est d'instruire, à la demande du DGRI après accord du Comité directeur, des dossiers sur des sujets précis de façon à faciliter la prise de décision du ministre en charge de la recherche. Le HC-TGIR rend un avis consultatif qui prend la forme d'un rapport circonstancié où la pertinence scientifique et stratégique est analysée et commentée. Cet avis doit être en phase avec les priorités de la stratégie nationale en matière d'infrastructures de recherche et avec les possibilités financières⁵⁵. Il est présenté devant le Comité directeur pour discussion.

Le HC-TGIR est également sollicité à l'occasion de chaque révision de la feuille de route des infrastructures de recherche⁵⁶. Pour mener à bien ses missions, le Haut Conseil peut s'appuyer sur les groupes de travail « infrastructures » des Alliances et les comités inter-organismes *ad hoc* compétents. Il peut auditionner des experts susceptibles d'apporter un éclairage dans des sujets techniques.

Le HC-TGIR a également la possibilité de s'autosaisir de questions de prospective scientifique. Il l'a fait sur les SHS sans que cela donne lieu à un avis. Il a souhaité rendre un avis sur les sciences de la vie mais a dû y renoncer devant l'opposition de l'INSERM. La liste des avis, non publics, émis par le HC-TGIR est détaillée dans le tableau suivant.

⁵³ La liste des membres du HC-TGIR figure en annexe de chacun de ses avis. Le nombre de membres a été de 14 de juin 2013 à janvier 2015, 13 en novembre 2015, 15 depuis mai 2016. La liste de membres comprend parfois un ou plusieurs « invités *ad hoc* ».

⁵⁴ Dans la mesure du possible, les membres du Haut conseil ne doivent plus occuper des fonctions opérationnelles dans les organismes de recherche. Les conflits d'intérêt doivent être clairement déclarés et connus de l'ensemble des membres. Ils doivent être prévenus dans la conduite et l'élaboration de chaque avis. À l'issue de la période de lancement de quatre ans du HC-TGIR (début 2017), il est procédé au renouvellement du Haut Conseil par tiers environ tous les deux ans.

⁵⁵ En pratique le HC-TGIR n'examine les questions financières que pour chaque TGIR lors de sa première inscription sur la feuille de route sans jamais regarder la soutenabilité globale du dispositif.

⁵⁶ La cheffe de service SSRI de la DGRI a été invitée au HC-TGIR dans le cadre du renouvellement de la feuille de route nationale des infrastructures de recherche.

Tableau n° 5 : liste des avis du HC-TGIR

<i>Intitulé du rapport</i>	Date
<i>Une stratégie pour les neutrons</i>	11 juin 2013
<i>Le calcul intensif</i>	6 janvier 2014
<i>La phase 2 de jouvence de l'ESRF</i>	6 janvier 2014
<i>La Flotte Océanographique Française</i>	6 janvier 2014
<i>Projets avec porteurs ou soutien français proposés pour la mise à jour de la feuille de route ESFRI 2016</i>	5 janvier 2015
<i>Mise à jour pour 2016 de la feuille de route nationale des grandes infrastructures de recherche</i>	4 novembre 2015
<i>Les lasers de haute densité d'énergie et les lasers d'ultra-haute intensité. Panorama, forces et faiblesses, priorités d'action</i>	25 mai 2016
<i>Le programme Haute Luminosité du Large Hadron Collider (LHC) au CERN</i>	30 novembre 2016
<i>Les grandes infrastructures de recherche en astrophysique et en astroparticules</i>	30 novembre 2016
<i>Avis sur les projets candidats à l'inscription sur la feuille de route de l'European Strategy Forum Research Infrastructures (ESFRI)</i>	31 mai 2017
<i>Avis sur la mise à jour de la feuille de route nationale des grandes infrastructures de recherche</i>	15 février 2018

Source : Cour des comptes

2 - Le comité directeur des TGIR (CD-TGIR)

Présidé par le DGRI, le CD-TGIR rassemble le président directeur général du CNRS, l'administrateur général du CEA (assistés par leurs responsables TGIR), les présidents des Alliances (ALLENVI, ALLISTENE, AVIESAN, ANCRE et ATHENA), ainsi que le MEAE. La présidente du Haut-Comité des TGIR participe également aux travaux du CD-TGIR, où elle présente les résultats des évaluations ou rapports de saisine. Les dirigeants des autres établissements concernés par les OI et les TGIR sont invités au CD-TGIR si les sujets les concernent. Le département SPFCO-B4 de la DGRI en assure le secrétariat. La représentation du MEAE, prévue par les textes, montre une rotation rapide des personnes qui ne facilite pas le suivi des dossiers.

Le CD-TGIR propose des décisions structurantes de haut niveau, telles que la participation de la France à des grands projets internationaux ou européens, les jouvences conséquentes et l'arrêt des installations obsolètes, la politique d'investissement sur le long terme, les mises à jour de son périmètre de compétences et la programmation pluriannuelle des TGIR. Il valide des modèles de coûts et de valorisation et suit la mise en œuvre des politiques nationales relatives aux TGIR.

Le CD-TGIR se réunit sur convocation du ministre chargé de la recherche deux fois par an et de façon exceptionnelle en tant que de besoin. La DGRI peut proposer la constitution de groupes *ad hoc* pour traiter un certain nombre de sujets (par exemple sur la tarification).

Devant l'importance croissante du nombre de demandes d'engagement dans de nouvelles structures internationales, le CD-TGIR a décidé de se doter, dès le début 2014, d'un comité de structures légales (CSL) dont le rôle est de mener une instruction détaillée de toute demande d'engagement de la France dans une nouvelle structure juridique internationale et/ou européenne.

La création du CD-TGIR était une impérieuse nécessité. Ses premières réalisations sont encourageantes, mais son périmètre et sa composition pourraient utilement évoluer (voir *infra*). Tout comme le Haut-Conseil, il pilote l'ensemble de la feuille de route et non les seules TGIR.

C - Les opérateurs

1 - Le CEA et le CNRS, opérateurs dominants des TGIR

Deux grands opérateurs de recherche détiennent l'essentiel des parts françaises et des droits de vote afférents dans les sociétés civiles ou structures juridiques équivalentes des TGIR qui disposent de la personnalité morale. Le CNRS, avec son rôle de coordination interdisciplinaire et national, est en France le principal opérateur des TGIR, le CEA étant le deuxième, à hauteur d'environ 50 % de celui du CNRS. Le CNRS participe ainsi à 19 des 22 TGIR. Le CEA quant à lui coopère sur une dizaine de TGIR avec le CNRS⁵⁷.

Pilotage et co-pilotage au sein du CNRS et du CEA

Au CNRS, la mise en œuvre du pilotage des TGIR est rattachée à la fois à la Direction générale déléguée à la science, *via* le Comité TGIR et à la Direction générale déléguée aux ressources. Le comité TGIR, placé auprès du directeur général du CNRS, créé le 1^{er} juillet 2004⁵⁸, a pour mission de « mener avec l'ensemble des départements scientifiques les réflexions nécessaires pour élaborer la politique pluriannuelle du CNRS concernant tous les grands équipements et infrastructures collectives de recherche, et la programmation associée ». Ce comité se réunit tous les deux mois environ pour présenter les scénarios budgétaires des IR et TGIR aux côtés des priorités scientifiques des instituts.

Au CEA, il n'existe pas de service spécialisé TGIR. Cependant, hormis RENATER, la totalité des TGIR où le CEA est impliqué est suivie par la Direction de la Recherche Fondamentale (DRF). La Directrice des TGIR présente au sein de la DRF et le responsable des TGIR au sein de la direction des programmes et des partenariats publics (DRF/D3P), qui est également responsable du segment 26 « TGIR », travaillent en étroite collaboration. Pour l'exercice de leur mandat, ils s'appuient sur la Direction des Finances de la DRF et/ou sur la Direction Financière et des Programmes du CEA. L'ensemble des TGIR fait l'objet de fiches annuelles présentées annuellement au conseil d'administration (liste des structures à personnalités morales où le CEA est impliqué).

⁵⁷ Voir en annexe 3 le détail de la présence des opérateurs dans les TGIR.

⁵⁸ Décision n° 040050DAJ.

Le CEA et le CNRS ont créé entre eux deux « comités de coordination thématique » (CCT) en décembre 2009, le CCT PNHE (physique nucléaire et hautes énergies, regroupant également les infrastructures des astroparticules) et le CCT TGIR, qui traite de l'ensemble des infrastructures de recherche. Les membres en sont les directeurs d'instituts du CNRS concernés par les TGIR, le président du comité TGIR du CNRS, et la direction de la recherche fondamentale du CEA, ainsi que les directions financières des deux organismes. Ces deux CCT passent en revue et préparent les demandes communes de moyens dans le domaine des IR et TGIR, ainsi que les actions structurantes (par exemple les candidatures de projets ESFRI, les demandes d'équipements structurants pour la recherche, les actions européennes) en amont du CD-TGIR.

En raison de l'importance grandissante du numérique et des données dans les infrastructures de recherche, un CCT numérique a été créé en 2018.

Ces trois comités ont pour mission d'étudier les synergies et les complémentarités possibles entre les deux organismes, ainsi que d'éventuels désaccords dans le domaine des TGIR⁵⁹.

À l'Ifremer, après l'unification⁶⁰ de FOF réalisée au 1^{er} janvier 2018 au sein de cet opérateur, une direction de la flotte océanographique (DFO) a été créée. Elle définit et met en œuvre la programmation de FOF au service des diverses communautés utilisatrices. Elle rassemble l'ensemble des moyens techniques directement consacrés à la TGIR et rapporte à un comité directeur mis en place, présidé par un représentant du MESRI et composé d'un représentant du CNRS, de l'IRD, de l'Ifremer ainsi que des universités utilisatrices (réseau des universités marines).

Le GIP Institut polaire français Paul-Émile Victor (IPEV) assure la gestion de la TGIR Concordia ainsi que la conduite des programmes de recherche menés sur cette base franco-italienne de l'Antarctique.

2 - La coordination des opérateurs au sein des cinq Alliances

Les opérateurs de la recherche publique sont regroupés dans cinq alliances thématiques⁶¹ qui assurent une très large couverture des champs disciplinaires⁶².

Structures informelles de concertation, de coordination et d'influence, ces alliances ont notamment pour mission d'impulser, en lien avec la DGRI, la stratégie des infrastructures de recherche avec une double mission :

⁵⁹ Les profils différents des deux organismes, le CEA étant très souvent plus un constructeur qu'un utilisateur des TGIR, alors que le CNRS est généralement en premier lieu un utilisateur et un exploitant ou administrateur de TGIR, peuvent en effet parfois conduire à des différences d'appréciation et de stratégie.

⁶⁰ L'adossement de la flotte à l'Ifremer s'est effectué sur la base des principes suivants : l'unification budgétaire, la définition d'un cahier des charges pour l'emploi de la flotte, et l'unification de la programmation ; la mise en place d'une structure dédiée au sein de l'Ifremer et d'une gouvernance dédiée.

⁶¹ Ces structures n'ont pas la personnalité morale et leur budget de fonctionnement repose sur la contribution des membres.

⁶² L'Alliance nationale pour les sciences de la vie et de la santé (AVIESAN), l'Alliance nationale de coordination de la recherche pour l'énergie (ANCRE), l'Alliance pour les sciences et technologies de l'information (ALLISTENE), l'Alliance pour l'environnement (AllEnvi) et l'Alliance nationale des Humanités, sciences humaines et sciences sociales (Athena).

- participer à la préparation et au suivi de la feuille de route nationale des TGIR en tant que membres de droit (présidents des Alliances), participer aux travaux du CD-TGIR et notamment au comité des structures légales ;
- élaborer une réflexion prospective sur les plateformes scientifiques de recherche qui, par mutualisation nationale, doivent alors être ouvertes à l'ensemble de la communauté scientifique nationale concernée.

Leur rôle est de développer une vision globale des infrastructures dans le champ scientifique concerné, pour promouvoir la plus grande cohérence dans le déploiement des infrastructures en réponse aux demandes des diverses communautés scientifiques. Depuis 2012, la DGRI a veillé scrupuleusement à faire respecter l'équilibre entre les Alliances et les deux grands opérateurs, plus enclins à défendre « leurs » infrastructures.

3 - Les universités

Les universités sont partenaires de la plupart des IR ainsi que des TGIR et OI suivantes : dans le domaine de l'astronomie et astrophysique, CFHT et, CTA ; dans le « système terre et environnement », EURO-ARGO, FOF, ICOS ; en sciences de la matière, EGO Virgo et LHC ; ProGeDo dans les SHS, GENCI dans le numérique et EMBL en biologie santé. La conférence des présidents d'universités (CPU) relève que les universités mettent à la disposition des infrastructures un grand nombre de locaux et de personnels sans lesquels celles-ci ne sauraient fonctionner, de même que nombre de doctorants et chercheurs qui participent à leurs travaux. Les universités ont également leurs propres infrastructures, comme le supercalculateur ROMEO de l'université de Reims, souvent en collaboration avec le CNRS.

La conférence des présidents d'universités (CPU) est membre des Alliances mais pas du CD-TGIR. Elle est membre du conseil d'administration du CNRS et de celui de GENCI. La recommandation de 2011 du CSRT encourageant « *les universités devenues autonomes à intégrer dans leur stratégie une implication croissante dans les programmes des TGIR en profitant du fait que nombre d'infrastructures sont distribuées ou dématérialisées* » semble avoir été en partie entendue et doit se poursuivre.

Malgré la cartographie établie avec l'enquête DGRI sur les coûts complets des IR/TGIR en 2016, les données agrégées ne donnent qu'une vision partielle sur l'implication des universités en matière d'infrastructures de recherche (y compris plateformes universitaires et autres infrastructures non labellisées). Dans son objectif de rationalisation, la DGRI a demandé en 2017 à la CPU d'examiner celles des infrastructures qu'il convenait de maintenir ou de développer, en lien avec les projets existants. Par ailleurs, la CPU pourrait utilement être appelée par la DGRI à contribuer à la fiabilisation de l'enquête sur les coûts complets, notamment en matière d'hébergement des infrastructures.

Pour répondre à tous ces impératifs, la nécessité d'une structuration des universités en tant qu'interlocutrices de l'État devient de plus en plus manifeste. La Cour observe que la CPU n'est pas aujourd'hui considérée comme suffisamment représentative, ce qu'elle-même reconnaît. Compte tenu de l'impact de la recherche universitaire en matière d'infrastructures de recherche, il convient d'assurer une meilleure représentation des établissements d'enseignement supérieur et des pôles de recherche universitaire au sein des instances de pilotage et de gouvernance des IR et TGIR.

D - Les infrastructures elles-mêmes

Les infrastructures ont des statuts juridiques variés et des types de gouvernance souvent similaires, synthétisés dans l'annexe n° 6.

1 - Les différents statuts juridiques

a) *Les organisations scientifiques internationales*

Les organisations internationales de type scientifique sont des personnes morales régies par le droit conventionnel. Il en existe quatre au sens strict sur la feuille de route de la DGRI : le CERN, EMBL, le CEPMMT et l'ESO. Elles ne sont en principe pas soumises au droit des marchés publics. Ce statut implique certaines lourdeurs. En particulier, leurs relations avec le pays hôte (notamment sur le plan fiscal et en ce qui concerne les privilèges et immunités de leur personnel) doivent être régies par un ou plusieurs accords⁶³. Par ailleurs, en France, selon l'article 53 de la Constitution⁶⁴, ces traités et accords sont ratifiés après autorisation par le Parlement⁶⁵.

Le statut particulier de l'ECORD, consortium créé par un MoU juridiquement non contraignant dans le domaine géologique

ECORD est un consortium, constitué par un MoU (*memorandum of understanding*, mémorandum d'entente ou déclaration d'intention), explicitement dénué de force juridique⁶⁶ et il n'est pas propriétaire des équipements utilisés pour les forages. Toutefois, comme une organisation internationale, il dispose d'un conseil représentant les États membres et d'une administration chargée de mettre en œuvre ses décisions. L'un de ses organes, l'ESO⁶⁷ (un consortium coordonné par le *British Geological Survey*) est chargé de la location et de la mise en œuvre des plates-formes de forage. Son budget est géré par un autre organe, l'*ECORD Managing Agency*, et administré par l'Institut national des sciences de l'univers (CNRS-INSU). L'EMA, entité juridique représentant l'ECORD, est notamment chargée de conclure des MoU avec les homologues américain et japonais de l'ECORD.

⁶³ Ainsi, dans le cas du CERN, la France a conclu des accords portant sur le statut juridique du CERN sur le territoire français, le régime des entreprises intervenant sur le domaine du CERN, l'exonération de droits d'enregistrement des acquisitions immobilières destinées à être utilisées par le CERN en tant que locaux officiels.

⁶⁴ Selon l'article 53 de la Constitution, « (...) les traités ou accords relatifs à l'organisation internationale, ceux qui engagent les finances de l'État, (...) ne peuvent être ratifiés ou approuvés qu'en vertu d'une loi ».

⁶⁵ Toutefois cette procédure ne semble pas avoir été respectée dans le cas d'ILL.

⁶⁶ « *The ECORD MoU is not legally binding and will have no effect as a legal or political precedent* ».

⁶⁷ L'*ECORD Science Operator*.

c) Les ERIC : un statut européen en développement

Les consortiums pour une infrastructure de recherche européenne (*European Research Infrastructure Consortium*, ERIC) combinent les principaux avantages de l'organisation internationale (exemptions fiscales, souplesse pour les marchés) et de la société civile (absence de convention avec l'État hôte, évolutions facilitées).

Cinq TGIR françaises sont impliquées dans huit ERIC figurant sur la liste ESFRI 2018⁶⁸. Comme les OI, les ERIC peuvent bénéficier d'une exemption de TVA et de droits d'accise, et ne sont, avec les mêmes réserves d'application, pas soumis au droit des marchés publics⁶⁹. Les États membres de l'UE doivent y disposer de la majorité des droits de vote.

Le premier ERIC a été créé en 2011⁷⁰ et la première infrastructure qualifiée TGIR en France à relever d'un tel statut a été Euro-Argo en 2014. Depuis, les nouvelles TGIR impliquant plusieurs États européens adoptent systématiquement ce statut, ou prévoient de l'adopter à court terme. CTA, créée en 2014, est une société de droit allemand, appelée à devenir un ERIC. Les deux autres TGIR impliquant plusieurs États européens créées en 2015, ICOS et ESS, sont des ERIC. Le rôle intégrateur des ERIC doit toutefois être relativisé dans le cas des infrastructures dites « distribuées », c'est-à-dire réparties entre plusieurs sites.

Il est à noter que l'éventuelle sortie du Royaume-Uni de l'Union européenne, à défaut de disposition spécifique⁷¹, impliquerait sa sortie simultanée de tous les ERIC et pourrait poser à ces derniers des problèmes de gouvernance. D'ores et déjà des dispositions ont été prises : en raison du risque d'un Brexit « *no deal* », les ERIC dont le siège est au Royaume-Uni doivent désigner en urgence un siège provisoire. C'est le cas d'ESSurvey qui a désigné la Norvège. C'est aussi le cas d'Instruct pour lequel la France a soutenu la candidature de l'Université de Strasbourg à l'accueil de ce siège.

Les ERIC « distribués » (Euro-Argo et ICOS)

Les statuts de l'ERIC Euro-Argo prévoient explicitement qu'ils ne s'appliquent qu'à l'« infrastructure centrale » (« *ERIC office* », à Plouzané, près de Brest), qui joue un rôle de coordination et qui conclut des accords avec les structures nationales⁷². De même, l'ERIC ICOS *stricto sensu* ne comprend que le siège (Finlande) et le « portail carbone » diffusant les données (Suède), et il conclut des accords avec les organismes gérant les structures nationales, soit les « installations centrales » (qu'il finance à la marge) et les réseaux nationaux.

⁶⁸ Il s'agit d'infrastructures distribuées, comme Euro-Argo et ICOS et monosite, comme ESS, située en Suède. Les deux TGIR des SHS, ProGeDo (infrastructure virtuelle) et Huma-Num (distribuée) font partie des ERIC CESSDA, CLARIN, DARIAH, ESS (European Social Survey) et SHARE. Un ERIC ne peut être une installation nucléaire, soumise au traité Euratom. Le CEA indiqué qu'en 2009 il a été envisagé de transformer GANIL en ERIC, mais que la Commission a refusé le recours au statut d'ERIC, le traité s'appliquant étant le traité Euratom (et non le TFUE).

⁶⁹ Le règlement n° 723/2009 précité prévoit seulement que les marchés doivent « *respecter les principes de transparence, de non-discrimination et de concurrence* ».

⁷⁰ SHARE (*Survey of Health, Aging and Retirement in Europe*).

⁷¹ Comme par exemple l'adhésion du Royaume-Uni à l'ERIC en tant que pays tiers.

⁷² « 1. Euro-Argo se compose d'une infrastructure centrale (ci-après dénommée l'« infrastructure centrale ») qui est détenue et contrôlée par l'ERIC Euro-Argo. L'infrastructure centrale coordonne les activités d'EUR-Argo en

Ainsi, à l'exception de l'« infrastructure centrale » d'Euro-Argo, les éléments français de ces deux ERIC n'ont pas de personnalité juridique. Dans le cas d'Euro-Argo, la structure inter-organismes Coriolis⁷³, qui pilote la contribution française, et le centre mondial de traitement des données géré par la France, n'ont pas la personnalité juridique. La situation est la même pour ICOS, le centre thématique sur l'atmosphère (l'une des « installations centrales »), géré par le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement du CNRS (UMR 8212). Par ailleurs, les structures nationales ne bénéficient pas de la souplesse des ERIC pour les marchés publics.

d) Les sociétés de droit privé

Parmi les 22 TGIR, 10 sont des sociétés de droit privé. Dans le cas des TGIR situées en France, le régime privilégié est celui de la société civile, qui présente en particulier l'intérêt de pouvoir associer plus facilement des partenaires étrangers.

Les sociétés de droit privé impliquant plusieurs États, soit huit TGIR, sont régies par le droit du pays hôte, ce qui présente le double avantage d'éviter la nécessité de conclure un accord avec celui-ci et de faciliter les évolutions. Par exemple, ESRF, ILL et l'IRAM sont des sociétés civiles de droit français et E-XFEL, FAIR et CTA des sociétés à responsabilité limitée de droit allemand. La simplicité de cette solution doit toutefois être relativisée. En effet, pour la moitié de ces sociétés, leur existence ainsi que certains éléments de leur statut sont prévus par un accord international préalable, donc à ratifier par le Parlement, tout comme celles créant une organisation internationale.

Sur les quatre TGIR purement françaises dotées de la personnalité juridique (SOLEIL, GENCI, GANIL et Renater), les trois premières ont un statut de droit privé : SOLEIL et GENCI sont des sociétés civiles de droit français⁷⁴ (créées en 2001 et en 2007), et GANIL est un groupement d'intérêt économique (GIE)⁷⁵ créé en 1976. Renater est quant à lui un groupement d'intérêt public (GIP).

Le choix du régime du GIE pour GANIL en 1976 peut apparaître rétrospectivement comme une anomalie. En particulier, il fait obstacle à l'adhésion de nouveaux membres, notamment étrangers (du fait de la responsabilité solidaire et illimitée des membres pour les dettes).

e) Les TGIR sans personnalité juridique

Outre les « antennes » d'ERIC distribués (cf. *supra*, Euro-Argo et ICOS), cinq TGIR n'ont pas de personnalité juridique : Concordia (ce qui est permis par le fait que seuls deux États, la France et l'Italie, sont concernés)⁷⁶, Huma-Num, ProGeDo (unités mixtes de service du CNRS), LLB (unité mixte de recherche du CNRS) et FOF (direction de l'Ifremer). L'absence

vertu d'arrangements conclus avec des entités juridiques et installations nationales indépendantes décentralisées.
2. Les statuts s'appliquent à la seule infrastructure centrale » (article 2 des statuts de l'ERIC Euro-Argo).

⁷³ CNES, CNRS/INSU, Ifremer, IPEV, IRD, Météo France, SHOM.

⁷⁴ Articles 1845 et suivants du code civil.

⁷⁵ Articles L. 251-1 à L. 251-23 du code de commerce.

⁷⁶ Ni l'« accord de coopération scientifique en Antarctique » entre la France et l'Italie (23 mars 2017) ni l'« accord de coopération » entre l'IPEV et son homologue italien, le Programme national de recherche en Antarctique (PNRA) ne créent d'entité ayant la personnalité juridique.

de personnalité juridique n'est pas adaptée quand il s'agit d'employer du personnel ou de réaliser des achats importants (en particulier pour construire ou maintenir une infrastructure coûteuse). Elle ne permet pas, par construction, la consolidation des produits et des charges de l'infrastructure.

2 - La gouvernance

a) Des règles de représentation formalisées dans les OI et les TGIR internationales

Parmi les OI, le CERN bénéficie d'un niveau de représentation spécifique avec la présence au sein du Conseil du CERN de l'ambassadeur représentant permanent auprès de l'office des Nations unies à Genève, ainsi que d'un représentant scientifique, nommé par le MESRI. En outre, un conseiller diplomatique est mis à disposition par le MEAE au CERN en qualité de conseiller diplomatique auprès de la Direction générale, depuis septembre 2016.

S'agissant du mode de représentation française auprès des OI et TGIR internationales, le CD-TGIR du 30 janvier 2017 a adopté des recommandations à mettre en œuvre par le MESRI et les organismes de recherche, lorsqu'ils doivent désigner des personnalités scientifiques et/ou administratives chargées de siéger aux instances de gouvernance de ces organismes. La DGRI et le MEAE indiquent que ces conditions sont respectées.

Le MESRI a mené en 2015-2016 une réflexion pour sécuriser la position française dans les organisations scientifiques internationales, afin de mieux anticiper la dépense et de garantir qu'aucune décision relative à celle-ci ne soit engagée dans les TGIR internationales et les OI sans que le ministère ait pu faire entendre sa voix de manière traçable.

Le renforcement de cette représentation est d'autant plus important que l'enquête de la Cour n'a pu évaluer l'existence d'outils de mesure, de qualité de l'exploitation et de *reporting* au sein de ces organisations.

b) Les modalités de prise de décision au sein des infrastructures

La quasi-totalité des TGIR et OI ont des organes de gouvernance équivalents : un organe délibérant (habituellement dénommé « conseil »), qui a autorité sur un directeur, le cas échéant par l'intermédiaire d'un comité de direction (ILL, GANIL...).

La principale différence concerne les modalités de vote⁷⁷. Quand l'infrastructure réunit un grand nombre de participants, les décisions doivent être prises à la majorité (simple ou qualifiée). Dans le cas des OI ou des TGIR réunissant de nombreux États, des décisions importantes peuvent donc en principe être prises contre la volonté de la France (bien que la pratique soit de rechercher le consensus). Inversement l'ILL, qui réunit seulement trois États (la France, l'Allemagne et le Royaume-Uni), prend ses décisions à l'unanimité, sans que cela n'ait, semble-t-il, suscité de blocage.

⁷⁷ Voir détail par TGIR en annexe n° 6.

Une des normes les plus communes est le recours à des comités consultatifs. Comme le souligne la DGRI, « *le schéma classique de gouvernance d'une TGIR prévoit : un organe décisionnel (conseil d'administration, comité de direction...), un organe consultatif pour la stratégie scientifique et un organe consultatif pour les questions administratives et financières, comme un comité administratif et financier (CAF). Les organes consultatifs permettent de sécuriser et de fluidifier le processus de décision au sein de la TGIR* ».

Les comités d'appui à la gouvernance

Les cinq OI et les trois ERIC disposent chacun d'un comité scientifique et d'un comité financier, consultatifs. ICOS est en outre doté d'un conseil consultatif éthique et ESS d'un comité technique consultatif distinct du comité financier.

ESRF est doté, outre d'un « comité administratif et financier » et d'un « comité consultatif scientifique », d'un « comité consultatif machine » et d'un « comité d'audit » (qui examine les comptes).

ILL dispose d'un comité administratif et financier, d'un conseil scientifique et d'une commission d'audit.

Les organes consultatifs de GENCI comprennent, outre un comité technique et un comité consultatif administratif et financier, un comité stratégique pour l'investissement (COSI).

Huma-Num dispose d'un conseil scientifique.

La direction de la flotte, à l'IFREMER, dispose d'un Comité scientifique tandis que les structures d'évaluation (CNFH et CNFC) perdurent pour les demandes de campagnes.

Trois comités administratifs et financiers ont été récemment créés, pour la TGIR RENATER en 2017 et pour les TGIR internationales IRAM et EGO-VIRGO en 2016 et 2017. Dans ces deux derniers cas, c'est l'associé français (le CNRS en l'occurrence) qui a pris l'initiative et a convaincu ses partenaires internationaux et les équipes de direction de la pertinence de cette évolution.

Au total, les statuts et la gouvernance des TGIR paraissent globalement adaptés à leurs missions.

E - Les entreprises

Les entreprises sont concernées à plusieurs titres par les infrastructures de la feuille de route. Elles peuvent être constructeurs ou fournisseurs de composants ou encore utilisatrices de ces grands équipements.

La construction de ces très grandes infrastructures représente un défi pour les industriels qui se voient mis en compétition par les chercheurs académiques dans l'élaboration scientifique et technique et mis en concurrence avec des industriels internationaux. Il peut s'agir de construction de machines (comme en 2018 le supercalculateur Joliot-Curie de la TGIR GENCI par la société ATOS/BULL) ou d'infrastructure immobilière, où des compétences très spécifiques sont requises.

Dans les OI et certaines TGIR internationales, des agents de liaison industrielle, ou ILO (*Industrial Liaison Officers*)⁷⁸ ont été mis en place pour accompagner les industriels qui soumissionnent aux contrats de fournitures et d'équipements ou qui répondent aux appels à projets. Ainsi existe-t-il au CERN, à ITER, à ESS et à l'ESO des ILO français qui sont, en l'espèce, des personnels mis à disposition à temps partiel par le CEA, le CNRS ou des ministères. Une structuration du recours à ces agents est en cours en vue de formaliser des pratiques communes. D'autres pays européens (Pays-Bas et le Danemark) se sont dotés d'ILO très actifs. L'Espagne a, quant à elle, fait le choix d'avoir un ILO au CERN⁷⁹.

Les industriels « constructeurs » de TGIR se sont regroupés en 2010 dans l'association PIGES (Partenaires Industriels pour les Grands Équipements Scientifiques) pour collaborer avec le CEA et le CNRS afin d'apporter une meilleure connaissance de leurs besoins, de leurs outils et des compétences de chacun.

Les industriels pourraient être mieux associés en amont d'un projet de TGIR comme le soulignait dès 2011 le Conseil Supérieur de la recherche et de la technologie (CSRT). C'est un axe de progression important pour les TGIR. Partout des modèles économiques nouveaux sont recherchés, afin d'une part de réduire la participation financière des États, d'autre part d'enrichir les collaborations. Si des partenariats publics-privés existaient déjà, comme pour le très grand centre de calcul Cobalt du CEA, la pratique prend de l'ampleur. C'est ainsi que les partenaires de SKA et, en France, la DGRI et le CNRS, réfléchissent à un consortium SKA France dans lequel les industriels pourraient participer significativement dès la phase d'investissement. Les associations d'entreprises en amont se développent aussi au plan européen, où par exemple les entreprises du calcul sont étroitement associées au programme EuroHPC au sein d'un consortium. À Bruxelles, la DG Recherche travaille sur la notion « d'infrastructure industrielle » dès l'amont de projets d'infrastructure de recherche.

L'utilisation des TGIR par les industriels peut s'effectuer selon des modalités différentes mais relevant de deux catégories : la prestation de services (en principe tarifée⁸⁰) et le partenariat académique. La distinction est parfois ténue, or elle donne lieu à des régimes différents, en matière fiscale (recours au crédit impôt recherche quand la prestation est sous-traitée à un laboratoire de recherche publique) et de règles de publication, puisque dans le cas de partenariats scientifiques par nature ouverts, les coopérations doivent donner lieu à publication scientifique dans un délai d'un an maximum.

La Cour a examiné à titre principal les relations avec les TGIR : il y a lieu de présumer que, *mutatis mutandis*, le même type de collaboration puisse s'établir ou se développer avec les IR de la feuille de route.

⁷⁸ Terme uniformément utilisé pour désigner les officiers de liaison.

⁷⁹ La DGRI conjointement avec le CEA et le CNRS a décidé de mener une réflexion pour qu'une équipe d'ILO ayant la taille critique suffisante et pleinement engagée soit constituée pour suivre l'ensemble des OI et TGIR internationales.

⁸⁰ La question de la tarification est détaillée en annexe n° 13.

II - Renforcer le pilotage au service d'une stratégie nationale

Le pilotage des TGIR et des IR est d'abord exercé par les opérateurs, en nombre restreint et eux-mêmes soumis à la tutelle du MESRI. Les deux principaux, CEA et CNRS, ont entamé une démarche d'amélioration de la coordination des TGIR de leur ressort. Si leur position dominante a parfois été qualifiée de « tutelle inversée » par rapport au MESRI, dont l'information et la qualité de décision ont longtemps dépendu d'eux, il apparaît que la situation de l'échelon central s'est peu à peu consolidée. Cependant l'efficacité de la gouvernance des infrastructures, nécessaire au pilotage, est à développer tandis que la collégialité et l'interministérialité des arbitrages du comité directeur actuel (le CD-TGIR) pourraient aujourd'hui être élargies et largement renforcées.

A - Renforcer l'efficacité de la gouvernance des infrastructures de recherche

Sans porter préjudice au travail de fond effectué par les opérateurs, spécialement le CEA et le CNRS, il convient de mettre en place des outils de gestion communs dans chaque infrastructure. Ainsi devraient être systématisées des lettres de mission du MESRI pour chaque président d'infrastructure française, établies avec leurs opérateurs et assorties d'objectifs et d'indicateurs précis qui, pour la plupart, restent à harmoniser par la DGRI. Un plan stratégique de chaque infrastructure essentielle et/ou stratégique pourrait être mis en place et réexaminé tous les deux ans (clause de revue). Ces éléments constitueraient une première base objective pour contribuer à éviter la pérennisation d'infrastructures « de routine » (risque souligné par le CSRT en 2011).

En collaboration avec la DGRI et les opérateurs, le pilotage de ces infrastructures devrait aborder la question des ressources humaines dont elles disposent en matière de gestion, de finances, de diplomatie scientifique et d'interface de dialogue avec les chercheurs. Il devrait aussi reposer sur des indicateurs d'évaluations et d'autoévaluations harmonisés.

La gouvernance des infrastructures, en lien avec les opérateurs et la tutelle, doit enfin pouvoir produire les informations nécessaires pour garantir une perspective à long terme aux pouvoirs publics, avec une anticipation à au moins dix ans, articulée sur les partenariats européens et internationaux et alimentée par de meilleurs outils de connaissance des coûts et d'évaluation.

B - Des processus de décision collégiale à mieux structurer

L'exercice stratégique de la feuille de route depuis 2008 puis la création d'instances collégiales en 2012 ont permis de structurer la prise de décision entre communautés scientifiques et au niveau national. Le MESRI n'a plus à devoir financer des infrastructures sur lesquelles il n'avait pas pu porter d'appréciation préalable. Le long travail de réflexion avec les Alliances, qui présélectionnent les projets candidats ainsi qu'avec les organismes de recherche, puis les processus d'évaluation par le HC-TGIR et la validation par le CD-TGIR, le tout de manière régulière, impriment un mouvement d'autant plus nécessaire et vertueux que les

contraintes budgétaires sont fortes. Dans ce cadre, les limites du périmètre de ce comité et de ses critères de choix nécessitent aujourd'hui l'évolution du dispositif.

La garantie d'excellence scientifique des projets, assurée par le HC-TGIR constitue le premier stade du processus, *via* une évaluation *a priori* des projets de création ou de modernisation d'une TGIR. Cette étape mériterait en tout état de cause d'être renforcée par des prévisions financières à long terme plus robustes. Ce premier stade est suivi par l'examen de la faisabilité opérationnelle par le CD-TGIR.

Les décisions structurantes relèvent de plusieurs facteurs.

L'entrée dans une TGIR internationale, par exemple, est souvent le fait de négociations politiques qui dépassent le champ de la discipline, voire le champ scientifique. L'accueil sur le sol français du projet ITER (OI hors feuille de route DGRI) a été décidé au plus haut niveau politique et moyennant des contreparties, comme l'engagement de la France dans plusieurs TGIR internationales, E-XFEL et FAIR en Allemagne et ESS en Suède. Ces trois projets présentent également un grand intérêt pour le CEA et le CNRS, qui ont participé à la construction de ces machines en apportant en nature une partie de la contribution française. Ce type de participation permet aux opérateurs et industriels d'entretenir voire de développer leurs compétences technologiques.

Le projet ESS est significatif. L'entrée de la France dans le projet a été décidée en 2009 par un accord entre les ministres français et suédois de la recherche, sur un montant de 11 % maximum de l'investissement et a été lancée sans visibilité budgétaire sur son financement. Le ministère a fait ensuite réduire cette participation à 8 %. Aujourd'hui, ce projet est touché par de nombreux retards entraînant des surcoûts, les deux pays porteurs, Suède, pays hôte, et Danemark voulant cependant réduire leur participation au pourcentage prévu pour la phase de production, inférieur à celui de la phase de construction. La DGRI, le CEA et le CNRS, grâce à des réunions préparatoires systématiques, ont refusé les négociations bilatérales que voulaient lancer les deux pays porteurs, ont stimulé des échanges multilatéraux entre pays non hôtes, et ont été forcés de proposition pour un scénario de prise en compte des surcoûts bien plus avantageux, scénario qui, selon la DGRI, semble devoir s'imposer.

Un autre élément-clé dans le processus de décision sur les TGIR est la capacité d'influence directe des opérateurs. Si cette situation a évolué avec les réformes de 2012, il reste clair que le CEA et le CNRS disposent d'un poids particulier auprès du ministère, avec leur accès direct aux décisionnaires politiques et la présence de nombreux personnels issus de leurs rangs au sein de l'administration elle-même, face à la faiblesse quantitative des moyens budgétaires et humains en charge des infrastructures à la DGRI. Ces opérateurs tout comme les chercheurs eux-mêmes peuvent aussi avoir accès directement aux ambassades voire à des pays étrangers.

Pour rationaliser la prise de décision, la DGRI avait demandé en 2012 que chaque décision d'investissement soit validée par une réunion interministérielle avec compte rendu écrit. Ce n'est toujours pas le cas, si l'on en juge par l'absence de décisions écrites (« bleus »).

Cette nécessité a été tout particulièrement pointée pour les décisions des OI et TGIR internationales engageant la France par un diagnostic de la DAF⁸¹. Selon ce document, il apparaît que sur les quatre dimensions nécessaires pour forger la position française (pertinence scientifique des orientations proposées par l'OI/TGIR, cohérence programmatique, capacités et pertinence financières), « les compétences critiques » sont « mobilisées à des degrés variables selon les OI ». Le diagnostic suggère une clarification des rôles respectifs des départements du MESRI, une homogénéisation de leurs pratiques, une meilleure circulation de l'information entre eux et les représentants opérateurs, une phase de préparation formalisée et une participation plus fréquente de la DAF aux instances dirigeantes des OI les plus coûteuses. Ces recommandations ont été suivies d'un début d'effet.

Elles ont d'autant plus d'importance en matière d'OI que le CERN pilote de fait la stratégie de l'Union européenne en matière de physique des hautes énergies et dispose d'une influence reconnue. Il a aussi la faculté de s'adresser directement au MEAE, qui participe à très haut niveau à son conseil. Cette puissance peut conduire à des demandes financières par des canaux directs.

Afin éviter des actions non coordonnées, le choix des projets à inscrire sur la feuille de route ESFRI que le représentant français devra soutenir est exercé par le CD-TGIR parmi les IR de la feuille de route nationale. Les opérateurs participent à la préparation du dossier mais ne sont pas représentés au sein des groupes de travail stratégiques d'ESFRI. Le membre français de chaque groupe est choisi avec un souci de prévention des conflits d'intérêt.

Un des objectifs de la DGRI en 2012 avait été d'obtenir pour chaque négociation un mandat précis, de manière à parler d'une seule voix auprès des instances bruxelloises et à parvenir à des décisions communes et préparées. Par ailleurs, le ministère a établi des règles de bonnes pratiques pour l'entrée d'infrastructures de recherche dans une infrastructure paneuropéenne comme par exemple un MOU entre les partenaires français, définissant les règles de répartition des contributions financières et la méthode d'élaboration d'une position française au sein des instances de gouvernance de l'infrastructure.

La suppression d'une TGIR pose les mêmes problèmes d'arbitrage. L'observation montre que de telles décisions ont été possibles récemment, sans doute plus que par le passé. Ainsi sera-t-il mis fin à la TGIR Orphée en 2019. La TGIR GANIL paraît de son côté progressivement affaiblie par des moyens en baisse. Les IR Hadron et Biobanques, financées par le PIA, ont également disparu de la feuille de route 2018, du fait notamment de leurs évaluations de suivi par l'ANR.

Dans tous les cas, les décisions engageant l'État dans des projets actuels ou futurs de grandes infrastructures de recherche, nationales, européennes et internationales, doivent relever d'arbitrages interministériels dûment formalisés, reposant sur des évaluations solides.

Cela est particulièrement nécessaire dans le domaine numérique (notamment calcul et stockage), qui aujourd'hui détermine les progrès de tous les domaines de la recherche⁸². Ce secteur, particulièrement compétitif sur un plan mondial, porteur d'enjeux nationaux et européens majeurs, où la France -comme dans d'autres secteurs de la recherche- bénéficie

⁸¹ « La sécurisation de la position française dans les organisations scientifiques internationales », cf. *supra*.

⁸² Voir cahier complémentaire.

d'atouts scientifiques et industriels considérables, doit faire l'objet d'une attention particulière en termes d'organisation nationale.

La compétition scientifique et technologique impose d'anticiper les évolutions à venir (puissance et dissémination de l'intelligence artificielle, étape de l'Exascale⁸³, calcul quantique, capacité de traitement et stockage de données massives, nouveaux standards et protocoles, certification des algorithmes). Elle implique à la fois une recherche propre, aujourd'hui largement nationale et des programmes applicatifs de niveau européen (EuroHPC, EPI, EOSC...), dans lesquels tant la DGRI que les grands opérateurs et la TGIR GENCI, à gouvernance nationale, sont des acteurs importants. La DGRI a décidé de renforcer les capacités techniques⁸⁴ de cette dernière et, en utilisant si besoin son expertise, de rationaliser l'organisation régionale des centres de calcul et de stockage. Elle a demandé à toutes les IR et TGIR un état des lieux et une projection à cinq ans de leurs besoins en stockage, fournis dans la feuille de route 2018, et il a été décidé en CD-TGIR qu'un volet stockage serait intégré en tant que plan d'action dans chaque IR et TGIR. Ces directions paraissent devoir être encouragées pour une cohérence maximale de la gouvernance numérique française face aux défis de ce secteur.

Les dimensions de sécurité et de souveraineté occupent une place centrale dans les enjeux des infrastructures de recherche, qu'il s'agisse d'éviter une dépendance à des technologies ou composants clés, de permettre à tous les secteurs l'accès à la donnée, nouvelle richesse immatérielle, d'assurer l'excellence, de garantir la sécurité et la cybersécurité, de choisir des collaborations internationales pertinentes, de veiller enfin au recrutement et à la formation de spécialistes dans les secteurs prioritaires. Il n'appartient pas à la Cour, dans le cadre de cette enquête, se prononcer sur le fond de ces questions. Cependant, le pilotage stratégique doit impérativement les intégrer dans son champ de décision.

III - Un système d'évaluation à parfaire et développer

L'évaluation des TGIR est régulière, mais éparpillée entre différentes instances. Les obligations réglementaires en matière d'évaluation socio-économique des investissements sont insuffisamment respectées. Par ailleurs, l'évaluation socio-économique gagnerait à être homogénéisée, dans ses visées comme dans ses indicateurs.

A - Des évaluations sans ligne directrice

L'évaluation scientifique en amont par le HC-TGIR est systématique lors de l'inscription sur une feuille de route. Ainsi, il a donné un avis favorable à l'inscription sur la « feuille de route » 2018 des projets HL-LHC (TGIR), CTA (TGIR), SKA (projet) et DUNE (IR). Par ailleurs, certains avis du HC-TGIR peuvent constituer une évaluation *a priori* d'un projet de TGIR ou de modernisation d'une TGIR, comme dans le cas de la phase 2 de jouvence d'ESRF (6 janvier 2014), du HL-LHC (30 novembre 2016) et des différents projets en astrophysique et

⁸³ Le terme exascale fait référence à un niveau de calcul du niveau de l'exaflop, soit 10^{18} soit 1 milliard de milliards d'opérations par seconde, par différence avec le petaflop de 10^{15} , soit un million de milliards d'opérations par seconde.

⁸⁴ Cela va d'ores et déjà être le cas avec la nouvelle machine d'IDRIS mise en service début 2019, qui doublera la capacité en puissance petaflops de GENCI.

en astroparticules (30 novembre 2016). Le HC-TGIR peut également présenter une vision globale d'un domaine, comme dans ses avis sur les faisceaux de neutrons (6 janvier 2014), la FOF (6 janvier 2014), les lasers (25 mai 2016) ou l'astrophysique (30 novembre 2016).

Des évaluations d'infrastructures – et non plus seulement de projets – peuvent être confiées aux corps d'inspection de l'administration. Dans le cadre de son programme annuel 2017-2018, l'inspection générale de l'administration de l'éducation nationale et de la recherche (IGAENR) a conduit une mission portant sur « RENATER et les réseaux d'accès », dont le rapport a été remis en octobre 2018.

Le Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Hcéres) est compétent pour évaluer les infrastructures de recherche sur le plan scientifique⁸⁵. Ainsi, les évaluations sont menées par des comités d'experts, souvent internationaux. Bien que l'usage pour le Hcéres soit d'évaluer des unités de recherche, il est compétent pour évaluer toute infrastructure de recherche de droit privé financée par des fonds publics⁸⁶. Pourtant, il a évalué seulement deux TGIR : LLB (2014), qui est une UMR, et GANIL (2017), qui réunit une unité de recherche du CEA et une unité de recherche du CNRS. En novembre 2016, Huma-Num a remis au Hcéres un dossier d'auto-évaluation faisant un bilan de la période 2013-2018 et présentant ses projets pour 2019-2023. L'AERES avait quant à elle évalué uniquement SOLEIL (2011), qui est une société civile. La fréquence des évaluations des TGIR par le Hcéres pourrait être plus régulière.

À ces évaluations portées par des instances extérieures, s'ajoutent celles du CEA et du CNRS. Le CNRS effectue des évaluations selon un processus dit « tourniquet »⁸⁷. Ainsi, en 2017 GANIL a fait l'objet d'une évaluation de la première section « Interactions, particules, noyaux, du laboratoire au cosmos » du CNRS. Cette dernière évaluation a été limitée à l'unité propre du CNRS située à GANIL. L'évaluation des TGIR par les opérateurs s'appuie en particulier sur la lecture des rapports fournis par les comités internes aux infrastructures et par les *visiting committees*⁸⁸, ainsi que sur les données bibliométriques. Dans le cas du CEA, le conseil scientifique 2018 et le *visiting committee* 2019 se pencheront sur les grands instruments de recherche pour leur prochaine évaluation. Un tel comité doit évaluer GANIL en 2019.

Au total, les évaluations externes des TGIR de la feuille de route sont variées mais ne correspondent à aucune programmation d'évaluation et de suivi des recommandations.

⁸⁵ L'article L. 114-3-1 du code de la recherche prévoit l'évaluation des unités et organismes de recherche par le Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Hcéres), créé par la loi n° 2013-660 du 22 juillet 2013, en remplacement de l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Aéres).

⁸⁶ L'article L. 114-3-1 du code de la recherche prévoit que le Hcéres est compétent pour « évaluer a posteriori les programmes d'investissement ainsi que les structures de droit privé recevant des fonds publics destinés à la recherche ou à l'enseignement supérieur ».

⁸⁷ En 1967, le CNRS a mis en place le dispositif dit « tourniquet », consistant en un examen périodique de ses unités de recherche. L'examen est assuré par les sections, qui sont consultées sur leur création, leur renouvellement et leur suppression (article 23 du décret n° 82-993 du 24 novembre 1982 portant organisation et fonctionnement du CNRS). L'évaluation a lieu au moins tous les 5 ans (DEC920520SOSI).

⁸⁸ Les infrastructures peuvent faire appel à des comités de visite (*visiting committees*), constitués d'experts reconnus internationalement.

Les TGIR disposent habituellement d'un ou plusieurs comités consultatifs dans le domaine scientifique ou technique (comités scientifiques, comités techniques, comités scientifiques et techniques, etc.). Ces comités ont fréquemment pour membres des scientifiques extérieurs à l'installation.

Les principales TGIR publient des données bibliographiques ou bibliométriques (cf. annexe 7). En particulier ESRF a également travaillé pour marquer les articles et citations issus de son utilisation, en poussant les chercheurs à utiliser les référencements américains attribués par le système ORCHID⁸⁹. Ce standard n'a pas d'équivalent français ou européen.

Depuis juin 2017, le rapport de situation approuvé chaque année par le conseil du CERN comprend 50 indicateurs de performance, couvrant non seulement la bibliométrie, mais aussi les caractéristiques et la disponibilité des faisceaux, le nombre d'étudiants en doctorat, l'informatique, la politique de communication.

GENCI a publié pour ses dix ans (2017) une auto-évaluation d'impact bibliométrique et économique. Ce modèle d'autoévaluation sera diffusé par la DGRI vers toutes les TGIR. Il conviendra cependant d'en affiner et fortifier la méthodologie concernant l'impact socioéconomique.

L'auto évaluation de GENCI

Cette TGIR a pris l'initiative, à l'occasion de l'anniversaire des dix ans de l'infrastructure en 2017, de chercher à qualifier son impact sur la production scientifique en analysant la métrique (impact, taux de citation) des publications ayant bénéficié de l'attribution d'heures de calcul sur les grands calculateurs nationaux. L'intérêt de cette étude est d'être interdisciplinaire et « longitudinale » (elle permet le suivi d'un thème tel que par exemple la transition énergétique).

Les domaines de recherche des publications concernent d'abord la chimie, la physique, les sciences de la terre. Parmi les 4 324 articles mentionnant GENCI, 71 concernent la catégorie des « 1 % d'articles les plus cités » dans le monde (référéncés par *Web of science*, service international d'information universitaire en ligne géré par la société *Clarivate Analytics*). Ce nombre d'articles représente 1,6 % des articles mentionnant GENCI, ce qui est bien supérieur à la moyenne mondiale des articles le plus cités par rapport à l'ensemble des articles (1 %).

La comparaison internationale est intéressante : les publications mentionnant GENCI sont de 50 % supérieures à celles mentionnant les supercalculateurs allemands, de 60 % pour les italiens, de plus de 100 % pour l'espagnol et presque quatre fois plus nombreuses que les Britanniques.

Quant à l'impact socio-économique, l'étude estime qu'une dépense d'1 euro de GENCI a généré 1,93 € de production et 0,87 € de valeur ajoutée. Ces chiffres sont à peu près équivalents pour l'investissement.

Au total, le morcellement et l'hétérogénéité des approches d'évaluation ou d'auto évaluation interdisent toute tentative de synthèse. Elles relèvent parfois autant du processus de contrôle que de la politique de communication. Les évaluations scientifiques et bibliométriques seraient-elles validées par une autorité externe, qu'il resterait encore à améliorer les évaluations

⁸⁹ ORCHID attribue un numéro à partir d'une démarche volontaire dans laquelle le chercheur doit s'identifier et livrer un certain nombre de données pour être référencé Ce système permet le référencement dans toutes les bibliothèques y compris les plus prestigieuses comme celle du Congrès.

économiques ou socio-économiques des TGIR. Il conviendrait enfin de systématiquement s'assurer que les membres internationaux des panels ou comités d'évaluation ne sont pas liés à des organismes potentiellement concurrents de la TGIR examinée.

B - Une évaluation socio-économique encore en chantier

1 - Dans le cas des investissements, un dispositif prévu par décret et non appliqué

L'article 17 de la loi de programmation des finances publiques du 31 décembre 2012⁹⁰ a créé une obligation de déclaration et d'évaluation socioéconomique préalable de certains projets d'investissement⁹¹. Le décret d'application du 23 décembre 2013, qui fixe des seuils de déclaration pour les projets d'investissement d'au moins 20 M€ HT, n'est quasiment jamais respecté dans le cas des TGIR. Font exception les projets déclarés par le CNES, qui n'a pas de TGIR au sens de la « feuille de route »⁹², et les quatre projets de plus de 20 M€ déclarés par le CEA à l'été 2018.

Surtout, l'obligation, à partir du seuil de 100 M€, de transmettre une expertise au SGPI (celui-ci faisant réaliser une contre-expertise indépendante), n'est quasiment pas respectée. En effet, la seule TGIR ayant fait l'objet d'une contre-expertise (en 2014) est la source européenne de spallation (ESS). Selon la DGRI, une évaluation socio-économique devrait être prochainement réalisée dans le cas du projet de modernisation de l'anneau de SOLEIL. Le CEA indique de son côté qu'une évaluation similaire devra être réalisée par GENCI pour l'achat des calculateurs.

2 - Dans le cas de l'évaluation socio-économique *ex post*, des travaux en cours de la DGRI et des infrastructures de recherche

Dans le cas de l'évaluation socio-économique *ex post*, des travaux et réflexions ont été lancés entre DGRI, opérateurs et infrastructures de recherche en 2017, date à laquelle un groupe de travail « Impact » piloté par la DGRI, réunissant 44 infrastructures de recherche, dont ESRF et SOLEIL, a été mis en place. Après avoir recensé les pratiques des infrastructures, il s'est tourné vers les questions méthodologiques. La DGRI indique qu'à ce jour, sur les 99 infrastructures que comporte la feuille de route 2018, 36 % ne réalisent aucune évaluation socio-économique, 22 % en ont déjà réalisé au moins une et 42 % en envisagent une à terme⁹³. Le groupe de travail reprendra ses travaux quand l'OCDE aura publié ses recommandations méthodologiques pour l'évaluation des infrastructures de recherche, ce qui devrait être le cas au printemps 2019.

⁹⁰ Loi n° 2012-1558 du 31 décembre 2012 de programmation des finances publiques pour les années 2012 à 2017.

⁹¹ Voir annexe n° 8.

⁹² Le CEA a toutefois déclaré à l'été 2018 quatre projets d'investissement de plus de 20 M€.

⁹³ La DGRI a organisé en juin 2018 la présentation des travaux de l'OCDE aux représentants des IR de la feuille de route, des organismes tutelles, des départements scientifiques de la DGRI et a également participé en février 2018 à l'enquête OCDE qui devrait aboutir au cadre de référence générique pour l'évaluation de l'impact socio-économique des IR qui devrait être disponible au printemps 2019.

3 - Adapter la méthodologie des évaluations économiques et socio-économiques

Le décret de 2013 précité précise que l'évaluation socio-économique a « *pour objectif de déterminer les coûts et bénéfices attendus du projet d'investissement envisagé* ». La référence aux « coûts et bénéfices attendus » est une invitation à calculer une valeur actualisée nette socio-économique (VAN-SE). La définition de la VAN-SE pose des problèmes méthodologiques dans le cas d'une infrastructure de recherche (du fait notamment de l'impossibilité de prendre correctement en compte les publications, cf. annexe n° 8). Toutefois une évaluation socio-économique ne se résume pas au calcul de la VAN-SE. Ainsi, la seule évaluation socio-économique de TGIR existant à ce jour, celle d'ESS, ne comprend pas de tel calcul.

L'évaluation socio-économique est non seulement peu ou pas développée, mais elle reste encore à encadrer méthodologiquement. ESFRI, qui recommande ce type d'évaluation dans sa « feuille de route » 2018 et a lancé un groupe de travail *ad hoc*, reconnaît qu'il « *reste délicat d'élaborer un modèle et une métrologie robustes pour estimer quantitativement* » l'impact socio-économique d'une infrastructure de recherche. Le SGPI a indiqué à la Cour son intention de se rapprocher du MESRI afin de préciser les éléments de doctrine sur l'évaluation socio-économique des TGIR.

Les grandes infrastructures situées (partiellement, dans le cas du CERN) sur le territoire français et essentiellement financées par les contributions d'autres États ont un impact financier net positif pour la France. Ainsi, il ressort des données transmises par le CNRS que la France ne contribue que pour 15 % au financement du CERN, qui dépense en France près de la moitié de son budget (de 1,2 Md€), d'où un gain net annuel d'environ 0,5 Md€. Dans le cas d'ESRF et d'ILL, sur des dépenses totales d'environ 100 M€ dans chaque cas, environ les trois quarts reviendraient à la France. Celle-ci n'assurant qu'environ un quart du financement, le gain net annuel serait d'environ 50 M€ pour chacune des deux infrastructures. Dans le cas d'ITER, le solde financier net est estimé par le ministère à plus de 3 Md€. On peut toutefois s'interroger sur les conséquences pratiques de ces soldes positifs : si de l'argent est bien injecté dans l'économie française (sous forme d'achats par l'infrastructure, de salaires...), selon la théorie économique usuelle cela ne mesure pas en tant que tel, l'impact sur le PIB structurel. La portée de ces études semble donc devoir être relativisée.

Il serait utile de déterminer dans quelle mesure la participation à la construction de TGIR contribue au développement des principales entreprises concernées⁹⁴ (comme l'OCDE s'est efforcée de le faire dans le cas des électro-aimants du LHC⁹⁵). Une autre piste consisterait à évaluer économétriquement l'impact des infrastructures (vraisemblablement considérées de manière agrégée) sur le PIB structurel de la France, en prenant en compte notamment l'acquisition de savoir-faire par les entreprises qui participent à leur construction ou qui les

⁹⁴ Air Liquide (cryogénie), Alstom (électro-aimants), Thales (cavités radiofréquence, lasers), Atos-Bull (superordinateurs), Safran-Reosc (optique)...

⁹⁵ OCDE, *The Impacts of Large Research Infrastructures on Economic Innovation and on Society: Case Studies at CERN*, 2014. L'OCDE souligne en particulier que les compétences acquises par Alstom dans le domaine de la supraconductivité ont jusqu'à présent été peu utilisées, du fait de l'absence à ce stade de développement des secteurs industriels potentiellement concernés (transports, fusion nucléaire civile...).

utilisent. La notion de transfert de technologies mesurée par la création de *spin off* pourrait aussi en faire partie.

Une étude portant sur l'intérêt pour la France de faire en sorte que les nouvelles infrastructures se construisent sur son territoire plutôt que dans d'autres États européens serait particulièrement utile. En effet, les principales infrastructures européennes (ESS, FAIR, E-XFEL...) se créent actuellement hors de France. Certes, les chercheurs et entreprises français peuvent utiliser d'autres infrastructures européennes et les marchés technologiques sont accessibles aux entreprises françaises dans tous les États membres⁹⁶. Les grandes infrastructures peuvent également susciter autour d'elles des « écosystèmes » de chercheurs et d'entreprises.

Au-delà de l'évaluation scientifique, dont les instruments sont déjà en partie en place, et de l'évaluation socio-économique qui reste en chantier, un large champ d'étude n'est pas abordé à ce jour : l'évaluation des externalités positives qualitatives liées au développement de la connaissance permis par une TGIR. L'impact en termes d'intérêt général des travaux que permettent les TGIR devrait pourtant être pris en considération, en termes notamment d'aide à la décision voire d'orientation de politiques publiques et *in fine* de réduction des risques (naturels, médicaux, par exemple) et d'amélioration des conditions de vie.

4 - Des indicateurs qui restent à élaborer

Les TGIR disposent d'indicateurs leur permettant de suivre leur activité mais ils ne sont pas harmonisés et les données qui en sont issues sont à usage interne.

Bien que les indicateurs doivent être maniés avec prudence, en particulier dans le cas d'infrastructures très novatrices⁹⁷, leur utilisation est une nécessité reconnue au niveau européen. La décision du Conseil (2013/743/UE) sur la mise en œuvre du programme H2020⁹⁸ prévoit que dans le cas des infrastructures de recherche, l'indicateur clé est le « nombre de chercheurs qui ont accès aux infrastructures de recherche grâce au soutien de l'Union ». En 2013, un groupe de travail d'ESFRI (*Expert Group on indicators for the evaluation of the pan-European relevance of research infrastructures*) a élaboré quatre indicateurs (d'appartenance européenne, d'usage, de réseau, d'excellence) afin de déterminer si une infrastructure doit être inscrite sur sa feuille de route. Dans ses conclusions sur l'accélération de la circulation des connaissances dans l'UE, adoptées le 29 mai 2018, le Conseil de l'UE « *INVITE les États membres et la Commission, dans le cadre d'ESFRI, à mettre au point une approche commune du suivi de leurs performances et INVITE les infrastructures de recherche paneuropéennes, sur une base volontaire, à intégrer celle-ci à leur gouvernance et à examiner les possibilités d'appuyer le processus en recourant à des indicateurs clés de performance* ».

⁹⁶ Dans le cas d'ELI, en cours de construction dans trois pays d'Europe centrale, deux des trois lasers 10 PW doivent être fournis par Thales.

⁹⁷ Comme le souligne le CNRS, certains types d'infrastructures n'ont donné lieu qu'à peu de publications ou de brevets jusqu'à ce que leur perfectionnement permette une découverte majeure (comme dans le cas des interféromètres laser, qui ont conduit à la découverte des ondes gravitationnelles).

⁹⁸ 2013/743/UE.

Les indicateurs les plus disponibles, mais non harmonisés entre TGIR, sont ceux relatifs à la bibliométrie (cf. annexe 7). Les données bibliographiques et bibliométriques compilées par la Cour suggèrent que le CERN réalise environ 40 % des publications de la totalité des TGIR et OI. Toutefois, à la connaissance de la Cour, il n'existe pas de document synthétisant, ou *a fortiori* analysant, cet état de fait.

La disponibilité des principaux équipements est quant à elle généralement supérieure à 90 % hors arrêts pour maintenance, ceux-ci étant de l'ordre de 50 % pour la plupart des infrastructures (physique nucléaire et des hautes énergies, sciences de la matière...) et négligeables dans le cas de GENCI (qui exploite des équipements informatiques). Mesurée sur la totalité d'une année, la disponibilité de GANIL est plus critique : il ne fonctionne que quatre mois par an. Cette anomalie découlerait du manque de personnel qui, attaché à exploiter et maintenir les équipements actuels, a du mal à mener à bien le projet SPIRAL2.

Les principaux indicateurs envisageables

Les indicateurs bibliométriques sont les plus fondamentaux, si l'on considère qu'une fonction importante d'une infrastructure est de permettre des publications et de diffuser la connaissance. Il serait utile de les étendre aux autres grandes infrastructures de recherche européennes et mondiales, afin de mieux appréhender la place des TGIR dans le monde⁹⁹.

La disponibilité des équipements est l'un des principaux indicateurs techniques. La valeur de l'indicateur peut fortement varier selon que les phases de maintenance sont ou non incluses dans la période concernée.

Il existe déjà des objectifs et indicateurs de performance – assortis de sous-indicateurs – du programme 172 figurant aux PAP et RAP de ce programme¹⁰⁰.

On pourrait également mettre en place des indicateurs fondés sur tout ou partie des critères proposés par la DRGI dans la « feuille de route » de 2008 pour définir les infrastructures de recherche. Cette « feuille de route » retenait les critères suivants :

- critères scientifiques : réponse aux besoins de la communauté scientifique ; qualité de la production scientifique attendue ;
- critères pédagogiques : ouverture aux doctorants et post-doctorants ; ouverture à l'enseignement supérieur ;

⁹⁹ Selon la base de données INSPIRE-HEP, les publications de GANIL seraient au nombre d'environ 150 par an, contre un millier pour GSI allemand (ainsi que pour MSU aux États-Unis et RIKEN au Japon). ESRF et DESY (Allemagne) indiquent quant à elles respectivement 2 000 et 3 000 publications par an environ. On pourrait préciser ces données, en particulier pour raisonner sur des périmètres constants. En 2006 GANIL a réalisé une étude suggérant que dans le cas de la physique nucléaire *stricto sensu*, il publiait davantage que MSU.

¹⁰⁰ 1. Produire des connaissances scientifiques au meilleur niveau international (Production scientifique des opérateurs du programme) ; 2. Promouvoir le transfert et l'innovation (2.1 Part des redevances sur titre de propriété intellectuelle dans les ressources des opérateurs, 2.2 Part des contrats de recherche passés avec des entreprises dans les ressources des opérateurs, 2.3 Mesures de l'impact du crédit d'impôt recherche) ; 3. Participer activement à la construction de l'Europe de la recherche (3.1 Taux de présence des opérateurs du programme dans les projets financés par le PCRD de l'Union européenne, 3.2 Part du PCRD attribuée à des équipes françaises, 3.3 Part des articles co-publiés avec un pays membre de l'Union européenne (UE 28) dans les articles des opérateurs du programme) ; 4. Développer le rayonnement international de la recherche française.

- critères de transfert de connaissances : importance des partenariats industriels attendus ; importance des dépôts de brevets attendus ;
- critères économiques : importance des créations d'emplois et d'entreprises attendues ; importance des retombées sur les entreprises locales.

La DGRI indique à la Cour que, « à ce stade, des objectifs ou indicateurs permettant de mesurer et d'objectiver la performance des TGIR n'ont pas été mis en place de manière formalisée. (...) Cela étant, la formalisation d'indicateurs de performance est une perspective qui pourrait être soumise à la réflexion d'un prochain CD-TGIR ». Par ailleurs, dans le cas de la bibliométrie, la DGRI a prévu « d'extrapoler l'exercice réalisé pour GENCI à 20 TGIR de la feuille de route (à l'exception de GENCI et RENATER) et quatre OI : CEPMMT, CERN, EMBL et ESO », les résultats de cette étude¹⁰¹ étant attendus pour juin 2019.

Il manque aujourd'hui une liste d'indicateurs, harmonisés entre TGIR, robustes, explicites et en nombre raisonnable. Une fois mise en place et exploitée, cette liste devrait être, au moins pour les principaux indicateurs, rendue publique.

À cet égard, compte tenu des sommes en jeu et de la nature en grande partie politique de la décision de création d'une grande infrastructure de recherche, l'amélioration de l'information du Parlement constitue un enjeu de premier plan. La publication annuelle des indicateurs, par exemple dans le « rapport annuel sur les politiques nationales de recherche et de formations supérieures », permettrait au Parlement, et plus généralement aux citoyens, de disposer des données de base sur la performance des TGIR et OI.

Par ailleurs, certains documents pourraient être systématiquement transmis aux commissions des finances et aux commissions en charge de la recherche, ainsi qu'à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Cela pourrait concerner, notamment, les avis du HC-TGIR ainsi que les évaluations socio-économiques et contre-expertises réalisées dans le cadre de l'obligation d'évaluation socio-économique préalable des projets d'investissements civils financés par l'État et ses établissements publics.

La Cour prend acte des engagements du ministère en matière de développement de l'évaluation socio-économique, tout en constatant que ceux-ci restent pour l'essentiel à concrétiser.

¹⁰¹ Qui doit être réalisée par Daniel Egret, astronome émérite, chargé de mission référencement et évaluation pour Paris Sciences et Lettres, et Renaud Fabre, professeur des Universités en Sciences économiques à l'Université de Paris VIII, déjà auteurs ensemble de l'étude d'impact de GENCI de 2016.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La Cour observe que le MESRI a fait de nombreux efforts pour améliorer le suivi et le pilotage stratégique des IR/TGIR. Les marges de progrès sont encore nombreuses, qu'il s'agisse de l'organisation interne du ministère, de la participation du MEAE ou des instruments de gouvernance interne aux grandes infrastructures. Les évaluations ne manquent pas mais sont marquées par l'hétérogénéité de leurs objectifs et leur niveau. Le défaut de standard évaluatif, qui laisse libre court à des auto-évaluations aux critères non homogènes est aggravée par la quasi-absence à ce jour de toute évaluation socio-économique.

Les instances collégiales créées afin de réunir autour de la même table l'ensemble des acteurs ont été des initiatives bienvenues. Elles doivent aujourd'hui s'élargir dans leur composition et dans leur périmètre de mission, pour garantir une cohérence et une visibilité des stratégies et moyens mis en œuvre pour l'ensemble des grandes infrastructures de recherche.

Sur la base d'une nouvelle définition substantielle des infrastructures de recherche telle que recommandée au chapitre I, et compte tenu du fait que les différentes instances de pilotage ou d'évaluation traitent également des TGIR et des IR, il conviendrait d'élargir la composition du CD-TGIR au SGPI, au ministère en charge de la défense, de la direction du budget et, en tant que de besoin, du SGAE, du ministère de l'Économie (DGE), du MTES et de l'ANR. Cette recomposition interministérielle permettrait de renforcer des synergies parfois déjà existantes entre les infrastructures de ces secteurs et, à terme, de les intégrer dans une feuille de route unifiée. Une représentation structurée des pôles de recherche universitaire devrait être activement recherchée.

La Cour formule les recommandations suivantes :

- 4. doter la gouvernance de chaque grande infrastructure française d'une lettre de mission du MESRI à chaque président, d'un plan stratégique évolutif, d'une revue biennale des performances, de quelques indicateurs robustes et harmonisés [MESRI, tous opérateurs de TGIR] ;*
 - 5. dans le cadre du Comité d'orientation du numérique (CODORNUM), étudier l'élargissement du périmètre d'intervention de GENCI en matière d'infrastructures de calcul de la recherche ; mieux articuler les niveaux national et régionaux de l'organisation numérique du calcul et du stockage en France [MESRI, CEA, CNRS, CPU] ;*
 - 6. élargir la composition du CD-TGIR et l'ériger en instance interministérielle de préparation des décisions pour l'ensemble des infrastructures de recherche [MESRI, SGPI, MEAE].*
-

Chapitre III

Des contraintes financières à mieux appréhender

Contrairement aux recommandations que la Cour avait formulées dans son rapport de 2009 sur *Le pilotage des très grandes infrastructures de recherche*¹⁰², le ministère n'est pas en mesure de produire une carte financière précise des TGIR, alors même qu'elle en priorise le financement dans sa nomenclature des catégories d'IR. L'enquête ministérielle de 2016 sur les coûts complets, en dépit de ses apports indéniables, ne saurait en tenir lieu¹⁰³. La réforme de la gouvernance des TGIR lancée en 2012 comportait un important volet d'organisation budgétaire et financière qui n'a pas encore produit tous ses fruits. Une certaine dispersion des présentations budgétaires est toujours constatée, ce qui nuit à la lisibilité et au pilotage. Les importantes difficultés méthodologiques existantes sont présentées en annexe n° 11.

Ce chapitre a pour objet d'identifier les financements des TGIR par type de ressources et de quantifier le volume de crédits alloué à ce dispositif (I). L'analyse de l'approche en coûts complets en montrera les acquis et les limites (II). Enfin la capacité du dispositif à s'installer dans le moyen terme sera examinée (III). Les crédits budgétaires sont présentés en crédits de paiement (CP) et en euros courants. Ils couvrent la période 2012-2017, étant entendu que le changement de système d'information au sein des opérateurs ainsi que l'absence de système d'information unifié entre eux permettant une remontée d'informations fiables au ministère constituent une limite importante à l'effort d'agrégation des données.

I - Des ressources allouées aux TGIR provenant pour l'essentiel des États

Le total des ressources allouées aux TGIR¹⁰⁴ sur la période 2012-2017 est de 4,2 Md€, en augmentation de 36,2 % en six ans (+ 226,3 M sur un périmètre qui est passé de 18 à 22 TGIR sur la période). En 2017, ce total est de 851,4 M€. Parmi les différents types de ressources, deux

¹⁰² La Cour recommandait d'une part « d'assortir la feuille de route d'une cartographie budgétaire précise et d'une programmation budgétaire pluriannuelle de type « plan à moyen terme » et d'autre part de « déterminer précisément le périmètre financier des TGIR ».

¹⁰³ L'étude sur les coûts complets porte sur l'ensemble des infrastructures inscrites sur la feuille de route et a été communiquée à la Cour. Sur la base des éléments transmis la Cour a tenté d'isoler les chiffres concernant les seules TGIR. Toutefois, elle n'est pas parvenue aux mêmes résultats que ceux issus des travaux de la DGRI, en raison des retraitements ultérieurs opérés par les services du MESRI et non communiqués à la Cour.

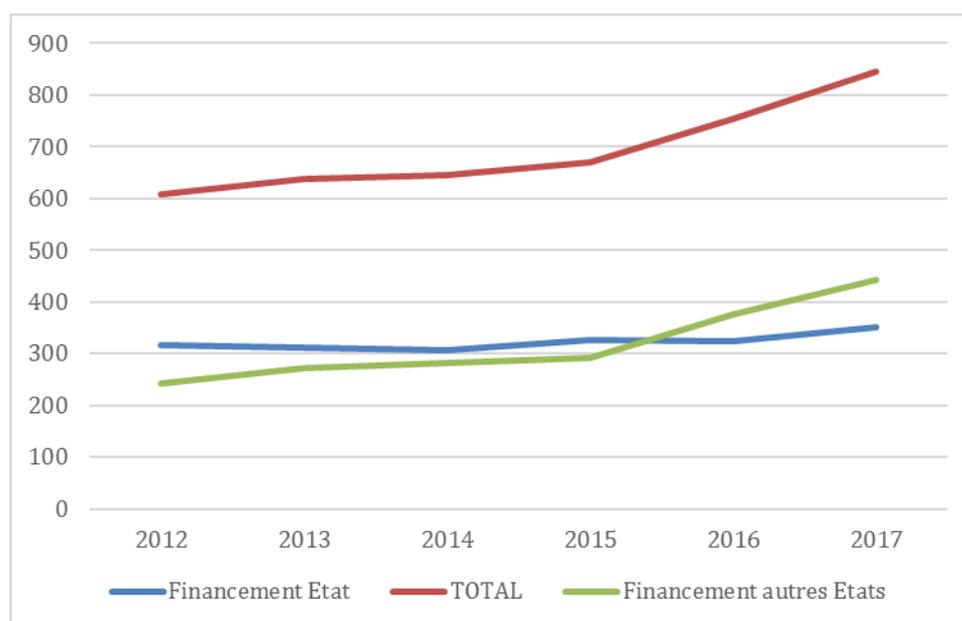
¹⁰⁴ Compte tenu de l'impossibilité de réconcilier les données fournies par le ministère avec celles communiquées par les opérateurs ou par les TGIR ayant la personnalité morale, le choix a été fait d'utiliser l'ensemble des données en spécifiant à chaque fois la source de celles-ci.

seulement sont significatives : les crédits budgétaires de l'État français et ceux des autres États européens ou étrangers. Ils représentent près de 94 % des ressources.

La part de l'État en crédits budgétaires est, sur la même période de 1,98 Md€, soit 47 % du total, mais son augmentation suit une pente plus faible (7,58 %, soit + 25 M€). En 2017, la part prise par le budget de l'État dans le financement des TGIR est de 41,8 %, contre 53 % en 2012.

Le différentiel entre la croissance des ressources et l'augmentation plus mesurée de la contribution de l'État français s'explique par la forte hausse de la contribution des États étrangers, de plus de 80 % sur la période du fait de l'élargissement du périmètre des TGIR. Elle représente, en 2017, 52 % des ressources contre 38,8 % en 2012. Le MESRI estime que pour les TGIR où la France est engagée depuis longtemps, les autres pays sont restés sur la même trajectoire que la France. En revanche, la participation à de nouvelles TGIR internationales s'est traduite par une contribution française très minoritaire (ex. : 3,14% dans XFEL) par rapport à l'ensemble des autres contributeurs. Cette hausse s'expliquerait également par l'entrée de nouveaux pays dans une TGIR (comme la Russie qui a intégré ESRF).

Graphique n° 1 : évolution des crédits des TGIR 2012-2017 (en M€)



Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes.

Le tableau suivant présente les ressources reçues par les TGIR de 2012 à 2017 et leur évolution. Il convient de noter que, sur la période concernée, le périmètre des TGIR s'est élargi, passant de 18 à 22, avec l'entrée de la France dans de nouvelles TGIR, principalement internationales. Pour ces dernières, la contribution de la France se fait par un apport en nature pendant la phase de construction.

Tableau n° 6 : les ressources reçues par les TGIR de 2012 à 2017

<i>en M€</i>	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total 2012-2017
<i>Financement État</i>	331,438	317,324	312,74	331,353	329,184	356,555	1 978,594
<i>Fonds européens</i>	3,889	5,902	7,624	6,228	11,707	13,455	48,805
<i>Financement collectivités locales</i>	11,736	17,987	14,588	9,915	4,837	6,145	65,208
<i>Financement autres États</i>	242,456	271,472	282,649	293	375,715	443,393	1 908,685
<i>Ressources propres</i>	29,62	31,353	33,712	33,633	31,951	31,734	192,075
<i>Autres ressources</i>	5,908	0,076	0,09	2,026	6,676	0,149	14,925
TOTAL GENERAL	625,047	644,114	651,403	676,155	760,07	851,431	4 208,292

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes. Financement État = crédits budgétaires et PIA.

Le volume de crédits sera successivement présenté par contributeur et par type de structure. Les fiches détaillées par TGIR figurent dans le cahier complémentaire.

A - Les ressources publiques françaises

Les ressources publiques françaises allouées aux TGIR sont essentiellement constituées des crédits budgétaires, auxquelles s'ajoutent les apports du PIA et les financements des collectivités territoriales.

Les crédits issus du budget général représentent 94,9 % des financements par l'État des TGIR en 2017 contre 90,1 % en 2012. Leur montant est de 338,637 M€ soit 39,7 % des ressources totales. Il est impossible de rapprocher les données établies par la présente enquête de celles présentées dans l'enquête sur les coûts complets de la DGRI qui fait apparaître, pour l'année 2016, un montant de 1,338 Md€ de dépenses mais sur un périmètre différent.

Ces crédits sont en augmentation de 13,3 % sur la période 2012-2017. Ce volume représente, en 2017, 1,2 % des crédits de la mission interministérielle *Recherche et enseignement supérieur* (MIREs) (1,97 % avec les OI), proportion assez stable sur la période sous revue.

Le tableau ci-après détaille les crédits apportés par l'État sur la période 2012-2017¹⁰⁵.

Tableau n° 7 : les crédits apportés par l'État sur la période 2012-2017

<i>en M€</i>	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total 2012-2017
<i>Financement Budget général</i>	298,718	312,448	308,172	313,775	322,752	338,637	1894,502
<i>dont P 172</i>	235,251	247,293	243,626	292,456	298,728	313,774	1631,128
<i>dont P 187</i>	42,541	43,257	43,717	0	0	0	129,515
<i>dont P 150</i>	12,641	10,886	10,834	11,022	11,034	11,657	68,074
<i>dont P 214</i>	0,712	0,711	0,691	1,085	2,734	3,593	9,526
<i>dont P 231</i>	0	0	0	0,143	0	0	0,143
<i>dont P 190</i>	2,27	1,95	2,375	2,043	1,954	1,913	12,505
<i>dont P 212</i>	3,76	4,41	3,84	4,8	3,817	3,75	24,377
<i>dont P 129</i>	0,45	3,268	1,874	2,072	1,857	1,918	11,439
<i>dont CPER</i>	1,093	0,673	1,215	0,154	2,628	2,032	7,795

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

Le programme 172 – *Recherches scientifiques et technologiques pluridisciplinaires* de la MIREs est le principal programme du budget général à porter les crédits consacrés aux TGIR. Au sein de ce programme, l'action 13 « Grandes infrastructures de recherche », créée par la LFI 2008, est en théorie destinée à accueillir l'ensemble de ces dotations (cf. annexe n° 9). Or entre 2008 et 2017 le périmètre de l'action 13 a connu une double variation ; d'une part la sortie à partir de 2013 des crédits IR et projets qui jusqu'à cette date n'étaient pas différenciés dans la nomenclature de la feuille de route 2008, d'autre part l'intégration des crédits TGIR versés à l'Ifremer pour FOF et Euro-Argo inscrits jusqu'en 2014 sur l'action 7 du programme 187 – *Recherche dans le domaine de la gestion des milieux et ressources* de la MIREs (aujourd'hui supprimé).

En 2017, l'action 13 du programme 172 (313,7 M€), représente 92,6 % des financement des TGIR sur le budget général et 88 % des financement de l'État aux TGIR.

En augmentation de 12,95 % par rapport à 2012 à périmètre constant¹⁰⁶, elle progresse cependant moins vite que les ressources totales des TGIR. Les crédits qu'elle consacre aux TGIR représentent 5,08 % (8,40 % si on prend également en compte les OI) de ceux du programme 172, en légère augmentation depuis 2012.

¹⁰⁵ Les documents budgétaires nécessitent, en effet, un long travail de reconstruction compte tenu des données actuellement présentées de façon éclatée et disparate. Ces documents ne présentent d'ailleurs que les crédits issus du budget général de l'État hors crédits issus des programmes d'investissement d'avenir. Les méthodes de comptabilisation des données budgétaires sont également différentes selon les programmes.

¹⁰⁶ Pour faciliter les comparaisons, le programme 187 est agrégé au programme 172 pour les exercices 2012 à 2014 dans la mesure où les crédits imputés sur ce programme et versés à l'Ifremer pour les TGIR FOF et Euro-Argo ont été basculés au PLF 2015 sur le programme 172.

Circuit de versement des crédits

Les crédits afférents sont versés aux opérateurs nationaux porteurs de TGIR par le biais d'une subvention pour charge de service public (SCSP) en titre 3. Il est à noter que les dépenses supportées par les opérateurs au titre des TGIR peuvent être supérieures à la part de leur SCSP imputée sur l'action 13 du programme 172. Les opérateurs peuvent, en effet, y consacrer une part de leurs ressources propres (CEA). Dans d'autres cas (CNRS), des compléments peuvent être apportés par un institut sous sa propre enveloppe budgétaire pour contribuer, au-delà de l'action 13, au financement d'une TGIR jugée particulièrement stratégique. De surcroît, les données mentionnées dans les RAP concernant, s'agissant de l'action 13 du programme 172, les dépenses exécutées par les opérateurs qui peuvent ainsi être supérieures aux montants reçus ou intégrer les montants en provenance d'autres programmes de la MIRE (150 ou 190). À l'inverse, les montants effectivement versés peuvent être inférieurs à ceux prévus en PLF du fait de la non levée de la réserve de précaution.

D'après la présentation en RAP des crédits de l'action 13, la répartition par nature de dépense est la suivante¹⁰⁷.

Tableau n° 8 : répartition des crédits par nature de dépenses

<i>en %</i>	2017	2016	2015	2014	2013	2012
<i>Dépenses de personnel</i>	18,45 %	19,20 %	19,68 %	15,60 %	14,19 %	25,12 %
<i>Dépenses de fonctionnement</i>	64,62 %	61,99 %	61,47 %	64,36 %	54,66 %	48,80 %
<i>Dépenses d'investissement</i>	16,93 %	18,82 %	19,72 %	20,04 %	31,14 %	26,08 %

Source : Cour des comptes d'après les RAP

Le programme 150 est le second contributeur de la MIRE au financement des TGIR, avec plus de 10 M€ par an. Cette ressource correspond à l'effort des universités en direction des TGIR. Les crédits sont versés soit directement par le MESRI (70,11 % en 2017), soit par les établissements d'enseignement supérieur (29,89 % en 2017). Les montants versés par les universités sont stables depuis 2013 variant entre 3,27 M€ et 3,8 M€ par an.

Les autres programmes (214, 231 et 129) contribuent exclusivement à la TGIR RENATER. Il est à noter que le programme 190 supporte une infime partie des crédits versés par le CEA à la TGIR ILL. Il s'agit du financement des taxes additionnelles à la taxe sur les installations nucléaires de base de l'ILL. Il n'en est fait mention ni aux PAP ni aux RAP.

Des TGIR dites « internationales » (ESRF, ILL, ESS, CTA et IRAM), dont les enjeux financiers sont importants, ont été sorties depuis 2015 du périmètre de l'action 13 du programme 172 pour rejoindre les actions 17 et 18 du même programme. On peut s'interroger sur les raisons qui ont conduit à ne pas intégrer dans cette catégorie, notamment, E-XFEL, EGO Virgo, Concordia, FAIR.

Les deux tableaux suivants récapitulent les ressources des TGIRI et des TGIR nationales.

¹⁰⁷ Les données contenues dans le RAP correspondent aux remontées effectuées par les organismes à la DAF ministérielle. La consolidation de l'exécuté pour les TGIR n'est connue bien souvent qu'au moment des CA des organismes du mois de mai-juin.

Tableau n° 9 : les ressources des TGIRI

en M€	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total 2012-2017
Financement État	67,051	63,374	62,158	72,93	80,903	94,67	441,086
dont P 172	31,867	31,541	32,811	39,033	45,654	61,297	242,203
dont P 190	2,27	1,95	2,375	2,043	1,954	1,913	12,505
dont CPER	0	0	0	0	1,54	1,118	2,658
dont PIA	6,5	1,684	0	1	0	0	9,184
Fonds européens	0,687	1,052	0,7			0,304	2,743
Financement collectivités locales	3,883	6,43	0,88		2,216	2,838	16,247
Financement autres États	137,903	135,98	139,91	151,238	150,534	156,867	872,432
Ressources propres	12,088	15,023	12,077	13,456	11,439	12,608	76,691
Autres ressources	5,405	0	0	0	0	0	5,405
TOTAL GENERAL	227,017	221,859	215,725	237,624	245,092	267,287	1 414,604

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

Les contributions de l'État continuent à être versées, sous forme de crédits fléchés, aux organismes de recherche (CNRS et CEA) porteurs des TGIR internationales par le biais d'une subvention en titre 6. Les appels à contributions ayant un caractère obligatoire, le ministère a estimé préférable que le montant des crédits disponibles couvre les contributions exigibles. Ainsi, a-t-il été décidé de sanctuariser les crédits dédiés aux TGIR internationales (titre 6) et de ne pas leur faire supporter de mise en réserve. Néanmoins une partie correspondant au coût d'accès des opérateurs à certains instruments des TGIR ESRF et ILL (*collaborating research groups*, CRG ILL et ESRF) a été maintenue sur l'action 13. Le ministère a indiqué à la Cour que la répartition sur plusieurs actions permet d'obtenir un meilleur pilotage des crédits puisque ce procédé permet notamment de distinguer les dépenses internationales (titre 6) de la SCSP des opérateurs (titre 3) et donc d'amortir les effets d'éventuelles régulations budgétaires.

Cet éclatement sur plusieurs actions pour certaines TGIR internationales pose un réel problème de lisibilité et de cohérence, d'autant qu'il est tout à fait possible de distinguer, dès lors que cela est prévu au PAP, au sein d'une même action les crédits versés en titre 3 (SCSP) de ceux versés en titre 6 (dépenses d'intervention) et d'appliquer des taux différents de mise en réserve. De surcroît, pour les TGIR internationales, comme pour les OI, les obligations juridiques de la France relèvent de l'application des conventions et accords constitutifs, complétés par les protocoles ou règlements financiers approuvés par les États parties prenantes.

Tableau n° 10 : les ressources des TGIR hors TGIRI

<i>en M€</i>	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total 2012-2017
<i>Financement État</i>	264,387	253,95	250,582	258,423	248,281	261,885	1 537,508
<i>dont P 172</i>	203,384	215,752	210,815	253,423	253,074	252,477	1 388,925
<i>dont P 150</i>	12,641	10,886	10,834	11,022	11,034	11,657	68,074
<i>dont P 187</i>	42,541	43,257	43,717	0	0	0	129,515
<i>dont P 214</i>	0,712	0,711	0,691	1,085	2,734	3,593	9,526
<i>dont P 231</i>	0	0	0	0,143	0	0	0,143
<i>dont P 129</i>	0,45	3,268	1,874	2,072	1,857	1,918	11,439
<i>dont P 212</i>	3,76	4,41	3,84	4,8	3,817	3,75	24,377
<i>dont CPER</i>	1,093	0,673	1,215	0,154	1,088	0,914	5,137
<i>dont PIA</i>	1,62	3,193	4,522	16,476	5,932	17,818	49,561
<i>Fonds européens</i>	3,202	4,85	6,924	6,228	11,707	13,151	46,062
<i>Financement collectivités locales</i>	7,853	11,557	13,708	9,915	2,621	3,307	48,961
<i>Financement autres États</i>	104,553	135,492	142,739	141,762	225,181	286,526	1 036,253
<i>Ressources propres</i>	17,532	16,33	21,635	20,177	20,512	19,126	115,384
<i>Autres ressources</i>	0,503	0,076	0,09	2,026	6,676	0,149	9,520
TOTAL GENERAL	398,03	422,255	435,678	438,531	514,978	584,144	2 793,688

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

Les TGIR internationales, au sens de la nomenclature budgétaire, consomment 31,3 % des ressources en 2017, les TGIR nationales 68,7 %. Sur la période 2012-2017, la progression des ressources globales des TGIRI (+ 17,7 %) est nettement inférieure à celles des TGIR nationales (+ 46,76 %). Cette situation s'explique, selon le MESRI, par un double effet : l'entrée de la France dans de nouvelles TGIR internationales reste contenue durant les phases de construction, et les TGIR existantes voient leur budget augmenter. Les tableaux font également ressortir la forte dispersion des lignes de ressources et la grande difficulté de consolidation qui en résulte.

En ce qui concerne les organisations internationales la France est membre de neuf d'entre elles, seules sept relèvent du programme 172, et quatre seulement sont inscrites sur la feuille de route des infrastructures de recherche. L'Agence spatiale européenne (ESA) et l'Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques (EUMETSAT) relèvent quant à elles du programme 193.

Les contributions de la France depuis 2012 aux OI inscrites sur la feuille de route de la DGRI sont retracées dans le tableau ci-après.

Tableau n° 11 : les contributions de la France aux OI de la feuille de route (P 172)

<i>En M€ AE = CP</i>	RAP 2017	PAP 2017	RAP 2016	PAP 2016	RAP 2015	PAP 2015	RAP 2014	PAP 2014	RAP 2013	PAP 2013	RAP 2012	PAP 2012
<i>CERN</i>	149,544	96,324	148,148	96,323	161,03	96,323	138,4	118,324	136,406	118,324	139,065	118,323
<i>EMBL</i>	16,379	15,738	17,561	15,738	16,965	15,738	16,566	15,738	15,727	15,738	15,326	15,738
<i>CEPMMT</i>	7,619	7,312	8,185	7,311	8,79	7,311	7,789	7,312	7,652	7,312	7,427	7,312
<i>ESO</i>	31,733	19,484	29,332	19,484	28,67	19,484	25,673	22,484	22,484	22,484	22,45	22,484
TOTAL	205,275	138,858	203,226	138,856	215,455	138,856	188,428	163,858	182,269	163,858	184,268	163,857

Source : Cour des comptes d'après les PAP et RAP

Le domaine de la physique nucléaire et des hautes énergies, avec le CERN, concentre plus des deux tiers des crédits versés au titre des contributions de la France au OI (74,84 % en 2013 et 72,85 % en 2017). Viennent ensuite le domaine de l'astronomie et de l'astrophysique avec ESO (15,46 % en 2017), celui de la biologie-santé avec EMBL (7,98 % en 2017) et celui du système Terre et de l'environnement avec CEPMMT (3,71 % en 2017). Sur la période 2013-2017, on constate une relative stabilité de la part du CERN, une augmentation des subventions versées à l'ESO et une baisse en proportion (mais une légère augmentation en volume) des crédits alloués à EMBL et à CEPMMT.

En droit budgétaire ces contributions s'analysent comme des dépenses inéluctables au sens de l'article 95 du décret sur la gestion budgétaire et comptable publique (GBCP). Elles ont été régulièrement sous-budgétées. Cette situation a conduit le contrôleur budgétaire et comptable ministériel (CBCM) à émettre un avis défavorable sur le document prévisionnel de gestion du programme 172 en 2017 et à refuser de viser, en 2015 et 2016, les arrêtés attributifs de subvention des OI. La Cour avait, en 2018, recommandé qu'il soit mis « fin aux impasses récurrentes constatées pour les dépenses de contributions aux organisations scientifiques internationales ». Les progrès enregistrés, initiés au PLF 2018 et confirmés au PLF 2019, ont permis de lever cette réserve puisque l'exécution 2018 s'est révélée inférieure à la budgétisation.

Il faut également noter que le suivi des flux de dotations entre actions budgétaires se heurte parfois à des difficultés de lecture.

Pour mémoire, si le périmètre des TGIR comprenait non seulement les OI mais également les projets majeurs exclus de la feuille de route (ITER, JRH, ASTRID), le montant des ressources budgétaires serait de plus de 1,5 Md€ par an.

Tableau n° 12 : les crédits budgétaires alloués aux OI, TGIR et assimilés

<i>Programme Budgétaire</i>	<i>Type de structure</i>	2016	2017
172	OI feuille de route	203,226	205,275
	TGIR feuille de route	298,728	313,774
	Autres OI (CIRC et HFSPO)	2,994	3,077
	ITER	89,870	105,120
	Total programme 172	594,818	627,246
190	TGIR feuille de route (ILL)	1,954	1,913
	Programme ASTRID	25,300	26,200
	RJH	93,200	67,600
	Total programme 190	120,454	95,713
193	OI (ESA, EUMETSAT)	817,280	912,110
<i>Autres programmes MIRES (150, 214, 231)</i>	TGIR feuille de route	13,768	15,250
<i>Autres programmes du budget général (129, 212)</i>	TGIR feuille de route	5,674	5,668
TOTAL GENERAL		1 551,994	1 655,987

Source: RAP et réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

Lors de la contradiction, le CEA a contesté les chiffres, issus des RAP, pour le RJH et le programme Astrid.

Pour le programme ASTRID, le CEA a expliqué que les données présentées correspondent au segment relatif à la « 4^{ème} Génération »¹⁰⁸, soit 25,3 M€ et 26,2 M€ pour 2016 et 2017 et que les données d'exécution budgétaire du programme 190 sont présentées en coûts complets dans le RAP, et incluent donc des coûts de support financés *via* la subvention du P190¹⁰⁹. Le CEA retient les chiffres de 26,2 M€ pour 2016 et 25,8 M€ pour 2017, qui sont ceux régulièrement présentés au comité de suivi du programme.

Pour le RJH, le CEA précise que les données mentionnées dans les RAP correspondent au programme d'accompagnement au démarrage du RJH et non à la seule construction du réacteur, et qu'elles sont en coûts complets. Les données présentées régulièrement au comité de suivi du RJH, soit 40,0 M€ pour 2016 et 36,8 M€ pour 2017 sont celles retenues par le CEA pour le projet de construction du RJH

La Cour fait donc le constat d'une nécessaire fiabilisation des données contenues dans les documents budgétaires destinés à la représentation nationale.

Les crédits versés au titre du PIA¹¹⁰ représentent 5 % des ressources des TGIR en provenance de l'État. Sur la période 2012-2017, le pourcentage a varié, selon les années et les rythmes de décaissement, comme le montre le tableau ci-après.

¹⁰⁸ ASTRID est un programme de recherche transversal à plusieurs segments d'activité, qui inclut comme segment principal la « 4^{ème} Génération ».

¹⁰⁹ Ainsi, ces données ne sont pas comparables à celles du programme 172 qui ne sont pas présentées en coûts complets, ce dernier disposant d'une action spécifique à ce titre.

¹¹⁰ Ne sont pas pris en compte les crédits versés au titre du secteur biologie-santé qui ne concernent que des IR.

Tableau n° 13 : part du financement PIA dans le financement des TGIR

<i>Part du financement PIA dans le financement des TGIR</i>	2012	2013	2014	2015	2016	2017
	2,45 %	1,54 %	1,45 %	5,27 %	1,79 %	5 %

Source : Cour des comptes

En volume, les montants restent modestes, allant de 4,5 M€ seuil bas (2014) à 17,818 M€ seuil haut (2017). La Cour a pu établir que, entre 2011 et 2017, 7 TGIR ont été coordonnateurs ou partenaires de 18 projets PIA (15 Equipex et 3 Labex) dont le volume financier global était de 40,5 M€ Il est à noter que le financement d'autres projets par le PIA est avéré sans qu'il soit possible de tracer avec précision les flux financiers¹¹¹. D'autre part, des relations fructueuses entre TGIR et projets du PIA peuvent donner lieu à des échanges de service sans flux financier. Les flux financiers du PIA au profit des IR de la feuille de route sont beaucoup plus significatifs que ceux qui ont été consacrés aux TGIR (cf. annexe n° 10 et annexe sectorielle biologie santé).

Les collectivités territoriales représentaient 1,93 % du financement des TGIR en 2012. Cette source de financement a diminué en volume et en proportion sur la période 2012-2017, pour atteindre 0,73 % en 2017. Cette faible contribution est inégalement répartie et peut représenter un apport important pour certains projets. C'est le cas de SOLEIL, au début des années 2000, pour laquelle 11 régions ont manifesté leur intérêt pour l'accueillir¹¹² et ont contribué au financement de l'investissement initial à hauteur de 76 %. De même, l'apport au projet SPIRAL2 représente 35 % de son financement.

B - Les ressources publiques étrangères et européennes

1 - Les ressources en provenance des États

La part du financement des autres États dans les ressources globales des TGIR est particulièrement importante, en augmentation continue de 2012 (38,8 %) à 2017 (52%). En volume, cette contribution s'est accrue de 200 M€ soit plus 82,88 %. Elle explique la croissance des ressources globales perçues par les TGIR. Ce financement est quasi-exclusivement le fait d'États européens, membres partenaires des TGIR¹¹³.

¹¹¹ Le SGPI, le MESRI et l'ANR ont été interrogés pour connaître les montants reçus par les TGIR au titre des PIA 1 et 2. Il s'est révélé difficile d'identifier dans les systèmes d'information les sommes versées au titre des PIA, pour deux raisons principales : absence de personnalité morale propre de certaines TGIR et traçabilité des seuls conventionnements entre l'ANR et l'établissement coordinateur.

¹¹² L'Alsace, l'Aquitaine, la Basse-Normandie, la Champagne-Ardenne, le Centre, l'Île-de-France, le Limousin, la Lorraine, le Midi-Pyrénées, le Nord-Pas-de-Calais, et PACA.

¹¹³ Seules deux TGIR bénéficient de financement extra-européens : la TGIR CFHT bénéficie ainsi de financement d'États extra-européens (Canada, États-Unis), qui sont actionnaires de la société portant la TGIR et la TGIR E-XFEL bénéficie d'un financement de la Russie, actionnaire à 6 %.

L'augmentation constatée en 2016 et 2017 résulte de l'entrée de la TGIR E-XFEL (sciences de la matière) dans la feuille de route¹¹⁴. De ce fait, la part des sciences de la matière dans l'apport des États étrangers est passée de 54,19 % en 2012 à 64,09 % en 2017. La part du domaine astronomie et astrophysique est en très légère augmentation passant de 3,93 % en 2012 à 4,42 % en 2017. Les domaines de la physique nucléaire et du système Terre ont vu, dans le même temps, leur part diminuer (passant de 2,4 % en 2012 à 1,03 % pour le premier et de 39,48 % en 2012 à 30,46 % pour le second).

Le tableau ci-après détaille par domaine et TGIR les apports des États étrangers sur la période 2012-2017.

Tableau n° 14 : les apports des autres États

<i>en M€</i>		TGIR bénéficiant d'apports d'États étrangers						
<i>Domaine</i>	TGIR	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total 2012-2017
<i>Sciences de la matière</i>	ESRF	67,418	67,616	70,097	75,71	74,439	79,046	434,326
	ILL	63,971	61	58,876	59,312	60,687	61,605	365,451
	E-XFEL	0	0	0	0	82,837	143,498	226,335
<i>Astronomie et astrophysique</i>	IRAM	6,514	7,364	11,137	16,216	15,408	16,216	72,855
	CFHT	3,018	3,107	3,08	3,631	3,631	3,4	19,867
<i>Physique nucléaire</i>	EGO-VIRGO	5,3	4,6	4,765	4,57	4,57	4,57	28,375
	GANIL	0,525	0	0	0	0	0,015	0,540
<i>Système Terre</i>	IODP/ECOR D	95,71	127,785	134,894	133,561	134,143	135,043	761,136
Total		242,456	271,472	282,849	293,00	375,715	443,393	1 908,885

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

Remarque importante : Ce tableau ne prend pas en compte les contributions des différents États aux deux TGIR en construction (ESS et FAIR), et E-XFEL jusqu'en 2015¹¹⁵.

2 - Les ressources sur financements européens

Les financements européens représentent une part infime des ressources des TGIR, passant de 0,62 % en 2012 à 1,58 % en 2017. Au sein de ceux-ci des mouvements inverses se sont produits : alors qu'en 2012 les contrats sur appel à projets représentaient 93,7 % des financements européens, ils ne représentent plus en 2017 que 46,05 %. À l'inverse, le FEDER, qui en début de période ne finançait pas les TGIR en représente 37,51 % en 2017. La part du PCRD est aujourd'hui de 9,02 %. Elle a connu en 2014 et 2015 un pic (respectivement 21,85 % et 31,09 %) corrélé avec la diminution de la part financée par les contrats européens (71,5 % et 51,64 %). Comme énoncé au chapitre I, ce sont surtout les IR qui tirent bénéfice des fonds de l'UE.

¹¹⁴ Il convient de nuancer en soulignant que l'augmentation liée à la fin de la construction d'E-XFEL et à sa mise en exploitation conduit à un changement dans la présentation budgétaire. Pendant la phase de construction, chaque État apporte des contributions en nature qui ne sont pas comptabilisés dans les budgets de la TGIR. Les dépenses correspondantes sont réalisées par les organismes partenaires et enregistrées dans leur propre comptabilité.

¹¹⁵ Dans la mesure où ces contributions (apports en nature ou en numéraire de manière ponctuelle) ne sont pas identifiables dans le budget des infrastructures (ils ne transitent pas pour la plupart dans leurs comptes). Les chiffres fournis tant par le ministère que par les opérateurs indiquent un montant de 1 599,19 M€ de contribution des États membres pour ESS et 1 323,2 M€ pour FAIR. Il ne tient pas compte non plus des contributions des autres États au LHC.

C - Les ressources propres

Les ressources propres passent de 4,74 % en 2012 à 3,73 % des ressources totales en 2017 après un pic à 5,18 % en 2014. Elles ont cependant augmenté de 8,75 % en volume, passant de 29,62 M€ à 31,73 M€.

Ces ressources propres recouvrent des réalités différentes : facturation de services, ressources tirées de la valorisation, produits financiers, contrats de partenariat, etc. La facturation a augmenté tant en volume (passant de 12,977 M€ en 2012 à 20,709 M€ en 2017) qu'en proportion (43,81 % en 2012 et 65,26 % en 2017)¹¹⁶. Dans la même période les produits financiers ont diminué passant de 3,64 % des ressources propres en 2012 à 1,20 % en 2017. Les ressources tirées de la valorisation sont quasi insignifiantes.

II - L'évaluation des coûts complets : une initiative intéressante à consolider

Le Conseil supérieur de la recherche et de la technologie (CSRT) soulignait, dès 2011, la nécessité d'une évaluation des coûts de revient¹¹⁷. Il précisait que l'évaluation des coûts d'usage des TGIR à partir des coûts complets est le point de départ de toute tentative de tarification.

En 2016¹¹⁸, la DGRI constatait que les opérateurs des infrastructures de recherche connaissaient mal leurs coûts ou « hésitaient à les communiquer ». L'accès à l'information était mal assuré pour les tutelles. Le coût total de ces infrastructures était estimé par la DGRI entre 500 M€ et 1 500 M€¹¹⁹. Le CD-TGIR a décidé, en 2016, d'entamer un travail sur les coûts complets en vue de l'actualisation de la feuille de route 2018¹²⁰. La DGRI a suivi cette décision, sans distinguer toutefois TGIR et IR.

¹¹⁶ La question de la tarification est présentée de manière détaillée dans l'annexe n° 13.

¹¹⁷ Recommandation sur les très grandes infrastructures de recherche adoptée à l'unanimité lors de sa séance plénière du 12 septembre 2011 : « *l'évaluation des coûts de revient d'une TGIR doit être faite en coûts complets pour la phase préparatoire, la construction, l'exploitation pour la durée de vie de l'instrument, la déconstruction ou la réorientation de son usage. La pratique des comptes d'exploitation doit se généraliser. La valorisation de la main d'œuvre doit être faite par des méthodes comparables d'un organisme à l'autre. La valorisation des composantes existantes (apport en nature) doit se faire par une méthodologie nationale* ».

¹¹⁸ En 2012 sont présentés les résultats d'une étude initiée par la DGME (prédécesseur administratif du SGMAP) en lien avec la DGRI et réalisée par un cabinet privé (MAZARD), qui étudie quatre IR (ESRF, Celphedia, Euro Argo, Flotte océanographique française) pour identifier les points de rationalisation de gestion nécessaires et mettre en place un modèle de gouvernance financière. Sont notamment identifiés alors la nécessité de comptabilité analytique et le besoin de détermination de coût global (ou complet) pour chaque infrastructure.

¹¹⁹ Données DGRI.

¹²⁰ Extrait des décisions du CD-TGIR du 14 juin 2016 « *Le CD-TGIR approuve que, dans le cadre de la mise à jour de la feuille de route nationale 2018, un calcul des coûts complets des infrastructures de recherche soit exigé et soit élaboré selon une méthode commune proposée par le MENESR et concertée avec les directions financières des établissements partenaires des infrastructures* ».

Extrait des décisions du CD-TGIR du 14 juin 2016

« Le CD-TGIR approuve que, dans le cadre de la mise à jour de la feuille de route nationale 2018, un calcul des coûts complets des infrastructures de recherche soit exigé et soit élaboré selon une méthode commune proposée par le MENESR et concertée avec les directions financières des établissements partenaires des infrastructures ».

A - Un calcul des coûts complets aux objectifs multiples

L'objectif de cette enquête, qui concernait l'ensemble des infrastructures inscrites sur la feuille de route, était double : d'une part tenter de valoriser les coûts non visibles (coûts du passé¹²¹, coûts du futur¹²², contributions en nature), d'autre part identifier la nature des coûts (dépenses de fonctionnement, frais de personnel, part des investissements) permettant de comparer les infrastructures les unes par rapport aux autres sur la base de cette structure de coûts.

Il s'agissait de mieux connaître leur fonctionnement et d'être en capacité, à terme, de bâtir une politique tarifaire homogène sur des données objectives et une méthodologie validée par les tutelles des grands établissements de recherche ; de consolider leur modèle économique, gage de crédibilité au plan international et, *a minima*, d'informer les chercheurs utilisateurs du coût réel de leurs travaux.

Pour le ministère et les opérateurs, il importait au premier chef de permettre un pilotage plus efficace par une meilleure connaissance des coûts des infrastructures, mais également de la part relative et absolue des financements publics dans les budgets des infrastructures et leur évolution. À terme, le ministère souhaite en faire un outil de parangonnage au niveau européen pour mesurer l'effort consacré aux infrastructures de recherche et vérifier ou infirmer une éventuelle tendance au décrochage par rapport aux pays d'Europe du Nord. La méthodologie de l'enquête est présentée en annexe n° 11.

B - Un premier exercice prometteur, des faiblesses méthodologiques

Un premier exercice a été mené sur l'exercice 2016, avec un taux de retour de 100 % sur les 95 infrastructures du périmètre DGRI interrogées. Le ministère l'a considéré comme une réussite tout en reconnaissant les biais de l'enquête¹²³.

La DGRI estime que la marge d'erreur du coût complet calculé pour 2016 est de l'ordre de 10 %, le coût réel se situant plutôt au-dessus du montant global.

¹²¹ Investissements initiaux ou de jeunesse, acquisition de gros équipements qui ne sont pas visibles dans le budget ou la comptabilité de l'infrastructure.

¹²² Les opérations de fin de vie comme le démantèlement n'apparaissent pas dans le budget ou la comptabilité de l'infrastructure.

¹²³ Le rapport de l'OCDE de décembre 2017 *Strengthening the effectiveness and sustainability of international research infrastructures* donne l'enquête DGRI en exemple (« *Full cost assessment: the French example* »).

Un certain nombre de fragilités peuvent être relevées à l'issue de ce premier exercice dont la mise en œuvre par un très grand nombre d'acteurs explique, en partie, les difficultés :

- la validation des remontées par les organismes et les nombreuses itérations entre la DGRI, les directions financières des opérateurs et les structures n'ont eu qu'un effet limité, du fait notamment de la stabilisation tardive (mai 2017) de la méthodologie, qui n'a pu gommer toutes les incohérences internes¹²⁴, ni lever les points d'incertitude concernant essentiellement des postes de dépenses non identifiés ou insuffisamment pris en compte, comme par exemple les coûts de construction ou les dépenses de démantèlement ;
- le périmètre exclut le spatial (1 Md€)¹²⁵ et ITER (100 M€) ce qui limite certaines analyses : la Cour prend note du souhait du ministère d'engager un travail similaire sur le domaine spatial ;
- le total des ressources tracées est de 919 M€ (hors OI). Le total des coûts tracés est de 1071 M€ (1 365 M€ avec les OI). L'écart de 152 M€ (hors OI) entre le total des coûts et le total des ressources atteste que le renseignement des données est imparfait¹²⁶ ;
- certains points de la méthodologie font l'objet d'une appropriation encore insuffisante, en particulier la prise en compte des coûts et des contributions sur les bâtiments¹²⁷ et le caractère récurrents ou exceptionnels de certaines ressources, apprécié différemment entre les infrastructures, empêchant une comparaison optimale. La Cour relève la proposition de méthode générique simplifiée d'évaluation réaliste des coûts indirects présentée dans le document de synthèse de la DGRI qui requerra néanmoins un travail spécifique avec l'ensemble des opérateurs pour qu'elle soit appropriée et validée¹²⁸. Elle conteste néanmoins l'analyse du ministère selon laquelle l'appréciation par les infrastructures de la distinction entre ressources récurrentes et ressources exceptionnelles ne souffre d'aucune ambiguïté ;

¹²⁴ Certaines infrastructures ont pensé qu'il était attendu que le total des coûts complets soit égal à celui des ressources. Or ces deux notions sont largement décorrélatées puisque, dans la méthodologie retenue, les ressources n'ont pas vocation à être égales au coût complet calculé qui intègre également des investissements passés et des dépenses futures.

¹²⁵ Dans son étude de restitution, la DGRI propose d'ailleurs d'intégrer le spatial pour l'avenir.

¹²⁶ Au-delà de la difficulté de compréhension de la méthode, les échanges postérieurs à la remontée des livrables ont permis d'établir que certaines infrastructures ou organismes, par crainte d'afficher des ressources trop différentes de leur coût complet, ont introduit des correctifs pour éviter un affichage dont ils ont pensé, sans fondement, qu'il pourrait leur être défavorable.

¹²⁷ L'analyse des livrables fournis suggère également que la valorisation des locaux mis à disposition des infrastructures a été minorée ou n'a tout simplement pas été prise en compte dans certains cas. Ainsi, les infrastructures qui ont retenu le forfait de 25% pour le calcul de leurs coûts indirects n'ont pas toujours compris qu'il était néanmoins attendu d'essayer de faire apparaître les ressources liées aux locaux. La contribution des hébergeurs a donc été sous-estimée, pour certaines IR au moins. Beaucoup d'IR étaient totalement ou partiellement hébergées par des universités, cela permet d'estimer que le poids de ces dernières dans le soutien aux IR n'est pas encore évalué à sa juste hauteur.

Au-delà de cette situation particulière, on constate de manière générale que les universités ont été insuffisamment associées au projet : peu d'entre elles apparaissent sur les onglets de validation des livrables. Les infrastructures ont fait part de leur difficulté à identifier la personne qui pourrait valider leurs coûts dans certaines universités.

¹²⁸ L'enjeu principal de cette rubrique est de faire émerger des contributions des Universités, parfois ignorées d'elles-mêmes, aux infrastructures de recherche souvent considérées comme une affaire d'organismes de recherche.

- la méthodologie a tendance à surestimer ou sous-estimer certains postes de dépenses : le recours au forfait sur les coûts indirects par 59 % des IR a eu pour effet une surestimation du coût complet (le forfait s'avère souvent plus élevé que les coûts réels) ; le coût réel du démantèlement est mal connu et a tendance à être sous-estimé, voire ignoré (certaines IR le chiffrent encore à 0) ;
- enfin, la méthodologie définie par le ministère a mis en évidence des points délicats parmi lesquels :
 - o la prise en compte, dans le calcul du coût complet de ces infrastructures, de l'amortissement économique d'équipements anciens ignoré des mécanismes budgétaires¹²⁹ ;
 - o la constitution d'un quasi « compte de résultat » de chaque infrastructure avec la mise en regard de dépenses parfois forfaitisées et de recettes dont l'origine peut être conventionnelle.

Il convient donc d'être prudent dans l'interprétation des données restituées.

Aux faiblesses méthodologiques évoquées *supra* s'ajoute, pour fragiliser la fiabilité des résultats, la faible qualité des renseignements fournis. Ainsi, des écarts très substantiels ont été constatés entre les données issues des infrastructures et celles fournies par leurs opérateurs de rattachement (dans le cadre de la présente enquête ou même des données du Rapport Annuel de Performance). Il est également apparu difficile, voire impossible, pour plusieurs infrastructures de recherche à dimension internationale d'isoler la seule contribution française (en emplois et en crédits) dans les ressources ; les dépenses sont quant à elles présentées globalement limitant d'autant la portée de l'exercice. La détermination des coûts complets aurait dû faire l'objet d'un travail concerté entre les infrastructures, les directions financières des organismes et le département des grandes infrastructures de la DGRI. Plusieurs acteurs ont souligné que le pilotage s'était essentiellement fait au niveau du ministère ce qui a pu nuire au rôle de supervision des organismes.

Au total, en terme de bilan, l'approche des coûts complets a permis de disposer d'une première vision intégrée et d'une volumétrie globale des infrastructures de recherche. Ces travaux qui visent à disposer d'une cartographie financière et en ressources humaines aussi complète que possible et à nourrir la comptabilité analytique des opérateurs porteurs des TGIR permettent de mieux évaluer les besoins liés à la jouvence et au démantèlement. Ils illustrent également le fait que les organismes actuels de financement de la recherche, tels que l'ANR pour le PIA et la Commission européenne, ne permettent pas de garantir la pérennisation de toutes les infrastructures nationales, principalement dans le domaine biologie-santé (en particulier sur la base des facturations qui ne peuvent être alignées sur les coûts complets). D'un

¹²⁹ L'amortissement est la constatation comptable et annuelle de la perte de valeur des actifs du fait de l'usure, du temps ou de l'obsolescence. L'amortissement comptable permet d'étaler le coût d'une immobilisation sur sa durée d'utilisation. Les actifs d'une structure sont inscrits au bilan pour leur valeur nette comptable, soit leur valeur d'achat lors de leur entrée au bilan. Néanmoins, cette valeur ne correspond plus à la réalité les années suivantes, puisque les actifs perdent de leur valeur au fil du temps. L'amortissement permet ainsi de constater, tous les ans, dans la comptabilité, la perte de valeur de la valeur comptable. L'amortissement enregistré chaque année vient en déduction du bénéfice imposable. Cette technique permet de répartir le coût des immobilisations sur leur rythme d'utilisation. L'objectif consiste à assurer le renouvellement des immobilisations, c'est pourquoi il représente une charge.

point de vue plus pratique, si l'exercice a été relativement aisé pour les TGIR, il a été plus difficile pour les IR du fait des nombreux opérateurs qui ne disposent pas toujours des mêmes outils ou des mêmes conventions dans le traitement des données.

Le ministère a souscrit pour une bonne part à ce constat, mais a décidé de reconduire l'exercice sur les données de l'exercice 2017¹³⁰, en vue de corriger certaines imprécisions inhérentes au premier exercice et d'obtenir les coûts complets des nouvelles infrastructures inscrites sur la feuille de route 2018. Selon les alliances et les organismes, ce nouvel exercice pourrait venir trop tôt, les résultats de la première enquête n'étant pas pleinement analysés. Les résultats de l'enquête 2016 sont présentés à l'annexe n° 12.

III - Un soutien financier à moyen terme qui pose question

Si la feuille de route française des infrastructures de recherche ne comporte aucun caractère financier contraignant, le ministère admet que l'enveloppe budgétaire globale qui lui est consacrée ne peut pas évoluer au seul gré des besoins¹³¹.

Le financement annuel et pluriannuel des TGIR et OI sur le programme 172 ne peut se faire sans prendre en compte l'équilibre global du programme. Il doit notamment financer ITER¹³² (environ 140 à 150 M€ par an) avec un risque réel de dérapage, sur le calendrier¹³³ comme sur le coût de terminaison du projet¹³⁴, qui nécessiterait un ajustement de la contribution française, alors que la MIREC doit aussi financer des programmes (comme ASTRID¹³⁵), des infrastructures (comme le réacteur Jules Horowitz¹³⁶) et les contributions aux OI.

¹³⁰ Le MESRI a prévu d'adresser un message ciblé aux infrastructures pour lesquelles on peut penser qu'un coût de démantèlement aurait dû figurer dans les livrables 2016, afin que cela puisse être corrigé à l'occasion de l'exercice 2017.

¹³¹ À cet égard la feuille de route 2012 soulignait la nécessité de maîtriser les coûts liés aux nouveaux besoins d'infrastructures. Elle concluait que « l'exigence d'instrumentation pour toutes les sciences et les grands défis auxquels la société est confrontée (énergie, santé, environnement notamment) conduisent, en matière d'infrastructures, à innover en permanence, le risque étant de voir croître la demande budgétaire de façon inconsidérée ».

¹³² ITER est depuis 2019 le premier poste budgétaire en termes d'infrastructures de recherche du programme 172 devant le CERN.

¹³³ La mise en service de la machine a été décalée de 2015 (planning 2001) à 2020 (planning 2010) puis à 2025 (Baseline 2015) avec une mise en service en deux phases (2025 premier plasma et 2035 plasma de puissance). Aujourd'hui le projet a atteint un taux de réalisation de 58 %.

¹³⁴ Le coût global d'ITER est passé de 3,5 Md€ en 2001 à 18 Md€ en 2016. Aujourd'hui le coût global d'ITER est estimé à 30 Md€. La France, pays hôte, s'est engagé à financer 20 % de la contribution européenne (18 Md€). Cette participation est en cours de négociation pour les répartitions post 2020. Au total sur la période 2007-2035, la contribution française sera de l'ordre de 3,47 Md€ en valeur courante. Selon le ministère, les retours financiers sont de l'ordre de 3,2 Md€ (fin 2017).

¹³⁵ Il vise à concevoir un démonstrateur de réacteur à neutrons rapides de 4^e génération. Les dépenses sur le programme ASTRID s'élèvent à 738,7 M€ à fin 2017. Elles ont été financées par le PIA à hauteur de 497,4 M€, par la subvention accordée au CEA à hauteur de 184,8 M€ et par des recettes externes à hauteur de 73,7 M€.

¹³⁶ Le coût initialement estimé de ce projet était de 500 M€ pour une réalisation en 2014 avec une participation française (via le CEA) de 50%. Le coût actualisé est aujourd'hui de 1,8 Md€. Les surcoûts de terminaison engendrent un besoin de financement de 480,2 M€ HT à partir de 2019. Compte tenu des décisions intervenues (financement dans le cadre du PIA 3 pour 288 M€) et des redéploiements de crédits, les besoins postérieurs à 2019 s'élèvent à 285 M€.

Depuis 2012, la DGRI a ainsi mis en place une procédure annuelle d'enquêtes pluriannuelles (à 10 ans) pour les TGIR, dont les réponses doivent être partagées entre les organismes¹³⁷ qui en exercent la tutelle, de manière à donner une visibilité à moyen terme des besoins et des évolutions de ces infrastructures (mises à niveau majeures, fermeture d'installations, surcoûts de construction, etc.).

À cet égard, pour les TGIR il semble difficile d'aller au-delà de dix ans, compte tenu des difficultés à prévoir les coûts de fonctionnement (notamment les coûts des fluides) ou les nouvelles technologies développées à cet horizon qui pourraient impacter les coûts d'investissement et de jouvence.

En ce qui concerne les OI, le ministère dispose d'une programmation sur trois ans indicative sans valeur contractuelle. Les instances dirigeantes votent des budgets annuels. Rien n'interdit en théorie que les appels à contribution subissent des variations à la hausse (voire à la baisse). Cependant, on constate généralement que les instances dirigeantes des organisations internationales soumettent des budgets en hausse de 1 à 2 %, ce qui correspond à un taux d'inflation constaté par l'organisme sur ses coûts. La meilleure estimation à moyen/long terme est donc d'actualiser de 1,5 à 2 % par an les contributions 2019. Le ministère a signé une convention avec l'Agence France-Trésor pour couvrir les risques de changes.

Or les données¹³⁸ tirées de cet exercice se révèlent décevantes dans la mesure où les infrastructures et les opérateurs qui en assurent le pilotage intériorisent la contrainte budgétaire en n'inscrivant que la reconduction ou une augmentation très modeste (de l'ordre de 1 %). De surcroît, les besoins liés aux jouvences, investissements de remplacement, démantèlement ne sont inscrits que lorsqu'ils sont arbitrés (coût et calendrier). De plus, la DGRI a reconnu ne faire, jusque-là, qu'un usage très modeste des éléments obtenus et ne pas les partager avec la DAF. Cet exercice sert principalement à construire le PLF de n+1.

Il ne permet donc ni vision prospective ni consécutivement d'arbitrages. De surcroît, en l'absence de consolidation des données le coût des nouveaux projets dans lesquels la France est susceptible de s'engager dans la durée n'est pas confronté à ces besoins posant la question du financement à moyen terme de ce dispositif. Les « risques financiers » qui sont autant d'« épées de Damoclès » peuvent concerner des TGIR existantes pour la plupart nationales (jouvences, investissements de remplacement), mais aussi des TGIR internationales (surcoûts de construction), et pour l'ensemble le démantèlement d'infrastructures, la fin de financements non pérennes (PIA) ou encore des engagements financiers potentiels.

A - Les besoins de financement pour les TGIR existantes ou en construction

Certaines installations très importantes, telles que les navires océanographiques ou des accélérateurs, ont une durée de vie longue mais limitée. Ces instruments doivent donc faire

¹³⁷ À noter que le CEA et le CNRS partagent avec le MESRI une programmation à moyen terme qui fournit des éléments plus fiables que ceux contenus dans les programmations remontées des TGIR

¹³⁸ L'exploitation des données montrent une relative stabilité des besoins entre 2018 et 2028 avec un léger pic en 2020. Il faut cependant insister sur le fait que les rubriques à renseigner (« contributions en nature », « contributions en cash » ne sont pas explicites et pas comprises de la même manière par les TGIR).

l'objet de jouvences ou d'investissements de remplacement afin de conserver leur rang dans la compétition internationale. En outre, certains projets peuvent faire l'objet de surcoûts.

1 - Les jouvences : l'exemple de la TGIR FOF

Dans le cas de FOF, un bateau a une « espérance de vie » de 30 à 40 ans à condition d'effectuer une opération de jouvence à mi-vie dite de grand carénage. Des travaux importants sont effectués sur le navire, coque, machines et équipements scientifiques. En 2015, 10 M€ ont été nécessaires pour le grand carénage du navire hauturier *Marion Dufresne II*, construit en 1995 (financés par emprunt des TAAF, propriétaire du navire, auprès de l'Agence française de développement). S'y ajoutent 13 M€ pour moderniser les appareils scientifiques embarqués (le PIA, Equipex CLIMCOR, a permis de financer le remplacement du sondeur multifaisceaux grand fond et des sondeurs de sédiments). Le coût total a été de 23 M€. En 2017 la même opération pour *La Thalassa*, construit en 1995, a mobilisé de nombreux financements (6,9 M€ de l'État, 0,4 M€ de l'Ifremer, 2,8 M€ de la région Bretagne, 6,7 M€ FEDER régional) pour un total de 16,8 M€. D'autres opérations de jouvence sont à programmer pour les navires de FOF. À savoir très rapidement pour la modernisation ou le gros entretien des navires côtiers Côtes de la Manche, construit en 1997, Théthys et Antéa qui coûteront 3 M€ d'ici 2022, pour le navire hauturier Pourquoi pas ? construit en 2005, que l'on peut estimer à 25 M€ autour de 2022 (dont 45 % seront pris en charge par la Marine Nationale) mais également pour les quatre navires de station Albert Lucas, Neries, Néomysis et Antedon vers 2030. À ce jour, aucun crédit sous plafond LPFP n'est dédié à des mesures de jouvence de la flotte. En 2018, des marges de manœuvre au programme permettront toutefois de financer sur titre 7 les demandes de jouvence. Les demandes formulées au cours du cycle de conférences budgétaires pour le PLF 2019 portent sur le carénage du Victor, la modernisation du Côtes de la Manche et le treuil du grand fond de l'Atalante. En 2019, elles s'élèvent à 2,2 M€ en AE et 1,7 M€ en CP et à 2,9 M€ en CP en 2020.

2 - Investissements de remplacement et remises à niveau majeures

D'autres remises à niveau affectent l'horizon budgétaire. Un *upgrade*¹³⁹ majeur de SOLEIL est programmé entre 2019-2030. L'impact de cette opération a été identifié lors de l'enquête transmise au ministère en mai 2018 et fera l'objet d'une contre-expertise du SGPI comme tout projet dont le coût dépasse 100 M€. Ainsi sur un coût total estimé à 177,2 M€ étalé sur 12 ans, le CNRS devrait contribuer à hauteur de 128 M€ (soit 72 %) et le CEA à hauteur de 49,2 M€ (soit 28 %). La planification actuelle prévoit un démarrage budgétaire en 2022 avec la réalisation d'un prototype dès 2019, dont le financement est prévu sous plafond.

De même, la programmation budgétaire à 10 ans de GANIL-SPIRAL2 ne tient pas compte de la phase 2 de SPIRAL2, suspendue par le Comité de direction de GANIL en 2013 en raison de la priorité donnée à la phase 1 du projet dont la mise en service n'a pas encore été réalisée à ce stade car nécessitant une autorisation de l'Autorité de Sûreté Nucléaire. Le coût du projet, initialement évalué à 81 M€, devra être réévalué compte tenu des normes de sécurité

¹³⁹ Terme conventionnellement utilisé au sein des communautés scientifiques

post-Fukushima. Par ailleurs le sujet est difficilement dissociable de celui de l'ouverture éventuelle de GANIL à d'autres États (cf. annexe n° 5). De nouvelles discussions sont en cours.

Enfin, la phase 2 de l'*upgrade* du LHC (HL-LHC) nécessite pour la France une part de 71,56 M€ répartie entre le CNRS (49,52 M€) et le CEA (22,04 M€) sur la période 2017-2026.

Les remplacements des navires de FOF

Au-delà de 2022 un besoin d'investissement de l'ordre de 200,5 M€ (sachant que les besoins en AE apparaissent 3 à 4 ans avant l'entrée en flotte du navire, car il faut intégrer le temps de lancement des appels d'offre, de construction du navire, de l'ordre de 24 mois pour un navire hauturier, et d'essais de mise en service) pour assurer le remplacement de différents navires et de leurs équipements, actuellement en cours d'instruction entre l'Ifremer et la DGRI, est avéré. Selon l'Ifremer, le besoin se décompose comme suit : 35 M€ en 2023 pour un navire côtier/régional (35/40 m) positionné dans le Pacifique, 7,5 M€ en 2024 pour l'acquisition d'un nouveau ROV (véhicule sous-marin téléguidé) profond (ROV+), 25 M€ en 2022 pour un navire côtier régional (35/40 m) positionné en métropole, 25 M€ en 2026 pour un nouveau navire côtier/régional (35/40 m) positionné en métropole, 100 M€ en 2030 pour un nouveau navire hauturier (+de 85 m) positionné en métropole, 9 M€ en 2032 pour un navire côtier (25 m) positionné en métropole et 9 M€ en 2034 pour un nouveau navire côtier (25 m) positionné en métropole.

Les remplacements du Marion Dufresne II, pour lequel les TAAF semblent envisager une fin de vie au plus tard en 2032, et du Thalassa à horizon 2032/2035 ne font l'objet, à ce stade, d'aucun chiffrage.

Le MESRI a ainsi demandé à Ifremer de présenter, d'ici la fin de l'année 2019, une programmation à moyen terme, révisable tous les deux ans, sur une durée de 5 ans en fonctionnement et de 10 ans en investissement. Elle devra inclure l'ensemble des moyens, navals et sous-marins, de la flotte et tiendra compte des possibilités de mutualisation ou d'échange avec d'autres opérateurs nationaux ou européens.

3 - Surcoûts des opérations dans lesquelles la France est partie prenante

La charge des remises à niveau n'est pas la seule source d'inquiétude. Les surcoûts affectent également le financement à moyen terme dans le cadrage budgétaire de la Mires. C'est le cas du projet ESS d'un coût de construction de 1,8 Md€ dont la phase opérationnelle initiale devait commencer en début 2019. L'installation connaît un retard de 4 ans environ alors que seuls 50 % de la construction sont réalisés et les surcoûts annoncés sont de l'ordre de 20 %¹⁴⁰. Les discussions sur la prise en charge des surcoûts sont très tendues entre les pays hôtes¹⁴¹ et les pays partenaires. Selon les résultats de la négociation, l'enjeu pour la France (engagée à 8 % pour cette phase) porte sur des montants allant de 7,4 M€ à plusieurs dizaines de millions d'euros. La DGRI a pris le parti risqué d'une programmation pluriannuelle sur l'hypothèse la plus favorable (conforme à la position juridique qu'elle soutient).

¹⁴⁰ Alors même que 10 % de « contingencies » avaient pourtant été pris en compte dans le coût initial.

¹⁴¹ Suède et Danemark.

À l'identique, le projet FAIR présente des retards de plusieurs années. La direction de la structure a annoncé un surcoût de construction, en cours d'analyse et d'évaluation. Il n'a pas été inclus, à ce stade, dans la programmation pluriannuelle. Sa prise en charge, 500 M€ selon l'estimation la plus pessimiste, sera inévitablement supportée en partie par les États membres non hôtes et fera l'objet de négociations. L'impact pour la France serait de 13 M€ (soit 2,2 M€ par an) d'ici 2025¹⁴².

4 - Les financements du PIA 3 suffiront-ils ?

Le PIA 3 dispose d'une action « Équipements structurants pour la recherche » dotée de 350 M€ (200 M€ de subventions, 150 M€ de dotations décennales) dont la vocation principale est la contribution au financement d'infrastructures de recherche à travers un soutien sous forme de dotations consommables. Il doit permettre d'identifier et de soutenir des équipements d'envergure nationale les plus nécessaires et les plus structurants pour les communautés scientifiques, et qui contribuent à un leadership français dans le domaine de la recherche en prenant mieux en compte la question de leur amortissement et, par conséquent, de leur jouvence. Plus précisément, le PIA 3 soutiendra prioritairement des équipements en lien direct avec le numérique *lato sensu* et ses applications

En janvier 2017, la DGRI a saisi les présidents des organismes de recherche et les présidents d'université afin de recueillir, pour le 1^{er} mars 2017, l'expression des besoins de nouveaux investissements d'infrastructures de recherche¹⁴³ en ciblant en priorité ceux des infrastructures de recherche inscrits sur la feuille de route nationale. Les besoins exprimés dans ce cadre s'élevaient à 2,052 Md€ (dont 0,681 M€ pour les TGIR) avec une demande de financement de 1,288 Md€ (dont 0,447 M€ pour les TGIR).

La DGRI, après avis du HC-TGIR et du CD-TGIR, a présenté une liste de projets pour 1,274 Md€ (dont 0,447 M€ pour les TGIR) dont une liste de priorités pour 0,843 Md€ (dont 0,195 M€ au titre des TGIR). L'essentiel de la demande porte donc sur les IR. Les appels à manifestation d'intérêts (AMI) devaient se dérouler dans le courant de l'année 2018 mais ont été reportés au premier semestre 2019. Au moment de l'enquête, des discussions étaient en cours entre le MESRI et le SGI.

B - La fin de vie des TGIR : la question du démantèlement

Le démantèlement, qui apparaît techniquement comme le symétrique de la construction, à savoir une période particulière de la vie d'une installation au cours de laquelle elle génère des coûts sans prestations pour les communautés scientifiques, est un sujet bien identifié pour certaines infrastructures, qui le provisionnent dans leur bilan, avec ou sans constitution d'un actif financier. La question des conditions d'arrêt et des coûts associés doit être posée de manière systématique.

¹⁴² Date prévue par FAIR pour la mise en service de l'infrastructure.

¹⁴³ Même en imaginant que l'intégralité de cet appel à projet bénéficie aux IR, le montant global de cette action, versé sur plusieurs années (entre 5 et 10 ans), ne représenterait qu'un apport complémentaire de l'ordre de quelques pourcents rapportés aux ressources actuellement identifiées des IR de la feuille de route. Cet effort en matière d'investissement bénéficiera à quelques infrastructures priorisées mais ne concerne pas le sujet de la pérennisation des infrastructures principalement financées sur projet jusqu'à aujourd'hui.

L'arrêt peut aussi se traduire par des coûts liés au reclassement ou à la rupture des contrats de travail des personnels. Compte tenu de l'importance des personnels mis à disposition des infrastructures par des établissements publics, une partie importante de cet ajustement devrait se faire par réintégration d'agents dans leur établissement d'origine et ne pas soulever de difficulté majeure, sous réserve d'une anticipation suffisante. Les infrastructures gérées par des sociétés de droit privé, en nombre très limité, pourraient en revanche faire l'objet de mesures de reclassement. Les coûts correspondants sont difficiles à évaluer dans la mesure où les règles comptables ne permettent pas de les provisionner. Ils ne peuvent donc pas être intégrés à cette analyse.

Globalement, il est possible de distinguer en la matière trois types de situation dans le paysage des TGIR nationales et internationales.

1 - TGIR pour lesquelles les coûts de démantèlement ont été évalués et sont documentés (montants de 2016)

SOLEIL et GANIL : le coût de démantèlement est évalué à 36,071 M€ pour SOLEIL et 34,8 M€ pour GANIL. Les deux TGIR constituent une provision pour coûts de démantèlement actualisée chaque année. Le CNRS et le CEA apportent leur garantie au financement du coût de démantèlement (lettre de confort) à hauteur de leur taux de participation dans ces deux sociétés¹⁴⁴.

ORPHEE : le coût de démantèlement est évalué à 58,5 M€. Le financement du démantèlement est assuré par le CEA au travers des crédits inscrits sur l'action 15 du programme 190. Une provision a été constituée par le CEA et est enregistrée dans ses comptes.

ESRF : le coût de démantèlement est évalué à 18,3 M€. Les modalités de financement par les membres ne sont pas encore arrêtées et seront définies lorsqu'un démantèlement sera décidé.

ILL : le coût de démantèlement¹⁴⁵ est évalué à plus de 400 M€ à répartir entre les trois associés¹⁴⁶, ce qui pourrait représenter pour la France un montant de l'ordre de 145,7 M€. ILL constitue une provision pour coûts de démantèlement, laquelle est actualisée chaque année. L'accord intergouvernemental garantit que les trois États sont conjointement responsables du financement du démantèlement futur et du coût du traitement des déchets radioactifs incluant les éléments usés. Annuellement, chaque associé confirme le montant de sa quote-part dans la provision.

2 - TGIR pour lesquelles les coûts de démantèlement sont évalués sans qu'une étude détaillée n'ait été menée ou que l'évaluation, trop ancienne, ait été mise à jour

Les conventions d'établissement des sociétés *European XFEL* et FAIR stipulent que le pays hôte (Allemagne) prend en charge les coûts de démantèlement au-delà du double du budget d'exploitation annuel moyen des cinq dernières années. Il n'est pas précisé qui les prend en charge en deçà mais on peut supposer que ce sont les associés à hauteur de leur pourcentage de

¹⁴⁴ Déduction faite du montant d'une provision de 9 M€ initialement constituée par SOLEIL.

¹⁴⁵ Ce démantèlement pourrait intervenir à début des années 2030.

¹⁴⁶ Allemagne, France, Royaume-Uni.

contribution à ces mêmes frais d'exploitation. En ce qui concerne ces deux structures, il est actuellement difficile de chiffrer le coût que cela représente pour les associés ou membres en général et pour la France en particulier dans la mesure où aucune d'entre elles n'est entrée en phase d'exploitation sur les cinq dernières années.

Pour ESS, les statuts de la société stipulent que les coûts de démantèlement seront partagés entre les membres à hauteur maximum de trois années de budgets d'exploitation moyens annuels des cinq dernières années. Bien qu'ESS soit toujours en phase de construction une première estimation a été faite à 186 M€ (2016).

Dans le cas de CFHT, une évaluation a été menée en 2004 estimant les coûts de démantèlement à environ 6,8 M\$. La société considère que les coûts de démantèlement seront couverts par la cession de ses actifs appréciée à 7 M\$ au moins (siège et équipements). Une demande récurrente d'évaluation plus fine des coûts au travers d'une expertise est formulée par les membres français du comité d'audit au management.

Dans le cas de la station continentale antarctique Concordia, les coûts et la durée des travaux qui seraient nécessaires pour la démanteler ont été estimés à titre théorique. Pour aboutir à une évacuation totale de tous les matériaux qui constituent aujourd'hui la station, il faudrait environ 12 ans de travaux, soit la durée de la construction, et les coûts ont été évalués en 2013 à plus de 25 M€, soit près de 75 % du coût de la construction¹⁴⁷.

3 - TGIR pour lesquelles les coûts de démantèlement ne sont pas évalués ou pas évaluables

EGO-Virgo : aucune évaluation n'a été établie à ce jour. Les statuts du consortium EGO stipulent que les membres définiront les conditions et les coûts de démantèlement des installations lorsque celui-ci interviendra.

IRAM et CTA : les statuts de ces deux installations ne prévoient pas les modalités de financement des coûts de démantèlement et aucune estimation officielle n'a été effectuée à ce jour. Le CNRS a fait part à l'IRAM de la nécessité d'établir une estimation de son coût de démantèlement. CTA est en phase de pré-construction. Le sujet n'est donc pas à l'ordre du jour pour le moment en ce qui concerne cette infrastructure.

ICOS : aucune évaluation n'a été réalisée pour cette infrastructure mais les coûts de démantèlement ne semblent pas significatifs.

RENATER, IODP/ECORD, ProGeDo, Huma-Num : ces structures ne font pas l'objet d'un démantèlement. Il est à noter que l'évaluation des coûts de démantèlement d'une TGIR spécialisée en SHS requiert une méthodologie qui reste à élaborer. Si les coûts de l'infrastructure physique restent marginaux, la sauvegarde des données nécessite d'en assurer l'intelligibilité et l'accès au niveau international à l'aide de services spécifiques, ce qui pour l'instant n'a pas pu être chiffré pour le volume actuel d'environ 2 pétaoctets.

¹⁴⁷ Étude sur la « Nécessité de prendre en compte les coûts de démantèlement des stations dans les évaluations globales d'impacts de l'environnement (EGIE) relatives à leur construction » présentée en 2013 à Bruxelles lors de la réunion des parties consultatives au traité sur l'Antarctique.

C - Les engagements financiers potentiels

Des projets de grandes infrastructures de recherche en gestation sont susceptibles d'affecter fortement l'équilibre du programme 172. Cette sous-partie ne prend pas en compte les besoins identifiés pour la gestion et le stockage des données de la recherche¹⁴⁸ qui ne sont pas chiffrés¹⁴⁹ ou du souhait exprimé par la France de se positionner sur l'achat d'une machine exascale à horizon 2023 dont le coût global (sur 5 ans) est estimé à 500 M€ avec une prise en charge par la Commission européenne à hauteur de 50 %.

1 - Les nouveaux projets d'envergure auxquels la France est susceptible de participer

La feuille de route 2018 des infrastructures de recherche a inscrit deux projets internationaux, SKA et DUNE, pour lesquels l'engagement financier de la France n'a pas encore été décidé, en dépit des avantages qu'y trouvent les milieux scientifiques et industriels.

Le projet SKA¹⁵⁰ est un projet mondial de radioastronomie à basse fréquence inscrit sur la feuille de route ESFRI qui comprendra deux réseaux géants de télescopes localisés dans des zones désertiques d'Afrique australe et d'Australie occidentale. Le début de la construction est prévu en 2021. Si la France devenait membre à part entière de cette OI, sa quote-part pourrait représenter environ 54 M€ sur 7 ans, auxquels s'ajouteraient des coûts de structure et d'exploitation estimés à 1 M€ dès 2021 et qui se stabiliseraient à environ 3 M€ annuels dès 2025. Le HC-TGIR a recommandé dans son avis du 15 février 2018 que SKA soit inscrit sur la feuille de route comme TGIR en projet et que la France participe à l'organisation en charge de la préparation de cette infrastructure (SKAO créée en 2013). Il note en effet une forte mobilisation de la communauté scientifique et un intérêt démontré par de grands industriels français dans les domaines de l'énergie et du calcul à haute performance. Cette inscription permettrait aux équipes françaises de mieux faire valoir leurs solutions techniques et aux industriels de répondre aux appels d'offre émis par SKAO.

Dans la feuille de route 2018 SKA est bien inscrit en projet. SKAO a dix membres : Australie, Canada, Chine, Inde, Italie, Nouvelle Zélande, Afrique du Sud, Suède, Pays-Bas et Royaume-Uni. La France a un statut d'observateur, comme d'autres pays tels les États-Unis, le Japon ou l'Espagne. On peut noter que l'Allemagne (BMBF) s'est retirée du projet à ce stade, mais les Instituts Max Planck se préparent activement à y rentrer.

Le projet DUNE est un programme international d'étude des neutrinos et d'*upgrade* de la source de protons Fermilab. Ce projet est porté par les États-Unis. Le coût de la participation française est estimée par le CEA et le CNRS à 40 M€¹⁵¹ sur 3 à 4 ans à partir de 2021. Le CEA et le CNRS souhaitent que la France participe officiellement au projet DUNE dont l'intérêt scientifique est indéniable, ce qui lui a valu d'être inscrit sur la feuille de route 2018 des IR. Ces organismes suggèrent en effet une participation française à hauteur de 40 M€, ce qui donnera

¹⁴⁸ L'enquête réalisée à l'occasion de la mise à jour 2018 de la feuille de route des infrastructures de recherche a montré que la quantité de données produites à horizon de 5 ans sera globalement multipliée par 5.

¹⁴⁹ Le MESRI estime le montant nécessaire à 15 % de l'investissement.

¹⁵⁰ *Square Kilometre Array* – projet phare de l'astronomie mondiale à horizon des années 2030.

¹⁵¹ Il ne semble pas prévu de participation aux coûts d'opération.

lieu éventuellement à négociation avec le Département de l'Énergie des États-Unis. Le MESRI est, pour sa part, très sceptique sur la nécessité d'un tel apport financier pour que la participation française soit reconnue au bon niveau et demandera que soient examinés très précisément les échanges croisés notamment entre le CERN, qui participe déjà au projet DUNE, et les États-Unis qui représentent la première communauté scientifique utilisatrice du CERN.

ELI (*Extreme Light Infrastructure*) est un projet de lasers de très haute intensité constitués de trois piliers dans des pays d'Europe Centrale¹⁵², dont la construction a été financée à 85 % par les fonds structurels européens. Ce projet a été érigé en Landmark d'ESFRI en 2016 à la suite de son inscription sur la feuille de route européenne en 2006. Les trois pays hôtes, relayés par la Commission, engagent les grands pays scientifiques européens du domaine¹⁵³ à rejoindre ce projet. Le MESRI est à l'initiative d'un dialogue rapproché entre les pays non hôtes pour confronter les points de vue et asseoir une position commune solidement argumentée. La programmation pluriannuelle d'ELI n'est pas incluse à ce stade dans l'enquête budgétaire pluriannuelle de la DGRI qui estime cet engagement ni prioritaire ni pertinent. À ce stade, en effet, pour le MESRI la priorité est d'assurer la soutenabilité financière de l'installation nationale APOLLON avant d'envisager tout engagement dans ELI. Un engagement de manière formelle et définitive dans ELI¹⁵⁴ en tant que membre représenterait une contribution estimée à 5 à 12 M€ par an, avec dès 2021 un besoin de subvention TGIR supplémentaire pour le CEA et le CNRS.

Le projet SONATE est un projet français porté par le CEA qui vise à créer une source compacte de neutrons susceptible de répondre aux besoins nationaux à la suite de l'arrêt de la TGIR Orphée. Le coût est estimé par le MESRI entre 50 et 100 M€ intégralement financés par la France entre 2023 et 2025. La DGRI a accepté d'inclure cette option dans le cadre d'une réflexion française sur l'accès aux neutrons pour la communauté utilisatrice française dans le contexte européen des 15 prochaines années.

Dans le cas du CERN, la suite des projets LHC et HL-LHC fait d'ores et déjà l'objet d'études. Le projet le plus coûteux est le Futur Collisionneur Circulaire (FCC) du CERN : il s'agit d'une étude¹⁵⁵ de conception complète d'un projet¹⁵⁶ qui pourrait succéder au grand collisionneur de hadrons (étude post-LHC) et prévoit à l'horizon 2030-2035 un nouveau tunnel long de 80 à 100 kilomètres. Le FCC viendrait donc remplacer le LHC dont la durée de vie est estimée à une vingtaine d'années, correspondant aux délais de construction du futur équipement, dont le coût serait de l'ordre de 20 à 30 Md€. Le MESRI estime la participation française à 12-15 % de ce montant¹⁵⁷ et la considère comme non supportable. Le CERN dispose également d'un projet de LHC à haute énergie (HE-LHC), qui coûterait autour de 5 Md€, et d'un projet de collisionneur linéaire compact (CLIC), dont le coût serait proche de celui du FCC. Un autre projet est l'ILC (*International Linear Collider*) porté par le Japon est estimé

¹⁵² République tchèque, Roumanie, Hongrie.

¹⁵³ La France, l'Allemagne, le Royaume-Uni et l'Italie.

¹⁵⁴ Un ERIC est en cours de constitution.

¹⁵⁵ Cette étude est ouverte à tous les instituts scientifiques, quelle que soit leur taille ou leur pays d'origine. Actuellement, 70 instituts participent, qui représentent 22 pays.

¹⁵⁶ Projet post LHC de production de Bosons de Higgs et éventuellement de particules au-delà du modèle standard.

¹⁵⁷ Ce qui multiplierait la contribution française par 3 et même 5 pendant la phase de construction (2025-2035).

dans une fourchette allant de 5 à 7 Md€ avec une participation française attendue de l'ordre de 5 % de ce montant à partir de 2024¹⁵⁸.

2 - Le régime de retraite du CERN et de l'ESO

Les charges futures potentielles ne relèvent pas seulement des projets en cours. Il faut aussi tenir compte du régime de retraite du CERN et de l'ESO. Les ressources du Fonds de pension du CERN proviennent des cotisations du CERN et de l'ESO, des cotisations de ses membres, du produit du placement de ses actifs, ainsi que de dons et de legs. Si le contexte macroéconomique a été positif en 2017 (comme le souligne le CERN dans son rapport financier), le niveau de risque reste élevé et des tensions sur les marchés ne seraient pas sans conséquences sur la viabilité du modèle du Fonds. Une crise d'ampleur pourrait conduire au versement de cotisations spéciales par les États membres, en sus de mesures touchant aux taux de cotisations retenus.

D - Un horizon de prévisions financières à fiabiliser

Au total les besoins entre 2020 et 2035 pourraient se situer, selon les hypothèses retenues et les décisions prises, dans un intervalle compris entre plusieurs centaines de millions et plus du milliard d'euros, alors même que les économies résultant de la fermeture de TGIR comme Orphée et ILL ne couvriront pas ces besoins. Les éléments mentionnés ci-dessus font donc peser un risque majeur de capacité financière sur le programme 172.

La Cour a sollicité le ministère¹⁵⁹ afin d'obtenir des scénarii sur la période concernée. La DGRI a fourni une note accompagnée de tableau listant les besoins mais ne proposant pas de scénarii. La DAF, quant à elle, a fourni le tableau suivant pour les OI.

Tableau n° 15 : estimation des contributions françaises aux OI et à ITER

en M€ 2019 AE=CP	PLF 2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CERN	139,607	139,607	139,607	139,607	139,607	139,607	139,607	139,607	139,607	139,607	139,607	139,607
dont LHC (upgrade)	8,94	10,131	9,116	9,035	9,035	9,035	9,035	9,035	9,035	9,035	9,035	9,035
EMBL	16,911	17,100	17,299	17,299	17,299	17,299	17,299	17,299	17,299	17,299	17,299	17,299
CEPMMT	7,437	8,191	8,202	8,202	8,202	8,202	8,202	8,202	8,202	8,202	8,202	8,202
ESO	33,193	33,193	33,193	33,193	33,193	33,193	33,193	33,193	33,193	33,193	33,193	33,193
dont ESO- ALMA	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %	8 %
ITER	152,824	166,55	130,54	143,55	143,55	143,55	143,55	143,55	143,55	143,55	143,55	143,55

Source : DAF - MESRI

¹⁵⁸ Le rapport du Conseil de la Science Japonais rendu en décembre 2018 est très réservé ce qui pourrait conduire à l'abandon du projet par le gouvernement japonais.

¹⁵⁹ À noter que les opérateurs disposent des éléments prospectifs qui permettraient au ministère de faire un recensement exhaustif des besoins et proposer des scénarii.

Le ministère (DAF) a précisé que le montant des contributions n'est pas connu au-delà de 2019 puisqu'il ne dispose que d'une programmation indicative sur trois ans sans valeur contractuelle. Il considère que la meilleure estimation à moyen/long terme est une actualisation de 1,5 à 2 %¹⁶⁰ par an des contributions 2019. Ainsi, le tableau fourni ne prend pas en compte d'autres hypothèses (modification de la parité €/CHF retenue au PLF 2019, problème sur le régime de retraite du CERN, financement éventuel du futur collisionneur circulaire, etc.), ce qui altère sensiblement la portée de l'exercice.

Dans ces conditions, il est nécessaire que le ministère revoie assez profondément ses outils de pilotage et ses processus de décisions¹⁶¹ afin d'élaborer des choix et scénarios stratégiques partagés avec l'ensemble des acteurs et garantissant un financement durable¹⁶².

À cet égard, le ministère doit se doter dans les délais les plus rapprochés d'une programmation physico-financière pluriannuelle¹⁶³ (distinguant notamment les besoins récurrents et les besoins exceptionnels) qui intègre l'ensemble des déterminants de la dépense potentielle et proposer des choix stratégiques en adéquation avec les moyens disponibles.

Un exercice de choix déjà connu du MESRI

Le MESRI avait été conduit à réaliser un tel type d'exercice en 2014 dans le cadre de la préparation du triennal 2015-2017 en construisant 4 scénarii :

- un « tendanciel avec évolutions nécessaires » qui faisait apparaître un besoin de + 126 M€ : expression des besoins pour le strict périmètre des TGIR augmenté des mesures nouvelles nécessaires pour éviter un démantèlement des atouts français en matière de TGIR ;
- un « tendanciel à périmètre constant » qui faisait apparaître un besoin de + 44,5 M€ : expression des besoins dans le périmètre strict des TGIR sans aucune mesure nouvelle ;
- un « tendanciel dégradé » avec périmètre et budget constants : arbitrage au sein du périmètre strict des TGIR avec un objectif plat au niveau de 2014 ;
- un « tendanciel très dégradé » avec un périmètre constant et un budget en diminution de 20 M€ : arbitrage dans le périmètre strict des TGIR avec un objectif de baisse de la subvention totale conduisant à des arbitrages durs.

¹⁶⁰ On constate en effet généralement que les instances dirigeantes des organisations internationales soumettent des budgets en hausse de 1 à 2 %. Ce taux correspond à un taux d'inflation constaté par l'organisme sur ses coûts.

¹⁶¹ À cet égard, le Conseil Supérieur de la Recherche et de la Technologie, recommandait, dans son avis du 12 octobre 2011 sur les très grandes infrastructures de recherche, que « *la feuille de route doit faire apparaître les engagements financiers sur les TGIR existantes et ceux qui ont été décidés par l'État (engagements nationaux et internationaux) de manière pluriannuelle* ».

¹⁶² La fiche MESRI du plan de transformation Action publique 2022 mentionne comme action : « clarifier la gestion des TGIR ».

¹⁶³ La DGRI et les deux principaux opérateurs (CEA, CNRS) ont indiqué vouloir faire évoluer cet exercice en instaurant un dialogue de gestion en 2019 sur la base de l'enquête budgétaire. À noter que tant le CEA que le CNRS disposent d'une programmation à moyen terme qui donne une assez bonne vision des besoins à 10-15 ans.

Cette prévision pluriannuelle devrait en particulier permettre d'apprécier les dérapages de coûts d'ores et déjà anticipés, mais aussi les scénarios financiers associés aux différentes options de jouvence, de mise en extinction des infrastructures, ainsi qu'aux nouveaux projets envisagés. Celle-ci contribuerait ainsi à éclairer utilement la prise de décision interministérielle.

Au plan comptable, le ministère est, en outre, invité à réfléchir à l'inscription, selon les normes en vigueur, en engagement hors bilan des montants nécessaires à la pérennisation des TGIR existantes (jouvences, investissements de remplacement, démantèlements).

Le processus de décision conduisant à l'inscription d'un projet de TGIR sur la feuille de route devrait être revu. À l'instar de ce qui est pratiqué au ministère de la défense pour les équipements militaires, chaque dossier pourrait faire l'objet, lors de l'inscription sur la feuille de route puis lors des révisions de celle-ci, d'une évaluation du « coût global »¹⁶⁴ du projet sur la durée de son « cycle de vie » (démantèlement inclus) depuis la phase précédant la décision et lors des phases ultérieures au travers des mises à jour successives. Cela permettrait de fournir au Parlement, au Gouvernement et aux administrations (DGRI et opérateurs) une appréciation de l'engagement financier global et le cas échéant de comparer plusieurs possibilités de réponses au besoin exprimé par une communauté scientifique. Cet exercice pourrait utilement s'inscrire dans le cadre de la future loi de programmation pour la recherche qui constituerait le cadre général dans lequel doivent s'inscrire les projets.

Enfin au-delà de l'amélioration des outils et des processus de décision, et compte tenu du désajustement prévisible entre les besoins de financement et les ressources budgétaires mobilisables pour les couvrir, la Cour constate que le besoin de financements complémentaires extra budgétaires est devenu indispensable. Elle invite les principaux acteurs concernés (MESRI, opérateurs, TGIR) à développer d'une part les ressources propres des TGIR (aboutissement du chantier sur la tarification, cf. annexe n° 13) ; intensification des partenariats industriels, ouverture de certaines TGIR comme FOF à une clientèle, etc.), d'autre part à augmenter significativement la recherche de financements européens (par le biais d'une plus grande participation aux appels à projets européens et *via* le FEDER).

Enfin l'étude de la mise en œuvre de financements innovants (comme la prise de participation d'industriels ou de l'Union Européenne, ou encore le recours aux ressources prévue pour le fonds pour l'innovation de rupture) doit être poursuivie.

¹⁶⁴ Un coût est une dépense ou une consommation de ressources qui est traduite comptablement par une charge ou une immobilisation.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La forte progression des ressources globales des TGIR, entre 2012 et 2017, malgré une hausse limitée du programme 172 et avec l'intégration de deux TGIR supplémentaires (ESS et CTA), n'a été possible que grâce au financement extrabudgétaire du PIA, aux fonds européens croissants à compter de 2016 et, surtout, à l'augmentation des contributions financières des autres États membres des TGIR. Cet engagement des partenaires étatiques souligne l'importance des TGIR dans leur politique de recherche et consacre la volonté de mutualiser ces infrastructures très onéreuses.

En dépit des efforts qu'il a engagés depuis 2012, notamment avec l'étude sur les coûts complets 2016 qui représente une réelle avancée, le ministère ne dispose toujours pas d'une carte financière précise permettant de déterminer finement le périmètre des TGIR. L'effort d'agrégation des données est rendu malaisé du fait de la diversité des sources de financement mais aussi par une dissémination des crédits de l'État sur plusieurs programmes budgétaires et de la difficulté à réconcilier les données financières issus des différents acteurs. L'absence d'un système d'information unifié entre opérateurs permettant une remontée d'informations fiables au ministère constitue une limite importante à l'effort d'agrégation des données et nuit à l'efficacité du pilotage et du suivi tant du ministère que des deux principaux opérateurs (CEA et CNRS).

La programmation budgétaire pluriannuelle mise en place depuis 2012 est en grande partie inopérante dans la mesure où la plupart des besoins de financement n'y sont inclus que lorsqu'ils sont arbitrés dans leur budget et leur calendrier. Or sur la période 2020-2035, des besoins de financement sont d'ores et déjà identifiés qu'il s'agisse de jouvences, d'investissements de renouvellement, de surcoûts ou de démantèlement sur des TGIR existantes. S'ajoutent à ces besoins avérés les questions relatives à la poursuite d'infrastructures jusqu'à présent largement dépendantes des financements du PIA et au lancement de nouveaux projets.

C'est pourquoi compte tenu des enjeux financiers et de recherche la Cour recommande d'une part de clarifier l'architecture budgétaire en veillant à l'articuler avec les décisions prises en matière de définition et de pilotage des infrastructures de recherche, d'autre part de construire un véritable exercice de projection pluriannuelle dans un objectif de sincérité budgétaire et d'objectivation des choix stratégiques.

Elle estime en outre indispensable, dans un contexte budgétaire fortement contraint et eu égard à la disjonction entre les besoins de financement et les capacités budgétaires, d'explorer, sans délais, les voies et moyens nécessaires pour augmenter les ressources propres des TGIR et la participation française aux appels à projets européens. La Cour recommande également l'étude de nouveaux modèles économiques intégrant des partenariats ou participations extérieures (d'industriels ou de l'Union Européenne par exemple).

Enfin, l'information du Parlement doit être enrichie, sur le plan financier, mais aussi en matière d'évaluation. La Cour préconise de faire figurer dans le « jaune » budgétaire (« rapport sur les politiques nationales de recherche et de formations supérieures ») les principales données financières relatives aux TGIR et d'inclure dans ses critères de performance de la recherche une sous-catégorie relative aux infrastructures ; de transmettre aux commissions des finances et à l'office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques en particulier (OPECST) les avis du HC-TGIR et les contre-expertises du

SGPI relatives à des TGIR ; et de leur remettre lors du dépôt du PLF 2021 puis au moins tous les cinq ans, un rapport proposant des scénarios de politiques à long terme en matière d'infrastructures de recherche, financièrement chiffrés et prenant en compte les enjeux scientifiques, économiques et stratégiques.

En conséquence, la Cour formule les recommandations suivantes :

- 7. [MESRI] : établir dès à présent une programmation pluriannuelle qui intègre l'ensemble des déterminants de la dépense ;*
 - 8. [MESRI, CEA, CNRS] : accélérer et approfondir la réflexion sur de nouveaux modèles économiques intégrant des industriels en amont des projets en tenant compte des orientations européennes ;*
 - 9. [MESRI, MACP (DB)] : fiabiliser les données contenues dans les documents budgétaires, en veillant notamment, pour le RAP 2021, en lien avec les opérateurs, à communiquer des chiffres sincères et actualisés et à harmoniser la méthodologie de comptabilisation de la consommation des crédits au sein des programmes de la MIREs ;*
 - 10. [MESRI, MACP (DB)] : engager, au plus tard dans le PAP 2021, la rationalisation de la présentation budgétaire du programme 172 permettant de regrouper sur une seule action (action 13) les crédits consacrés aux grandes infrastructures de recherche en distinguant les dépenses du titre 3 de celles du titre 6 ;*
 - 11. [MESRI, MACP (DB)] : enrichir l'information du Parlement, en complétant le jaune budgétaire « Rapport sur les politiques nationales de recherche et de formations supérieures », en lui transmettant les avis du HC-TGIR et les contre-expertises du SGPI, et en lui remettant lors du dépôt du PLF 2021, puis au moins tous les cinq ans, un rapport proposant des scénarios chiffrés à long terme.*
-

Liste des abréviations

AIE.....	Aide exceptionnelle à l'investissement
AllEnvi.....	Alliance pour l'environnement
ALLISTENE.....	Alliance pour les sciences et technologies de l'information
ANCRE.....	Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie
ANR.....	Agence Nationale de la Recherche
ATHENA.....	Alliance nationale des Humanités, sciences humaines et sciences
AVIESAN.....	Alliance nationale pour les sciences de la vie et de la terre
BMBF.....	<i>Bundesministerium für Bildung und Forschung</i>
CD-TGIR.....	Comité Directeur des TGIR
CEA.....	Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives
CEPMMT.....	Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme
CERN.....	Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire
CFHT.....	Canada-France-Hawaii Telescope
CINES.....	Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur
CLORA.....	Club des Organismes de Recherche Associés
CNRS.....	Centre National de la Recherche Scientifique
CODORNUM	Comité d'orientation du numérique
CPER.....	Contrat de Plan État-Région
CPU.....	Conférence des Présidents d'Universités
CSRT.....	Conseil Supérieur de la Recherche et de la Technologie
CTA.....	<i>Cherenkov Telescope Array</i>
DAF.....	Direction des Affaires Financières
DARIAH.....	<i>Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanities</i>
DFO.....	Direction de la Flotte Océanographique
DGE.....	Direction Générale des Entreprises
DGRI.....	Direction Générale de la Recherche et de l'Innovation
DUNE.....	<i>Deep Underground Neutrino Experiment</i>
ECORD/	
IODP.....	<i>European Consortium for Ocean Drilling Research/International Ocean Discovery Program</i>
EGO-	
VIRGO.....	<i>European Gravitational Observatory-VIRGO</i>
EARTO.....	<i>European Association of Research and Technology Organisations</i>
EDI.....	<i>European Data Infrastructure</i>
EGI.....	<i>European Grid Infrastructure</i>
EHESS.....	École des Hautes Études en Sciences Sociales
EIRO.....	<i>European Intergovernmental Research Organisation Forum</i>

ELI	<i>Extreme Light Infrastructure</i>
EMB	<i>European Marine Board</i>
EMBL.....	<i>European Molecular Biology Laboratory</i>
EOSC	<i>European Open Science Cloud</i>
EPI.....	<i>European Processor Initiative</i>
ERAC	<i>European Research Area Committee</i>
ERC.....	<i>European Research Council</i>
ERIC.....	<i>European Research Infrastructure Consortium</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
ESFRI.....	<i>European Strategy Forum on Research Infrastructures</i>
ESIF	<i>European Structural and Investment Funds</i>
ESO	<i>European Southern Observatory</i>
ESRF	<i>European Synchrotron Radiation Facility</i>
ESS.....	<i>European Spallation Source</i>
ESS.....	<i>European Social Survey</i>
ETP.....	Equivalent Temps Plein
E-XFEL.....	<i>European X-ray Free Electron laser</i>
FAIR.....	<i>Facility for Antiproton and Ion Research</i>
FEDER	Fonds européen de développement régional
FOF	Flotte Océanographique Française
GANIL	Grand Accélérateur National d'Ions Lourds
GENCI.....	Grand Équipement National de Calcul Intensif
GGP.....	<i>Generation and Gender Program</i>
GmbH	<i>Gesellschaft mit beschränkter Haftung</i>
GSO.....	<i>Group of Senior Officials for Global Research Infrastructure</i>
GTN	Groupes Thématiques Nationaux
HC-TGIR	Haut comité des TGIR
HESS	<i>High Energy Stereoscopic System</i>
HPC.....	<i>High Performance Computing</i>
Huma-Num....	Humanités Numériques
IA	<i>Innovation Action</i>
ICOS.....	<i>Integrated Carbon Observation System</i>
IDRIS	Institut du Développement et des Ressources en Informatique Scientifique
IFMIF	<i>International Fusion Materials Irradiation Facility</i>
Ifremer.....	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER
ILC	<i>International Linear Collider</i>
ILL	Institut Max von Laue – Paul Langevin
ILO	<i>Industrial Liaison Officer</i>
INED	Institut National d'Études Démographiques
INSEE	Institut National de la Statistique et des Études Économiques
IPEV.....	Institut polaire français Paul-Émile Victor
IR.....	Infrastructure de recherche

IRAM	.....	Institut de Radioastronomie Millimétrique
IRD	.....	Institut de Recherche et de Développement
IST	.....	Information Scientifique et Technique
ITER	.....	<i>International Thermonuclear Experimental Reactor</i>
JRC	.....	<i>Joint Research Center</i>
LCPC	.....	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LHC	.....	<i>Large Hadron Collider</i>
LMJ	.....	Laser Mégajoule
LOLF	.....	Loi Organique Relative aux Lois de Finances
LRI	.....	<i>Large Research Infrastructure</i>
MEAE	.....	Ministère de l'Europe et des Affaires Étrangères
MERIL	.....	<i>Mapping of the European Research Infrastructure Landscape</i>
MESRI	.....	Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
MIRES	.....	Mission Interministérielle Recherche et Enseignement Supérieur
MNHN	.....	Muséum National d'Histoire Naturelle
MSH	.....	Maisons des Sciences de l'Homme
NERC	.....	<i>Natural Environment Research Council</i>
NSTC	.....	<i>National Science and Technology Council</i>
OCDE	.....	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
OFEG	.....	<i>Ocean Facilities Exchange Group</i>
OGP	.....	<i>Open Government Partnership</i>
OI ou OSI	.....	Organisation Internationale ou Organisation Scientifique Internationale
ONERA	.....	Office national d'études et de recherches aérospatiales
OPESCT	.....	Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques
PAP	.....	Projet Annuel de Performance
PCN	.....	Points de Contact Nationaux
PCRD	.....	Programme Cadre de Recherche et Développement
PETAL	.....	PETAwatt Aquitaine Laser
PIA	.....	Programme d'Investissements d'Avenir
PIGES	.....	Partenaires Industriels pour les Grands Équipements Scientifiques
PPP	.....	Partenariat public-privé – <i>Public Private Partnership</i>
PRACE	.....	<i>Partnership for Advanced Computing in Europe</i>
ProGeDo	.....	Production et gestion de données
PUD	.....	Plateforme Universitaire de Données
RAP	.....	Rapport Annuel de Performance
RENATER	....	Réseau National de télécommunications pour la Technologie, l'Enseignement et la Recherche
RJH	.....	Réacteur Jules Horowitz
SCSP	.....	Subvention pour Charges de Service Public
SGAE	.....	Secrétariat Général pour les Affaires Européennes
SGPI	.....	Secrétariat Général Pour l'Investissement
SHARE	.....	<i>Survey of Health, Aging and Retirement in Europe</i>
SHON	.....	Service hydrographique et océanographique de la Marine

SHS	Sciences Humaines et Sociales
SILECS	<i>Infrastructure for Large-scale Experimental Computer Science</i>
SKA.....	<i>Square Kilometre Array</i> (radiotélescope géant)
SNIR.....	Stratégie nationale des infrastructures de recherche
SNR.....	Stratégie Nationale de Recherche
SPFCO	Service de la Performance, des Finances et de la Contractualisation avec les Organismes
SSRI	Service de la Stratégie, de la Recherche et de l'Innovation
TAAF	Terres Australes et Antarctiques Françaises
TGE.....	Très Grands Équipements
TGIR	Très grande infrastructure de recherche
TGIRI.....	Très grande infrastructure de recherche internationale
UE	Union Européenne
UMR.....	Unité Mixte de Recherche
USR.....	Unité de Service pour la Recherche

Annexes

Annexe n° 1 : échange de courriers entre le Premier président de la Cour des comptes et le président de la commission des finances du Sénat.....	104
Annexe n° 2 : personnes rencontrées dans le cadre de l’instruction	107
Annexe n° 3 : panorama des 22 TGIR et des 5 OI en 2018 (dont un instrument d’ESO).....	112
Annexe n° 4 : les infrastructures de recherche françaises à caractère européen	116
Annexe n° 5 : les efforts des États étrangers	118
Annexe n° 6 : la gouvernance des différentes TGIR et OI.....	122
Annexe n° 7 : indicateurs utilisables dans le cas des TGIR	126
Annexe n° 8 : l’évaluation socio-économique dans le cas des infrastructures de recherche.....	132
Annexe n° 9 : les difficultés méthodologiques pour consolider les données financières	135
Annexe n° 10 : quelques exemples de projets soutenus par le PIA.....	141
Annexe n° 11 : méthodologie et livrables de l’enquête sur les coûts complets.....	144
Annexe n° 12 : les résultats de l’enquête sur les coûts complets	146
Annexe n° 13 : la question de la tarification	159

Annexe n° 1 : échange de courriers entre le Premier président de la Cour des comptes et le président de la commission des finances du Sénat



Monsieur Didier MIGAUD
Premier président de la
Cour des comptes
13, rue Cambon
75100 PARIS CEDEX 01

Paris, le 1er juin 2018

Réf. : CF_2018_PDT_302

VINCENT ÉBLÉ

PRÉSIDENT
DE LA COMMISSION
DES FINANCES

Monsieur le Premier président,

J'ai l'honneur de vous demander, au nom de la commission des finances du Sénat, la réalisation par la Cour des comptes, en application de l'article 58-2 de la loi organique du 1^{er} août 2001 relative aux lois de finances, d'une enquête portant sur le financement et le pilotage des très grandes infrastructures de recherche.

Cette enquête pourrait être remise au premier semestre 2019.

Comme à l'accoutumée, le choix de ce sujet a fait l'objet d'échanges préalables entre le secrétariat de la commission des finances et le Rapporteur général de la Cour des comptes.

Je vous prie de croire, Monsieur le Premier président, à l'assurance de mes sentiments les meilleurs.

Vincent ÉBLÉ

Cour des comptes



1802272

Le 27 JUIN 2018

Le Premier président

Monsieur le Président,

Par lettre du 1^{er} juin 2018, vous me demandez la réalisation par la Cour des comptes, en application de l'article 58-2 de la loi organique du 1^{er} août 2001 relative aux lois de finances, d'une enquête portant sur le financement et le pilotage des très grandes infrastructures de recherche (TGIR), à remettre au premier semestre 2019.

Je vous informe que la Cour est en mesure de répondre positivement à votre demande.

Cette enquête sera menée par la troisième chambre de la Cour. L'instruction a été confiée à Mme Claude Revel, conseillère maître en service extraordinaire, MM. Philippe Ducluzeau et Clément Lapeyre, rapporteurs extérieurs et Mme Isabelle Cornu, vérificatrice. M. Michel Bouvard assurera la fonction de contre rapporteur.

Une réunion de cadrage a eu lieu le 22 mai dernier entre d'une part, M. le sénateur Jean-François Rapin, rapporteur spécial de votre commission, et d'autre part, M. Philippe Rousselot, président de la section « Enseignement supérieur et recherche » de la troisième chambre, M. Bouvard et Mme Revel. Cet entretien a permis de préciser le champ et le calendrier de l'enquête.

Cette enquête intervient dans le prolongement de deux rapports récents de la Cour, « Le financement public de la recherche, un enjeu national » en juin 2013 et « Les outils du PIA consacrés à la valorisation de la recherche », en mars 2018. La Cour avait également produit en 2009 deux rapports organiques sur des TGIR, GANIL (grand accélérateur national d'ions lourds) et SOLEIL (source optimisée de lumière et d'énergie intermédiaire du Lure), ainsi qu'un rapport de synthèse sur le pilotage et la gestion des grandes infrastructures de recherche par le ministère.

Elle s'inscrit dans une période de changements, avec notamment la parution en mai 2018 de la nouvelle feuille de route TGIR de la direction générale de la recherche et de l'innovation (DGR) et celle prévue en septembre 2018 de l'ESFRI (*European Strategy Forum on Research Infrastructures*, créé en 2002 à la demande du Conseil européen).

Dans les feuilles de route françaises coexistent depuis 2008 quatre catégories d'infrastructures de recherche : les « infrastructures de recherche » (IR) ; les très grandes infrastructures de recherche (TGIR, parmi lesquelles figurent des TGIR internationales) ; les organisations internationales (OI) ; et les projets. Dans la loi de finances pour 2018, l'ensemble des dotations aux opérateurs de recherche consacrées aux TGIR (programme 172 action 13) s'élève à 257,3 M€. En coûts complets, le total des ressources tracées des IR

Monsieur Vincent Éblé

Président de la Commission des finances

SÉNAT

15, Rue de Vaugirard

75006 Paris

est de 919 M€ (hors OI). Le total des coûts tracés est de 1071 M€ (1 365 M€ avec les OI). Deux grands opérateurs, le CNRS et le CEA, gèrent, cogèrent ou sont présents dans les 22 TGIR. Il n'y a pas d'homogénéité totale entre les TGIR françaises ou à participation française figurant sur les feuilles de route nationale et européenne.

En ce qui concerne les TGIR, objet principal du rapport, l'enquête s'efforcera :

- de les recenser précisément et d'identifier l'existence de critères de définition opérants, ainsi que les modalités et circuits de décision précédant l'inclusion d'un projet dans une catégorie ;
- d'en évaluer le coût global et l'origine des ressources (budget [via quels opérateurs et quels chapitres], PIA, Union européenne, collectivités territoriales, ressources propres...); le rapport s'attachera également à identifier la soutenabilité du financement de ces infrastructures dans la durée ;
- d'en apprécier les modalités de gouvernance par la DGRI et par les opérateurs, leur articulation ainsi que la pertinence des différents statuts juridiques ;
- d'analyser les modalités de la représentation française dans les instances européennes en charge ;
- de déterminer l'existence d'une stratégie française globale concernant les TGIR ainsi que de méthodes prospectives destinées à assurer dans le futur les objectifs d'excellence qui président à la définition des TGIR.

Dans ce cadre, une attention particulière sera accordée à l'environnement international et à des références de gestion de ce type d'infrastructures par d'autres États. Par ailleurs, le rapport s'efforcera d'identifier l'existence de réflexions sur l'adaptation des TGIR aux exigences liées à l'excellence numérique de notre pays ainsi que les modes de gestion des données rassemblées et traitées par ces infrastructures. Enfin, quelques TGIR seront plus particulièrement examinées, à savoir GANIL, GENCI (grand équipement national de calcul intensif), Flotte océanographique française (TGIR multi-tutelles rationalisée en 2018) et, en matière de sciences humaines et sociales, Huma-Num (humanités numériques) et Progedo (production et gestion de données).

Il a été convenu que les rapporteurs rencontreront M. Jean-François Rapin en septembre 2018 pour un point d'étape. Le rapport vous sera remis au plus tard le 29 mai 2019.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'expression de ma haute considération



Didier Migaud

Annexe n° 2 : personnes rencontrées dans le cadre de l’instruction

Ministères

MESRI, DGRI

M. Alain BERETZ, directeur général jusqu’en août 2018

M. Bernard LAROUTUROU, directeur général depuis août 2018

M. René GENET, ancien directeur général

M. Pierre VALA, adjoint au directeur Général

Mme Catherine CESARSKY, présidente du Haut-Conseil des TGIR

M. Christian CHARDONNET, chef du département des grandes infrastructures de recherche

M. Damien ROUSSET, adjoint au chef du service de la performance, du financement et de la contractualisation avec les organismes de recherche (SPFCO)

M. Laurent PINON, adjoint au chef du département des grandes infrastructures de recherche jusqu’en août 2018

M. Benoit FORET, Sous-direction du pilotage stratégique et des territoires, DGRI/DGESI

Mme Marie-Françoise MORELLO, département des investissements d’avenir et des diagnostics territoriaux (DGESIP/DGRI)

M. Thierry BERGEONNEAU, chef du service performance, financement et contractualisation jusqu’en octobre 2018

Mme Elena HOFFERT, chargée de mission « feuille de route nationale et européenne » au département des grandes infrastructures de recherche

Mme Elisabeth VERGES, chef du service stratégie, recherche, innovation

Mme Maud LEMAITRE, chargée de mission « affaires financières » au département des grandes infrastructures de recherche

M. Antoine DAËL, *Industrial Liaison Officier* au CERN et à l’ESS, rattaché au département des grandes infrastructures de recherche

M. Patrick GARDA, service stratégie, recherche, innovation

MESRI, Direction des affaires financières

M. Guillaume GAUBERT, directeur des affaires financières

M. Nicolas FOUTRIER, chef du bureau de la mission interministérielle « recherche et enseignement supérieur »

M. Guilhem de ROBILLARD, sous-directeur budget de la mission interministérielle « recherche et enseignement supérieur »

Ministère de l'Europe et des Affaires Étrangères

Mme Clélia CHEVRIER KOLACKO, sous-directrice de l'enseignement supérieur et de la recherche à la direction générale de la mondialisation (DGM)

M. Manuel BOUARD, responsable du pôle du pilotage des opérateurs et des stratégies sectorielles à la DGM

M. Fabrice DUBREUIL, représentant permanent adjoint auprès de l'Union européenne

Mme Emmanuelle MERLIN, conseillère sciences et technologie à la représentation permanente de la France auprès de l'Union européenne

M. Vincent REILLON, conseiller recherche et innovation à la représentation permanente de la France auprès de l'Union européenne

Ministère de l'économie, Direction du budget (bureau enseignement supérieur et recherche)

M. Nicolas HENGY, chef de bureau

M. Etienne FLORET, adjoint au chef de bureau

Ministère des armées

M. Bruno ROCHE, contrôleur général des armées

M. René LORY, contrôleur général des armées

M. Denis CHEVILLOT, contrôleur général des armées

M Bernard-Antoine MORIO de L'ISLE, amiral commandant des forces sous-marines et de la force océanique stratégique

M. Patrick PUYHABILIER, délégation générale à l'armement

Mme Anne-Marie BOUCHE, délégation générale à l'armement

M. Pierre KAMMERER, délégation générale à l'armement

Mme Sandrine LEMAIRE, délégation générale à l'armement

Ministère des outre-mer, DGOM

M. Emmanuel BERTHIER, préfet, délégué général

M. Thomas ROCHE, chef du bureau des politiques agricoles, rurales et maritimes

Opérateurs

IPEV

M. Jérôme CHAPPELLAZ, directeur

M. Yves FRENOT, ancien directeur

Mme Catherine MOCQUARD, directrice administrative et financière

Ifremer

M. François HOULLIER, président directeur général

M. François JACQ, ancien président directeur général

M. Patrick VINCENT, directeur général délégué

CEA

M. François JACQ, administrateur général

Mme Maria FAURY, directrice international et TGIR

M. Jean-Pierre THIEC, direction financière et des programmes

Mme Carine CHEVILLARD, adjointe à la directrice financière et des programmes

M. Remy KELLER

M. Salah DIB

Mme Claire LECHEVALIER

CNRS

M. Gabriel CHARDIN, président du comité des TGIR du CNRS

M. Jean-Marc OLERON, directeur de la stratégie financière, de l'immobilier et de la modernisation

M. Fabrice BOUDJAABA, directeur adjoint de l'Institut des Sciences humaines et sociales

Mme Cynthia SAYEGH, direction de la stratégie financière, de l'immobilier et de la modernisation

Mme Stéphanie DUPUIS, direction de la stratégie financière, de l'immobilier et de la modernisation

M. Denis VEYNANTE, directeur de la mission Calcul-Données, représentant le CNRS aux conseils d'administration de GENCI (Grand équipement national de calcul intensif), de RENATER et du CINES (Centre informatique national de l'enseignement supérieur).

Agence nationale de la Recherche (ANR)

M. Thierry DAMERVAL, président directeur général

M. Arnaud TORRES, directeur des investissements d'avenir et compétitivité

IRD

M. Jean-Paul MOATTI, président directeur général

Mme Isabelle BENOIST, secrétaire générale

M. Gilles BERNARD, directeur des finances

M. Frédéric MÉNARD, directeur du département OCEANS

Autres***TAAF***

Mme la préfète Cécile POZZO DI BORGO

SGPI

M. Guillaume BOUDY, secrétaire général pour l'investissement

Mme Sylviane GASTALDO, directrice de programme « Évaluation des investissements publics »

M. Laurent BUISSON, directeur de programme Centres d'excellence

CPU

M. Pierre MUTZENHARDT, président de la commission « Recherche et Innovation ».

Mme Florence EGLOFF, chargée de mission

Cour des comptes

M. Laurent BEAUVAIS, conseiller-maître en service extraordinaire, ancien secrétaire général de GANIL

M. Christophe STRASSEL, conseiller maître, ancien directeur du cabinet du ministre chargé de l'enseignement supérieur et de la recherche

M. Jean-François PERROT, conseiller-maître, ancien président de l'Ifremer.

Union Européenne/Direction générale de la recherche et de l'innovation

M. Philippe FROISSARD, chef-adjoint de l'unité des infrastructures de recherche à la direction « innovation ouverte et science ouverte »

M. Bruno GOGEL, auditeur externe au service d'audit commun

Alliances

M. Yves LEVY, président de l'alliance « AVIESAN »

M. François SILLION, président de l'alliance « ALLISTENE »

M. Claude LABIT, délégué général de l'alliance « ALLISTENE »

Mme Françoise THIBAUT, déléguée générale de l'alliance « ATHENA »

ANRT

Mme Clarisse ANGELIER, déléguée générale

M. Denis RANDET, conseiller en innovation

TGIR***Huma-Num***

M. Olivier BAUDE, directeur de la TGIR « Huma-Num »

M. Stéphane POUYLLAU, directeur technique de la TGIR « Huma-Num »

ProGeDo

M. Pascal BULEON, président de la TGIR « ProGeDo »

GANIL

M. Navin ALAHARI, directeur de GANIL

Mme Héloïse GOUTTE, directrice adjointe de GANIL

Mme Marie-Dominique FAIVRE, adjointe au directeur de GANIL en charge de l'évolution, des relations sociales et du pilotage des ressources humaines

M. Bertrand FRANEL, secrétaire général de GANIL

M. Patrick DOLEGIEVIEZ, chef du projet SPIRAL2 de GANIL

GENCI

M. Philippe LAVOCAT, PDG de GENCI

M. Édouard BRUNEL, SG de GENCI

M. Stéphane REQUENA, Directeur technique et innovation de GENCI

Mme Marie-Hélène VOUETTE, Conseillère institutionnelle de GENCI et responsable des partenariats

Euro-ARGO

Mme Sylvie POULIQUEN, responsable programme Euro-ARGO

FOF

M. Olivier LEFORT, directeur de FOF

Mme Lise FECHNER, chargée de mission FOF

Annexe n° 3 : panorama des 22 TGIR et des 5 OI en 2018 (dont un instrument d'ESO)

Tableau n° 16 : Sciences humaines et sociales (SHS)

	2008	2012	2016	2018	Représentation dans l'instance décisionnaire
<i>Domaine</i>	SHS	SHS	SHS	SHS	
<i>Huma-Num165 (Humanités numériques) Paris Distribuée - 2013</i>	(ADONIS et CORPUS)	TGIR (couplage ADONIS et CORPUS)	TGIR	TGIR*	CNRS, DGRI au comité de pilotage
<i>ProGeDo (Production et Gestion de Données) Paris Virtuelle – 2008</i>	TGIR décidée	TGIR	TGIR	TGIR	CNRS, DGRI au comité de pilotage

* *Huma-Num* relève également du secteur « Information scientifique et technique ».

Tableau n° 17 : sciences du système Terre et de l'environnement

	2008	2012	2016	2018	Représentation dans l'instance décisionnaire
<i>Domaine</i>	La planète	Sciences du système Terre et de l'univers	Sciences du système Terre et de l'environnement	Sciences du système Terre et de l'Environnement	
<i>CEPMET (Centre européen de prévisions météorologiques à moyen terme) Monosite UK 1975/1979</i>	TGIR existante	IR	OI	OI	Météo France au conseil et au comité des finances
<i>Concordia Base antarctique 2005</i>	TGIR existante	TGIR	TGIR	TGIR	IPEV au conseil d'administration
<i>ECORD/IODP (European Consortium for Ocean Research Drilling/International Ocean Discovery Program)* France TGIR distribuée 2003/2018</i>	TGIR existante	TGIR	TGIR	TGIR	CNRS au conseil
<i>EURO-ARGO (Réseau in situ d'observation des océans) TGIR distribuée France 2014</i>	TGIR existante	TGIR	TGIR	TGIR	Ifremer au comité de direction
<i>FOF (Flotte Océanographique Française) TGIR distribuée 2007</i>	TGIR existante	TGIR	TGIR	TGIR	Ifremer, IRD, CNRS au comité de direction ¹⁶⁶
<i>ICOS- France (Integrated Carbon Observation System) TGIR distribuée 2008/2016</i>	TGIR hautement prioritaire	IR	TGIR	TGIR	CEA, INRA, CNRS au comité de direction et au comité administratif et financier

¹⁶⁵ Les deux TGIR du secteur sont relativement récentes, mais Huma-Num a en fait succédé à Adonis, TGE (très grand équipement) d'appui du CNRS à la communauté SHS depuis 2007 et à Corpus (2011).

¹⁶⁶ L'IPEV y participait jusqu'au 01/01/2018.

Tableau n° 18 : sciences de la matière

	2008	2012	2016	2018	Représentation dans l'instance décisionnaire
<i>Domaine</i>	La matière	Sciences de la matière et ingénierie	Sciences de la matière et ingénierie	Sciences de la matière et ingénierie	
<i>ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) Monosite Grenoble 1988/1994</i>	TGIR existante + upgrade 1 décidé + upgrade 2 hautement prioritaire	TGIR	TGIR	TGIR internationale	CEA + CNRS au conseil et au comité administratif et financier
<i>ESS (European Spallation Source) Monosite Lund Suède 2014/2023</i>	TGIR prioritaire	PROJET	TGIR	TGIR internationale	CEA + CNRS au conseil et au comité administratif et financier
<i>ILL (Institut Laue-Langevin) France Monosite Grenoble 1967/1971</i>	TGIR existante + upgrade 1 décidé + upgrade 2 hautement prioritaire	TGIR	TGIR	TGIR internationale	CEA + CNRS au comité de direction et au comité administratif et financier
<i>Orphée/LLB* Réacteur Orphée et Laboratoire Léon Brillouin Monosite Gif-sur-Yvette 1974/1980</i>	LLB TGIR existante	TGIR	TGIR	TGIR	CEA, CNRS au comité de direction
<i>SOLEIL*(Synchrotron SOLEIL) Monosite Gif-sur-Yvette 2001/2008</i>	TGIR existante	TGIR	TGIR	TGIR	CEA, CNRS au conseil et au comité administratif et financier
<i>E-XFEL (European X-ray Free Electron laser) Monosite - Allemagne 2009/2017</i>	TGIR décidée	TGIR	TGIR	TGIR	CEA, CNRS au conseil et au comité administratif et financier

Tableau n° 19 : astronomie et astrophysique

	2008	2012	2016	2018	Représentation dans l'instance décisionnaire
<i>Domaine</i>	L'Univers vu de la terre	Sciences du système Terre et de l'univers	Astronomie et astrophysique	Astronomie et astrophysique	
<i>ESO (European Southern Observatory) 1962/1965 Distribuée Chili</i>		OI ESO (ESO, ALMA, projet ELT, VLT)	OI ESO, ESO ALMA, ESO EELT, ESO LSP	OI ESO	DGRI (SSRI) au conseil Ministère Économie au comité des finances
<i>ESO ALMA (Atacama large Millimeter/Sub-millimeter Array) Distribuée Chili 2003/2013</i>	ALMA TGIR existante			Instrument d'ESO	
<i>CFHT (Canada-France-Hawaii Telescope) Monosite Hawaii 1974-1977</i>	TGIR existante	TGIR	TGIR	TGIR	CNRS au conseil d'administration et au comité d'audit
<i>CTA (Cherenkov Telescope Array) Distribuée Chili Espagne 2016/2020*</i>	TGIR hautement prioritaire	PROJET	PROJET	TGIR internationale	CEA et CNRS
<i>IRAM (Institut de radio astronomie millimétrique) Distribuée France/Espagne</i>	TGIR existante (FR /DE)	TGIR	TGIR	TGIR internationale	CNRS au comité de pilotage, au comité des finances et à l'assemblée générale

*Egalement classé en physique nucléaire et des hautes énergies

Tableau n° 20 : physique nucléaire et des hautes énergies

	2008	2012	2016	2018	Représentation dans l'instance décisionnaire
<i>Domaine</i>	Particules, noyaux	Physique nucléaire et des hautes énergies	Physique nucléaire et des hautes énergies	Physique nucléaire et des hautes énergies	
<i>CERN (Organisation Européenne pour la recherche Nucléaire) Monosite Genève 1954/2018</i>	TGIR existante OI CERN, LHC, détecteurs	OI CERN (CERN et CERN LHC)	OI CERN-LHC	OI CERN	MESRI + MEAE au conseil DAF MESRI + MEAE au comité des finances
<i>CERN LHC (Large hadron Collider) Monosite Meyrin Suisse 1994/2018</i>				CERN LHC TGIR internationale, programme principal du CERN	
<i>EGO VIRGO (Observatoire européen gravitationnel-Virgo) Monosite Italie 2000/2003</i>	(VIRGO EGO) TGIR existante	TGIR	TGIR	TGIR	CNRS au conseil d'administration et au comité des finances
<i>FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) Monosite Allemagne 2010/2025</i>	TGIR décidée (Energie)	TGIR	TGIR	TGIR	CEA, CNRS au conseil et au comité administratif et financier
<i>GANIL SPIRAL2 (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds – Système de production d'Ions Radioactifs en Ligne de 2^e Génération) Monosite Caen 1975/1983</i>	GANIL TGIR existante SPIRAL2 TGIR décidée (Energie)	TGIR GANIL-SPIRAL2	TGIR GANIL-SPIRAL2	TGIR GANIL-SPIRAL2	CEA, CNRS au comité de direction et au comité administratif et financier
	(Energie) TGIR décidées : ITER, IFMIF, RJH.				

Tableau n° 21 : E-infrastructures

	2008	2012	2016	2018	Représentation dans l'instance décisionnaire
<i>Domaine</i>	Données, calculs, services	Sciences du numérique et mathématiques	Sciences et technologies du numérique ; mathématiques	e-infrastructures	
<i>GENCI (Grand équipement national de calcul intensif) Distribuée Paris 2007</i>	PRACE TGIR hautement prioritaire	TGIR GENCI (IDRIS, CINES, TGCC, PRACE)	TGIR GENCI	TGIR GENCI	MESRI, CEA, CNRS, INRIA, CPU au conseil et au comité administratif et financier
<i>RENATER (Réseau national de télécommunications pour la technologie, l'enseignement et la recherche) 1993</i>	TGIR existante	TGIR	TGIR	TGIR	Nombreux opérateurs au conseil ; MESRI, CNRS, CPU au comité administratif et financier

Tableau n° 22 : biologie et santé

	2008	2012	2016	2018	Représentation dans l'instance décisionnaire
<i>Domaine</i>	Biologie, santé	Sciences Biologiques et Médicales	Biologie et santé	Biologie et santé	
<i>EMBL (European Molecular Biology Laboratory) Infrastructure distribuée - Allemagne-1974</i>	TGIR existante	OI (EMBL, EMBO, EMBC)	OI EMBL	OI EMBL	DGRI (SSRI + SPFCO) au conseil + au comité des finances

Sources des tableaux : Cour des comptes à partir des feuilles de route et documents internes du MESRI.

Annexe n° 4 : les infrastructures de recherche françaises à caractère européen

Tableau n° 23

	France	Dimension européenne ou internationale*
	SHS	Social & Cultural Innovation
<i>HUMA-NUM (Humanités numériques) Paris Distribuée - 2013</i>	TGIR	ESFRI landmarks : ERIC DARIAH (Digital Research Infrastructure for the Arts and Humanity) FR 2006/2019 ERIC CLARIN (Common Language Resources and technologies Infrastructure) NL 2006/2012
<i>PROGEDO (Production et Gestion de Données) Paris Virtuelle – 2008</i>	TGIR	ESFRI landmarks : ESS (European Social Survey) UK 2006/2013 ERIC CESSDA (Consortium of European Social Science Data Archive) NO 2006/2013 ERIC SHARE (Survey of health, Ageing and Retirement in Europe) DE 2006/2011
	Sciences du système Terre et de l'Environnement	Environment
<i>CEPMET (Centre européen de prévisions météorologiques à moyen terme) Monosite Reading UK 1975/1979</i>	OI	OI (ECMWF en anglais)
<i>Concordia Base antarctique 2005</i>	TGIR	Traité franco-italien
<i>ECORD/IODP (European Consortium for Ocean Research Drilling/International Ocean Discovery Program)* France TGIR distribuée 2003/2018</i>	TGIR	Consortium européen Membre OI IODP
<i>EURO-ARGO (Réseau in situ d'observation des océans) TGIR distribuée France 2014</i>	TGIR	ERIC EURO ARGO ESFRI landmark 2006-2014 ARGO réseau international
<i>FOF (Flotte Océanographique Française) TGIR distribuée 2007</i>	TGIR	
<i>ICOS- France (Integrated Carbon Observation System) TGIR distribuée 2008/2016</i>	TGIR	ERIC ICOS ESFRI landmark (FIN)
	Sciences de la matière et ingénierie	Physical Sciences & Engineering
<i>ESRF (European Synchrotron Radiation Facility) Monosite Grenoble 1988/1994</i>	TGIR internationale	Programme européen ESRF ESFRI landmark
<i>ESS (European Spallation Source) Monosite Lund Suède 2014/2023</i>	TGIR internationale	ERIC ESS ESFRI landmark
<i>ILL (Institut Laue-Langevin) France Monosite Grenoble 1967/1971</i>	TGIR internationale	Programme européen ESFRI landmark
<i>Orphée/LLB* Réacteur Orphée et Laboratoire Léon Brillouin Monosite Gif-sur-Yvette 1974/1980</i>	TGIR	
<i>SOLEIL*(Synchrotron SOLEIL) Monosite Gif-sur-Yvette 2001/2008</i>	TGIR	

	France	Dimension européenne ou internationale*
<i>E-XFEL (European X-ray Free Electron laser) Monosite - Allemagne 2009/2017</i>	TGIR	European XFEL GmbH ESFRI landmark 2006/2017
	Astronomie astrophysique	et Physical Sciences & Engineering
<i>ESO (European Southern Observatory) 1962/1965 Distribuée Chili</i>	OI ESO	ESO (Organisation intergouvernementale européenne) Chili pays hôte. E-ELT (coordination européenne) ESFRI landmark 2006/2024
<i>ESO ALMA (Atacama large Millimeter/Sub-millimeter Array) Distribuée Chili 2003/2013</i>	TGIR Instrument d'ESO	Joint Alma Office (JAO) Accord de collaboration entre ESO, NSF Amérique Nord et NINS Asie
<i>CFHT (Canada-France-Hawaii Telescope) Monosite Hawaii 1974-1977</i>	TGIR	CFHT Accord F, CA, États-Unis
<i>CTA (Cherenkov Telescope Array) Distribuée Chili Espagne 2016/2020</i>	TGIR internationale	ESFRI project (coordonnateur Italie) 2008/2024
<i>IRAM (Institut de radio astronomie millimétrique) Distribuée France/Espagne</i>	TGIR internationale	Institut international IRAM (FR, DE, ES) 1979/1985
	Physique nucléaire et des hautes énergies	Physical Sciences & Engineering
<i>CERN (Organisation Européenne pour la recherche Nucléaire) Monosite Genève 1954/2018</i>	OI CERN	OI CERN
<i>CERN LHC (Large hadron Collider) Monosite Meyrin Suisse 1994/2018</i>	CERN LHC TGIR internationale, programme principal du CERN	CERN LHC ESFRI landmark HL-LHC
<i>EGO VIRGO (Observatoire européen gravitationnel-Virgo) Monosite Italie 2000/2003</i>	TGIR	Consortium scientifique (IT, FR, NL, PL, HU, ES)
<i>FAIR (Facility for Antiproton and Ion Research) Monosite Allemagne 2010/2025</i>	TGIR	ESFRI landmark 2006/2025 GmbH
<i>GANIL SPIRAL2 (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds – Système de production d'Ions Radioactifs en Ligne de 2^e Génération) Monosite Caen 1975/1983</i>	TGIR GANIL- SPIRAL2	Programme GANIL SPIRAL2 ESFRI landmark 2006/2019
	e-infrastructures	E-RI
<i>GENCI (Grand équipement national de calcul intensif) Distribuée Paris 2007</i>	TGIR	PRACE (Partnership for Advanced computing in Europe) AISBL** ESFRI Landmark 2006/2010
<i>RENATER (Réseau national de télécommunications pour la technologie, l'enseignement et la recherche) 1993</i>	TGIR	Réseau européen GEANT (coordonnateur NL)
	Biologie et santé	
<i>EMBL (European Molecular Biology Laboratory Infrastructure distribuée)* Allemagne-1974</i>	OI EMBL	OI EMBL (infrastructure figurant sur la feuille de route ESFRI mais non labellisée par le HC TGIR en France)

Source : Cour des comptes à partir des feuilles de route DGRI et ESFRI 2018

Annexe n° 5 : les efforts des États étrangers

Les politiques d'infrastructures de recherche ne pouvant se résumer facilement, seuls des éléments notables seront fournis par pays. Tous les pays industrialisés se sont lancés dans la construction de grandes infrastructures dans un esprit de compétition pour maîtriser les technologies du futur. Si les États-Unis, le Japon, la Chine sont emblématiques de ces préoccupations, plusieurs pays d'Union européenne sont très actifs.

Les infrastructures de recherche en Allemagne et au Royaume-Uni

L'Allemagne présente sur le site ESFRI une feuille de route datée de 2013, dont il semble qu'elle ait été actualisée en 2015. Un nouveau document est en préparation et devait être publié en 2018. Selon la liste disponible, les infrastructures de recherche sont au nombre de 27, dont trois considérées comme en phase pilote du processus d'inscription sur la feuille de route. 17 d'entre elles sont incluses dans des partenariats européens et/ou internationaux. La sélection s'effectue selon des critères de potentiel scientifique, d'importance pour l'Allemagne en tant que nation scientifique, de faisabilité pratique, de possibilités d'exploitation scientifique, de faisabilité financière et de signification pour la société, avec une évaluation par le Conseil allemand des sciences et des humanités.

Si les universités constituent un pilier essentiel de la recherche en Allemagne, les propositions préalables d'infrastructures de recherche sont présentées par les associations des centres Helmholtz (les plus actifs en ce domaine), Leibniz, Max Planck. Certaines infrastructures de recherche sont opérées par des centres Helmholtz, d'autres par des universités, des instituts Max Planck ou des installations *ad hoc* comme DESY (synchrotron).

Les fonds annoncés sont de 1,1 Md€ annuels. Les informations sur les participations des *Länder* sont peu nombreuses. L'Allemagne est pays hôte des infrastructures de recherche européennes E-XFEL (Hambourg), FAIR (Darmstadt), SHARE (Munich) et INFRAFRONTIER (Munich).

Le Royaume-Uni présente sur le site ESFRI une « feuille de route nationale » sans liste d'infrastructures, en date de 2012. Les e-infrastructures comprennent tous les champs du numérique, sont pour certaines d'entre elles spécialisées par discipline, et organisées selon un schéma national, régional, par université, par laboratoire. Elles sont séparées des autres infrastructures de recherche et supervisées par un *E-infrastructure Leadership Council*.

En 2013, un rapport de la Chambre des Lords soulignait l'importance scientifique des infrastructures de recherche, les manques en matière de lasers et résonance magnétique nucléaire par exemple, les moyens financiers insuffisants et en disponibilité future de ressources humaines et regrettait l'absence d'une stratégie à long terme (en mettant d'ailleurs en avant l'exemple de la France). Au plan international, il était recommandé de mieux prendre en compte l'intérêt d'un partage des coûts avec les partenaires européens, et de formaliser systématiquement l'engagement britannique dans les grands projets d'infrastructure de recherche internationaux par un traité international. Après une consultation nationale, le gouvernement a annoncé en novembre 2016 une nette augmentation du budget de la recherche jusqu'en 2023, concernant notamment de grands projets nationaux qui s'alignent sur les

priorités gouvernementales stratégiques, dans les domaines de l'énergie, de la santé et des matériaux avancés, dont en matière d'infrastructures de recherche la construction de nouveaux centres d'excellence tel que le *UK Collaboratorium for Research in Infrastructure and Cities* ou le *National Centre for Ageing Science and Innovation* à Newcastle.

En 2018, le paysage britannique de la recherche publique a vu apparaître une nouvelle entité, *UK Research and Innovation* (UKRI), organe ombrelle qui regroupe les sept conseils de recherche ainsi qu'*Innovate UK* et *Research England*. UKRI a lancé en janvier 2018 une consultation nationale en amont de la publication d'une feuille de route sur les infrastructures innovantes, qui devrait être publiée au printemps 2019.

Les infrastructures de recherche sont particulièrement concernées par l'issue de la négociation sur le Brexit, car les Britanniques participent à plusieurs infrastructures de recherche européennes, dont les statuts prévoient parfois l'obligation de la qualité d'Européen pour en être membre.

Les infrastructures de recherche dans quelques pays hors Europe

Aux États-Unis, les infrastructures de recherche sont financées à la fois par plusieurs départements et agences, dont ceux de la défense, de l'agriculture, de la santé, de l'énergie et par la *National Science Foundation* (NSF).

La plupart des grandes infrastructures de recherche telles que les synchrotrons, réacteurs à neutrons ou accélérateurs de particules sont réparties au sein de laboratoires nationaux placés sous la tutelle de départements ministériels, notamment le *Department of Energy* (DoE), qui a établi une stratégie à 10 ans (2018-2027) pour chacun des 13 laboratoires dont il a la tutelle. Certaines infrastructures peuvent aussi dépendre du *National Institute of Standards and Technology* (*Department of Commerce*) chargé de la standardisation¹⁶⁷ ou bien d'universités.

La NSF, agence fédérale généraliste, finance de grands instruments de recherche, avec une gestion centralisée au *Large Facilities Office*, dont le budget en 2017 était de 1,2 Md\$ (dont 200 M\$ dédiés à la construction de grandes infrastructures). La NSF intervient surtout dans le financement d'observatoires/télescopes nationaux et d'infrastructures à dimension internationale, essentiellement en physique des particules (LHC et Atlas au CERN). NSF et le DoE financent conjointement la construction du *Large Synoptic Survey Telescope* (LSST-Chili ; 473 M\$). Elle a également créé un nouveau programme de soutien aux infrastructures de recherche de moyenne envergure – *Mid-scale Research Infrastructure*.

Le *National Science and Technology Council* (NSTC), directement rattaché au président des États-Unis, coordonne les stratégies entre les agences fédérales et l'*Office of Science and Technology Policy*, également rattaché à la Maison Blanche, qui centralise les demandes budgétaires annuelles au Congrès. Le management et la modernisation des infrastructures de recherche sont une des priorités affichées pour 2019 comme pour 2020.

¹⁶⁷ Le lien entre recherche scientifique et normalisation aux États-Unis est à souligner, dans la mesure où il débouche souvent sur des standards internationaux qui s'appliquent ensuite au reste du monde. Il en est ainsi par exemple du système ORCHID, seule nomenclature de ce type au plan mondial, qui attribue un numéro à partir d'une démarche volontaire dans laquelle le chercheur doit s'identifier et livrer un certain nombre de données pour être référencé.

Le rapport de 2017 de l'*Office of Science and Technology Policy* au Congrès sur les infrastructures de recherche fait état d'investissements en infrastructures de recherche de 2,7 Md\$ en 2016 et 2,5 Md\$ en 2015. Ces chiffres sont censés contenir les budgets des différentes agences, y compris de défense mais ne comprennent pas les contributions des fonds de programmes scientifiques généraux ni les budgets spéciaux pour les instruments majeurs, ni les partenariats des universités. Il est difficile de fournir une estimation globale des fonds dont les infrastructures de recherche bénéficient, d'autant que certaines tarifent leurs prestations quand les activités sont proches de l'application industrielle.

Au Japon, le 5^e Plan-Cadre pour la science et la technologie en vigueur de 2016 à 2020 prévoit l'exploitation d'infrastructures de recherche, de façon transversale et intersectorielle, au Japon et dans le monde dans le cadre de projets de recherche internationaux de grande envergure, notamment dans le domaine de la fusion nucléaire, l'accélération de particules, le développement et l'utilisation de l'espace. En parallèle ont été mis en place de nouveaux mécanismes de stimulation de la recherche conjointe internationale sous forme de cofinancements de partenariats et de cotutelle internationale des centres de recherche.

Le Ministère de l'Éducation, de la Culture, des Sports, des Sciences et de la Technologie (MEXT) est chargé du suivi des quatre TGIR du Japon, tel que le Super Photon ring-8 GeV (SPRING 8) en science de l'environnement, énergie et matériaux ; le laser à électrons libres et à rayons X (SACLA) ; le K-computer pour des applications en sciences médicales, énergies, prévisions des catastrophes naturelles, science de la matière et de l'univers ; le *Japan Proton Accelerator Research Complex* (J-PARC) en sciences des matériaux et de la vie.

Le Japon a mis un accent particulier sur le calcul haute performance, disposant entre autres d'une machine de très haut rang mondial, le K-computer. Le Japon et la France travaillent conjointement sur l'avenir du K-computer afin de maintenir la compétitivité du supercalculateur au niveau international. De même, des discussions impliquant la France sur la construction d'un accélérateur linéaire de particules (ILC), sont en cours depuis 2013 pour une construction envisagée de 2025 à 2033. Au niveau international, le Japon est impliqué dans ITER, la station spatiale internationale (ISS), le programme international de découverte de l'océan (IODP) et le grand collisionneur de Hadrons (LHC).

La Chine poursuit son développement scientifique avec des moyens en forte croissance et l'ambition de devenir un des leaders mondiaux en sciences, de la biologie à la cosmologie. Elle consacre sur la période 2016-2020 2,5 % de son PIB aux dépenses de R&D et prévoit d'en réserver une part significative aux grandes infrastructures de recherche. Elle se lance de plus en plus dans la conception, l'installation et l'exploitation sur son sol, seule ou en coopération, d'infrastructures de recherche uniques au monde ou au meilleur niveau international.

On compte actuellement en Chine une cinquantaine de telles infrastructures dont une moitié est pilotée par l'Académie des Sciences Chinoise (CAS). L'une des réalisations récentes les plus emblématiques est le télescope FAST (*Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope*, construction lancée en 2011, coût de l'ordre de 150 M€) qui est depuis 2017 le plus grand radiotélescope mono-antenne au monde avec 500 m d'ouverture. Pour la physique des particules, la Chine est équipée à haut niveau et depuis un certain temps en termes de synchrotron, de source de neutrons par spallation, de lasers de grande puissance ou d'accélérateur ions lourds, de plateforme de recherche sur les champs magnétiques intenses.

Les projets de génération suivante sont en cours, SXFEL (test laser dans la gamme des rayons X) sera bientôt opérationnel.

Parmi leurs très ambitieux projets de long terme, les Chinois envisagent un « CERN post génération actuelle ». Le CEPC serait un anneau de plus de 50 km de circonférence (le LHC du CERN mesure 27 km) et permettrait de produire des millions de bosons de Higgs quand le LHC en produit quelques centaines. La première phase de construction serait pour 2020 pour une mise en service aux alentours de 2028 mais le financement n'est pas finalisé.

Les infrastructures de recherche chinoises font souvent l'objet de collaborations internationales et l'implication de la Chine dans des projets internationaux est croissante : la Chine s'est jointe à ITER dès 2006 et aujourd'hui participe à SKA (*Square Kilometer Array*).

L'Australie poursuit de grands efforts en matière d'infrastructures de recherche, coordonnés dans une *National Collaborative Research Infrastructure Strategy* (NCRIS). Son montant annoncé en 2018 est de 1,9 Md\$ sur dix ans dont 393 M\$ d'investissements sur neuf champs de recherche, en premier lieu les matériaux spéciaux et nanotechnologies, les données marines, l'optique. Les fonds sont fournis aux infrastructures de recherche *via* des accords réactualisés tous les deux ans et avec l'exigence de fournir des services à la communauté. Il y a actuellement 27 projets actifs. À côté de ces financements, on relève deux financements particuliers pour l'*Australian Synchrotron* (519 M\$ sur dix ans) et pour l'engagement australien dans SKA (293 M\$).

Le Canada lance aussi un effort majeur à partir de 2018, avec The Major Science Initiatives créé par la Fondation canadienne pour l'innovation (agence fédérale). Comme aux États-Unis, le budget des infrastructures de recherche est réparti entre plusieurs agences. Un budget de 763 M\$ sur 5 ans est annoncé en 2018, dont 160 M\$ pour le MSI.

En Russie, le président a lancé récemment un programme intitulé « Megasciences » qui comprend six projets d'infrastructures de recherche, essentiellement dans le domaine des sciences de la matière et de la physique nucléaire. Ce pays a entamé depuis trois ans avec l'UE une coopération approfondie en matière d'infrastructures de recherche, très soutenue et coordonnée par l'Allemagne (*via* son synchrotron DESY), au sein du projet CREMLIN (*Connecting Russian and European Measures for Large-scale Research Infrastructures*), composé de 19 laboratoires russes et européens, financé par H2020 (1,7 M€) et qui s'achève en 2018.

Ce pays participe à quelques infrastructures de recherche européennes comme E-XFEL, FAIR (localisées en Allemagne), où elle est deuxième contributrice derrière l'Allemagne, et ESRF (située en France).

Annexe n° 6 : la gouvernance des différentes TGIR et OI

Tableau n° 24 : les statuts juridiques des TGIR et OI

	TGIR/OI	Statut juridique	Convention internationale éventuelle		Acte constitutif (signature)	Personnalité juridique
			Signature	Loi autorisant le cas échéant la ratification (France)		
Infrastructures ayant plusieurs États membres						
CERN-LHC	TGIR (LHC)+OI (CERN)	Organisation internationale	1 ^{er} juillet 1953	Loi n° 54-307 du 13 août 1954	-	Oui
EMBL	OI		10 mai 1973	Loi n° 74-625 du 2 juillet 1974	-	
CEPMMT	OI		11 octobre 1973	LOI n° 75-421 du 30 mai 1975	-	
ESO	OI		5 octobre 1962	Loi n°63-1292 du 21 décembre 1963	-	
Euro-Argo	TGIR	Consortium pour une infrastructure de recherche européenne (<i>European Research Infrastructure Consortium, ERIC</i>)			5 mai 2014*	ERIC : oui Structures françaises : non
ICOS	TGIR				26 octobre 2015*	
ESS	TGIR				19 août 2015*	
E-XFEL	TGIR	Société à responsabilité limitée de droit allemand (<i>Gesellschaft mit beschränkter Haftung, GmbH</i>)	30 novembre 2009	Loi n° 2013-708 du 5 août 2013	30 novembre 2009	Oui
FAIR	TGIR		4 octobre 2010	Loi n° 2013-709 du 5 août 2013	4 octobre 2010	
CTA	TGIR				2014**	
ESRF	TGIR	Société civile de droit français	16 décembre 1988	Loi n° 89-871 du 1 ^{er} décembre 1989	16 décembre 1988	Oui
ILL	TGIR		19 janvier 1967		19 janvier 1967	
IRAM	TGIR				1979**	
CFHT	TGIR	Société à but non lucratif de droit américain			1974**	

	TGIR/OI	Statut juridique	Convention internationale éventuelle		Acte constitutif (signature)	Personnalité juridique
			Signature	Loi autorisant le cas échéant la ratification (France)		
EGO VIRGO	TGIR	Société civile de droit italien			2000**	
Concordia	TGIR	Accord international	4 octobre 2005		21 octobre 2005	Non
IODP/ECORD	TGIR	Consortium (<i>Memorandum of understanding</i> juridiquement non liant)	Février 2013 (ECORD)		-	Oui pour l'EMA
Infrastructures uniquement françaises						
SOLEIL	TGIR	Société civile de droit français			16 octobre 2001	Oui
GENCI	TGIR				2007**	
GANIL	TGIR	Groupement d'intérêt économique			19 janvier 1976	
Renater	TGIR	Groupement d'intérêt public			Arrêté du 27 janvier 1993***	
FOF	TGIR	Direction de la flotte (au sein de l'EPIC Ifremer)			-	Non
LLB	TGIR	Unité mixte de recherche			1974**	
Huma-Num	TGIR	Unité mixte de service			21 octobre 2015	
ProGeDo	TGIR				1 ^{er} janvier 2012**	

* Date de l'acte d'exécution de la Commission européenne

** Entrée en vigueur

*** Approbation

Source : Cour des comptes

Les règles de vote

OI et TGIR internationales : des décisions habituellement prises à la majorité simple ou qualifiée

Quand l'infrastructure réunit un grand nombre de participants, les décisions doivent être prises à la majorité (simple ou qualifiée) pour qu'elle ne soit pas paralysée. Ainsi, dans le cas des cinq OI, des trois ERIC et d'ESRF, le conseil prend ses décisions, selon la nature de celles-ci, à l'unanimité (ce qui est exceptionnel, et peut par exemple concerner l'admission de nouveaux États membres), à la majorité des deux tiers (pour les autres principales décisions, en particulier financières) ou à la majorité simple (pour les autres décisions). Dans le cas d'EMBL, du CEPMMT et de l'ERIC ICOS, les principales décisions financières sont prises à la « double majorité des deux tiers » (deux tiers des membres et deux tiers des contributions au budget). ECORD prend quant à lui ses décisions à la majorité des trois quarts¹⁶⁸. Toutefois les principales décisions ne sont pas toujours prises à la majorité qualifiée. ILL, qui réunit la France, l'Allemagne et le Royaume-Uni, prend ses décisions à l'unanimité sans que cela ait suscité de blocage¹⁶⁹.

Habituellement chaque État dispose d'une voix. Tel n'est toutefois pas le cas d'ESRF et d'Euro-Argo. Dans le cas d'ESRF, le nombre de voix dépend de la part dans le capital¹⁷⁰. La France et l'Allemagne, qui disposent de respectivement 27,5 % et 25,5 % du capital, dirigent donc de fait ESRF pour toutes les décisions à la majorité simple, le seuil des deux tiers du capital étant atteint avec par exemple l'Italie (15 % du capital) ou le Royaume-Uni (14 % du capital). Dans l'ERIC Euro-Argo, chaque État dispose de six voix, auxquelles s'ajoute un nombre de voix égal au nombre de ses flotteurs. Ainsi l'organisation est-elle en pratique dirigée par France, Allemagne et Royaume-Uni.

¹⁶⁸ Chaque État dispose d'une voix. Le président du conseil peut toutefois décider, en cas d'absence de majorité, de recourir à un vote pondéré en fonction de leurs contributions financières respectives.

¹⁶⁹ Le physicien Jules Horowitz, directeur de la recherche fondamentale du CEA, qui a joué un rôle essentiel dans la création d'ILL, estimait : « Pour un organisme multinational de recherche fondamentale, le fait de n'avoir que deux ou trois, à la rigueur quatre pays membres, apportant des contributions financières égaies et ayant des intérêts scientifiques comparables, offre incontestablement des conditions très favorables pour la gestion de l'ensemble des problèmes scientifiques, administratifs et financiers. Il est en particulier normal, dans ce cas, que l'accès aux instruments ne soit déterminé que par des critères scientifiques et pour les décisions administratives et budgétaires la règle de l'unanimité présente alors peu d'inconvénients » (rapport annuel 1987 de ILL).

¹⁷⁰ Plus précisément, « une « majorité simple » signifie la moitié du capital, le nombre de voix défavorables n'excédant pas la moitié des Parties contractantes » « une « majorité qualifiée » signifie les deux tiers (2/3) du capital, le nombre de voix défavorables n'excédant pas la moitié des Parties contractantes » et « l'« unanimité » signifie les deux tiers (2/3) au moins du capital, sans vote contraire d'une quelconque Partie contractante, toutes les Parties contractantes ayant eu la possibilité de prendre part au vote ».

TGIR purement françaises : des décisions prises selon des modalités variables

Dans le cas des TGIR purement françaises, la TGIR peut être cogérée par le CNRS et le CEA. GANIL constitue l'exemple emblématique de cette situation, toutes les décisions autres que de gestion courante implique l'accord du CEA et du CNRS, dont chacun dispose de la moitié des droits de vote. À cela s'ajoute le fait qu'il n'a pas de personnel propre (ses effectifs étant totalement fournis par le CNRS et par le CEA) et que son directeur, proposé alternativement par le CNRS et par le CEA, change tous les cinq ans. Dans le cas de SOLEIL, si le conseil prend ses décisions, selon le cas, à l'unanimité, à la majorité des trois quarts ou à la majorité simple, la répartition des droits de vote entre le CNRS et le CEA (respectivement 72 % et 28 %) fait que le CEA dispose d'une capacité de blocage pour les principales décisions.

GENCI se distingue des autres sociétés civiles par le fait que le principal associé n'est pas un opérateur, mais l'État, qui détient 49 % des droits de vote au conseil, contre 20 % pour le CEA comme pour le CNRS¹⁷¹. Les décisions sont prises à la majorité des trois quarts¹⁷² ou des deux tiers. Ainsi, aucune décision ne peut être prise sans l'accord de l'État, et les principales décisions impliquent l'accord du CEA et du CNRS.

RENATER se distingue des autres TGIR françaises par le grand nombre de ses membres (15)¹⁷³. L'État, le CNRS et la CPU disposent de chacun 19 % des droits de vote au conseil d'administration. Sauf exception¹⁷⁴, les décisions sont prises à la majorité simple, l'État, le CNRS et la CPU disposant d'un droit de veto dans certains cas¹⁷⁵.

Toutes les décisions du comité de pilotage d'Huma-Num sont prises à la majorité des deux tiers, chaque partie (CNRS, université d'Aix-Marseille, campus Condorcet) disposant d'une voix et d'un droit de veto¹⁷⁶.

¹⁷¹ La CPU en détenant 10 % et l'INRIA 1 %.

¹⁷² Notamment pour l'approbation des comptes ou du budget.

¹⁷³ Ministère chargé de l'éducation nationale, ministère chargé de l'enseignement supérieur, ministère chargé de la recherche, CNRS, CEA, INRIA, CNES, INRA, CIRAD, INSERM, BRGM, IRSTEA, IRD, ONERA, CPU.

¹⁷⁴ Révocation du président du conseil d'administration ou du directeur (exigence d'une majorité de 9/10°).

¹⁷⁵ Notamment pour le vote du budget.

¹⁷⁶ « Les décisions du COPIL sont prises à la majorité qualifiée des deux tiers des suffrages exprimés ; aucune décision ne pouvant être prise contre l'avis des Parties et à défaut de consensus entre elles ».

Annexe n° 7 : indicateurs utilisables dans le cas des TGIR

1 - Indicateurs bibliométriques

a) Synthèse des principales données disponibles

• Le nombre de publications

La réalisation d'une étude bibliométrique approfondie, comme celle qui doit être réalisée d'ici juin 2019 par la DGRI, dépassait le cadre de la présente enquête.

La Cour s'est toutefois employée à compiler, pour les treize infrastructures pour lesquelles cela a été possible¹⁷⁷, le nombre de publications scientifiques qu'elles considèrent comme leur étant rattachées, et figurant à ce titre dans leur base de données (ou dans une base de données qu'elles contribuent à alimenter¹⁷⁸). Ces douze infrastructures correspondent à 90 % du nombre de publications selon *Google Scholar*¹⁷⁹, et comprennent neuf des dix principales infrastructures en termes de publications selon *Google Scholar*. La principale infrastructure non prise en compte est le CEPMMT ; le nombre de publications correspondantes peut être estimé, en première analyse, à environ 2 000 par an¹⁸⁰.

Les résultats doivent être considérés avec prudence, le champ pris en compte pouvant varier d'une infrastructure à l'autre, voire au cours du temps¹⁸¹. Par ailleurs, la comparaison du nombre de publications entre des infrastructures de domaines différents est par nature délicate, voire impossible¹⁸².

Cette étude suggère les faits suivants :

- le CERN correspondrait à environ 40 % du nombre total de publications ;
- on observe une forte hausse du nombre de publications de 2009 à 2013, essentiellement due au CERN (du fait de la mise en exploitation du LHC et de la découverte du boson de Higgs en 2012) ;

¹⁷⁷ Dont 9 des 10 principales selon *Google Scholar*.

¹⁷⁸ INSPIRE HEP pour le CERN, GANIL et EGO VIRGO ; Europe PMC pour EMBL.

¹⁷⁹ *Google Scholar* indique un nombre de publications en moyenne quatre fois plus élevé que la méthodologie utilisée ici (pour 2017, environ 80 000 documents, contre 20 000 documents). En effet, ce moteur de recherche prend en compte un champ de publications plus large (articles techniques...), et indique tous les documents dans lesquels le nom de l'infrastructure apparaît, même si c'est de manière purement incidente. Par ailleurs, il ne précise pas son mode de sélection des documents.

¹⁸⁰ *Google Scholar* indique environ 7 500 publications en 2017. En divisant ce montant par quatre (ratio moyen entre le nombre de publications indiqué par *Google Scholar* et celui indiqué par les infrastructures gérant une base de données bibliographique) on parvient à environ 2 000 publications.

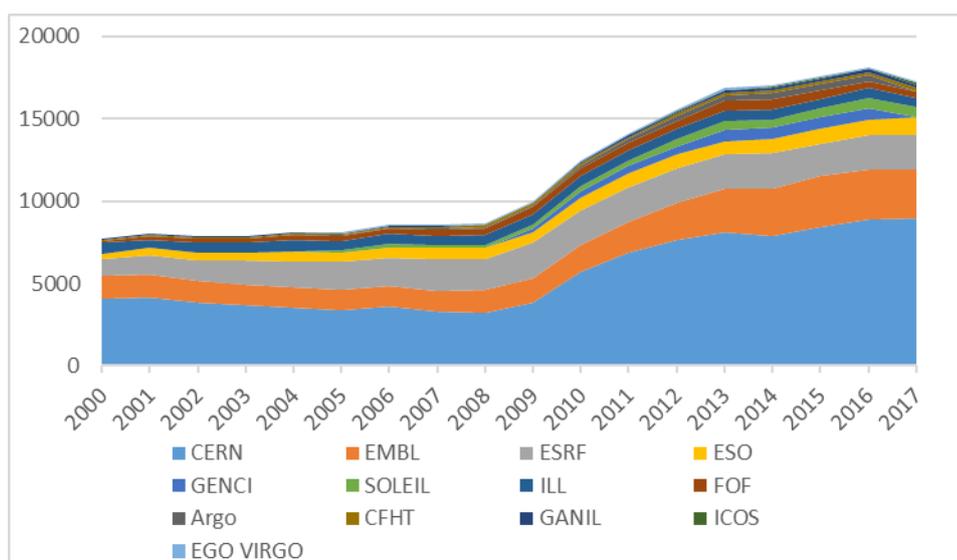
¹⁸¹ On s'efforce toutefois de ne prendre ici en compte que les publications scientifiques *stricto sensu*. Par exemple, le serveur du CERN (<https://cds.cern.ch>) indique 20 824 documents pour 2017, dont de nombreux documents techniques, voire administratifs. Le nombre de documents retenu ici pour 2017 dans le cas du CERN est de 8 935 (source : <http://inspirehep.net>).

¹⁸² Par exemple, bien que la TGIR EGO Virgo ait permis la publication d'un nombre d'articles relativement faible, la première détection d'ondes gravitationnelles en 2015 (avec son homologue américaine LIGO) a eu un impact scientifique majeur.

- les infrastructures correspondant au plus grand nombre d'articles seraient, par ordre décroissant, le CERN, ESRF, EMBL et l'ESO.

Il est à noter que *Google Scholar* conduit à des conclusions analogues¹⁸³.

Graphique n° 2 : nombre de publications pour treize infrastructures*



* Correspondant à 90 % des publications en 2017 selon *Google Scholar*.

Dans le cas d'Argo, Euro-Argo n'a pu être isolé. Les séries pour Argo et GENCI s'arrêtent en 2016.

Exploitation des bases de données de : INSPIRE HEP (CERN, EGO VIRGO, GANIL), Ifremer (FOF), *European Photon & Neutron Science Campus* (ILL, ESRF), SOLEIL, Europe PMC (EMBL), CFHT.

Reprise des données bibliométriques de : ESO, Ifremer (Argo), ICOS, GENCI.

Source : *Cour des comptes*, d'après les sources indiquées (le graphique n'est pas corrigé des possibles doubles comptes)

• La qualité des publications

La qualité des publications est mesurée, de manière en partie conventionnelle, au moyen du nombre de leurs citations par d'autres articles. Si la comparaison du nombre de citations entre infrastructures de domaines différents a peu de signification, elle permet en revanche de mettre en évidence l'excellence de certaines infrastructures au sein d'un domaine donné.

Dans son étude d'impact de 2018, GENCI indique, en s'appuyant sur les données d'*InCites*¹⁸⁴, que sur la période 2009-2016 les articles utilisant ses capacités de calcul sont cités

¹⁸³ Selon les données de *Google Scholar*, le CERN correspond à environ la moitié des publications, le nombre global de publications a fortement augmenté de 2000 à 2013 puis a diminué, et les infrastructures correspondant au plus grand nombre d'article sont, par ordre décroissant, le CERN-LHC, EMBL, le CEPMMT (non pris en compte dans l'étude bibliométrique présentée ici), l'ESO et ESRF.

¹⁸⁴ *Clarivate Analytics*.

en moyenne 15,6 fois, contre 11,4 pour la France (toutes disciplines). Cette comparaison doit toutefois être considérée avec prudence, seules certaines disciplines utilisant le GENCI.

Le CERN et l'ILL correspondent à 27 articles de physique des hautes énergies parmi les 100 les plus cités¹⁸⁵.

• Le nombre de prix Nobel

Bien que cet indicateur, par définition fluctuant et aléatoire, ne soit habituellement pas utilisé en tant que tel pour la gouvernance des infrastructures, il permet d'évaluer leur importance sur longue période.

Tableau n° 25 : principaux prix Nobel s'appuyant¹⁸⁶ sur des expériences réalisées au moyen d'une OI ou d'une TGIR

Année	Discipline	Infrastructure	Lauréats	Objet
1984	Physique	CERN	Carlo Rubbia (Italie) et Simon van der Meer (Pays-Bas)	découverte des bosons Z et W
1991*	Physique	ILL	Pierre-Gilles de Gennes (France)	théorie de la reptation des polymères
1992	Physique	CERN	Georges Charpak (France)	développement d'un détecteur de particules révolutionnaire
1995	Physiologie et médecine	EMBL	Christiane Nüsslein-Volhard et Erich Wieschaus (Allemagne)	recherche relative au développement embryonnaire de la mouche du vinaigre
2003	Chimie	ESRF	Roderick MacKinnon (États-Unis)	travaux sur les canaux ioniques dans les membranes cellulaires
2009	Chimie	ESRF	Venki Ramakrishnan (Royaume-Uni), Ada Yonath (Israël) et Thomas Steitz (États-Unis)	études sur la structure et le fonctionnement du ribosome
2011	Physique	ESO	Saul Perlmutter (États-Unis), Brian P. Schmidt (Australie), Adam G. Riess (États-Unis)	découverte de l'accélération de l'expansion de l'univers
2012	Chimie	ESRF	Brian Kobilka (États-Unis) et Robert Lefkowitz (États-Unis)	étude des récepteurs couplés aux protéines G
2013	Physique	CERN	François Englert (Belgique) et Peter Higgs (Royaume-Uni)	découverte du boson de Higgs
2017	Chimie	EMBL	Jacques Dubochet (Suisse)	nouvelle technique de préparation des échantillons pour la microscopie électronique

Source : Cour des comptes, d'après les infrastructures indiquées, sauf (*), ESFRI, "Neutron scattering facilities in Europe – Present status and future perspectives", 2016

¹⁸⁵ Source : <http://inspirehep.net>.

¹⁸⁶ Y compris en cas de confirmation *ex post* d'une théorie (exemple : travaux théoriques de François Englert et Peter Higgs dans les années 1960, confirmés expérimentalement au CERN en 2012).

2 - La disponibilité des équipements

On calcule à partir des données transmises par l'Ifremer que dans le cas de FOF, en 2017 les navires hauturiers comme les navires côtiers ont consacré environ 45 % du temps à des activités scientifiques. Dans le cas des navires hauturiers les 55 % restants se sont répartis entre 25 % consacrés à d'autres activités (pour la Marine nationale notamment) et 30 % d'indisponibilité¹⁸⁷. Dans le cas des navires côtiers ils se sont répartis entre 5 % consacrés à d'autres activités et 50 % d'indisponibilité.

Les accélérateurs de particules fonctionnent par périodes d'exploitation (« runs »), entre lesquelles ils sont en maintenance ou modernisés. Par ailleurs au sein d'une période d'exploitation, qui peut durer plusieurs années, la machine doit également être arrêtée pour maintenance.

Dans le cas du LHC, le « run 2 » débuté au deuxième trimestre 2015 s'est achevé à la mi-2018. En 2017, il a fonctionné de manière quasiment continue pendant environ six mois (de juin à novembre). Le taux de disponibilité du Linac2, principal accélérateur du LHC, a alors été de 99 %.

La durée annuelle de fonctionnement de GANIL, de 8 mois environ au début des années 2000, est de 4 mois environ depuis 2012, ses effectifs l'empêchant d'exploiter convenablement les équipements actuels tout en construisant SPIRAL2 et en mettant à niveau SPIRAL1 (cf. *infra*). En 2018, lors des quatre mois de fonctionnement, le taux de disponibilité du faisceau principal a été de l'ordre de 95 %.

Dans le cas des sciences de la matière, la Cour a demandé au CEA des données plus précises afin de tenir compte du fait que ces infrastructures sont conçues pour fournir simultanément un grand nombre de faisceaux, pouvant être utilisés pour des expériences différentes. Ces données ont été utilisées pour élaborer le tableau ci-après.

Tableau n° 26 : répartition du nombre de jours-instruments des TGIR de sciences de la matière

(en %)

	Synchrotrons		Faisceaux de neutrons	
	ESRF	SOLEIL	ILL	Orphée/LLB
	2017	2017	2016*	2017
<i>Expériences</i>	33,8	50,4	≈ 45	20,8
<i>Disponibilité sans utilisation</i>	23,5	8,2	≈ 0	5,5
<i>Indisponibilité (maintenance, essais, pannes...)</i>	42,7	41,4	≈ 55	73,7
<i>Total</i>	100,0	100,0	100,0	100,0

Les taux sont calculés sur la base d'un nombre total de jours-instruments (dernière ligne du tableau) égal au nombre d'instruments*365 jours. Au sens du présent tableau, le nombre d'instruments correspond au nombre de dispositifs pouvant être utilisés de manière simultanés par des équipes différentes.

* Le CEA a jugé préférable de donner les chiffres pour l'année 2016, du fait de divers incidents survenus en 2017.

Source : Cour des comptes, d'après les données transmises par le CEA

¹⁸⁷ Arrêts techniques, essais techniques, désarmement.

Il ressort de ces données que les TGIR de sciences de la matière sont indisponibles environ la moitié du nombre potentiel de jours-instrument, calculé sur la base de 365 jours par an (maintenance, essais, pannes...). Il n'y a pas de raison *a priori* de considérer que cela constitue une anomalie. En particulier, ces infrastructures doivent fonctionner de manière continue 24 h sur 24 et 7 jours sur 7 lors de divers cycles annuels, entre lesquels ont lieu les nécessaires opérations de maintenance. Dans le cas d'Orphée, le taux d'indisponibilité approcherait 75 %. Toutefois, ce réacteur doit être arrêté fin 2019.

Dans le cas de GENCI, qui gère des supercalculateurs, la disponibilité est par nature plus élevée. Ainsi, le TGCC est rarement arrêté pour maintenance¹⁸⁸, et en dehors de ces arrêts son taux de disponibilité est de l'ordre de 98 %.

3- Les indicateurs d'ouverture

• L'ouverture de l'infrastructure aux communautés scientifiques

Une infrastructure de recherche se définit, notamment, par le fait qu'elle doit être ouverte aux chercheurs extérieurs. Les données transmises par le CEA dans le cas des sciences de la matière et de GANIL ont permis de calculer le tableau ci-après.

Tableau n° 27 : « Ouverture » des TGIR de sciences de la matière et de GANIL

(en %)

	Synchrotrons		Faisceaux de neutrons		Nucléaire
	ESRF	SOLEIL	ILL	Orphée/LLB	GANIL
	2017	2017	2016*	2017	2017
Expériences de chercheurs internes à l'infrastructure	6,8	19,8	52,5	35,8	13,2
Jours-instrument utilisés par les chercheurs de l'infrastructure	13,1	43,3	ND	37,7	23,1
Chercheurs français parmi ceux réalisant une expérience	22,1	68,9	24,7	77,9	37,5

* Le CEA a jugé préférable de donner les chiffres pour l'année 2016, du fait de divers incidents survenus en 2017.

** En 2017, 66 expériences ont été réalisées par des chercheurs externes, mais seulement 20 ont été proposées, toutes en physique nucléaire, du fait de l'absence de réunion du comité d'expérience pour la physique interdisciplinaire.

Source : Cour des comptes, d'après les données transmises par le CEA

Dans le cas des faisceaux de neutrons, la proportion d'expériences réalisées par des chercheurs internes à l'infrastructure est particulièrement importante (plus de 35 % pour Orphée/LLB et plus de 50 % pour ILL). Si l'on raisonne en nombre de jours-instruments, ce taux dépasse 40 % dans le cas de SOLEIL.

¹⁸⁸ Environ un jour tous les deux mois.

Le tableau précédent montre en outre que les vocations nationales ou internationales des deux « binômes » ESRF/SOLEIL et ILL/Orphée sont bien respectées : à ESRF et à ILL seulement un quart des chercheurs sont français, contre les deux tiers ou les trois quarts à SOLEIL et à Orphée. GANIL, infrastructure purement française et payée par la France, n'est en revanche utilisée que pour moins de 40 % par des chercheurs français.

Le taux de sélectivité des expériences est d'environ 75 % pour les TGIR de sciences de la matière et de 50 % pour GANIL. Dans le cas de GENCI, il y a de 2 à 3 fois plus d'heures de calcul demandées que d'heures de calcul attribuées.

• L'ouverture aux industriels

Bien que ce ne soit pas leur vocation première, certaines TGIR sont ouvertes aux industriels, comme le préconise notamment un rapport de 2011 du CSRT¹⁸⁹. Cela concerne en particulier les sciences de la matière (cf. *infra*). Cette ouverture est mal mesurée. En effet, si les expériences directement réalisées par les industriels sont nécessairement identifiées, celles-ci sont peu nombreuses, et ne correspondent qu'à une part marginale des ressources de l'infrastructure. Les expériences réalisées pour des industriels le sont dans leur quasi-totalité de manière indirecte, par des chercheurs académiques, parfois estimé à environ un quart des ressources des TGIR de sciences de la matière. Cette part doit être mieux chiffrée.

¹⁸⁹ Conseil supérieur de la recherche et de la technologie. *Recommandations du Conseil supérieur de la recherche et de la technologie sur les très grandes infrastructures de recherche*. 12 octobre 2011.

Annexe n° 8 : l'évaluation socio-économique dans le cas des infrastructures de recherche

Qu'est-ce que l'évaluation socio-économique ?

L'évaluation socio-économique se veut une méthode rationnelle d'appréciation de l'opportunité d'un investissement.

En Europe cette approche a été encouragée par les institutions européennes, avec la méthode dite JASPERS (*Joint Assistance to Support Projects in European Regions*). La Commission, la BEI et la BERD l'utilisent dans leurs prises de décision.

En France, l'article 17 de la loi de programmation des finances publiques du 31 décembre 2012¹⁹⁰ a créé une obligation d'évaluation socio-économique préalable des projets d'investissements civils financés par l'État, ses établissements publics, les établissements publics de santé ou les structures de coopération sanitaire.

Les obligations du décret n° 2013-1211 du 23 décembre 2013

Selon le décret n° 2013-1211 du 23 décembre 2013 :

- à partir de 20 M€, le projet d'investissement doit être déclaré au secrétariat général à l'investissement (SGPI), et faire l'objet d'une « évaluation socio-économique préalable » de la part de l'administration concernée ;
- à partir de 100 M€ HT¹⁹¹ le SGPI fait réaliser un rapport de contre-expertise par des experts indépendants.

Le décret s'applique « à tout projet d'investissement pour lequel aucun acte d'engagement comptable et budgétaire autre que les dépenses relatives aux études préalables n'a encore été pris à sa date d'entrée en vigueur ».

Ce décret concerne « l'État, ses établissements publics, les établissements publics de santé et les structures de coopération sanitaire participant seuls ou de concert au financement d'un projet d'investissement ». Il résulte de cette rédaction que la forme juridique de l'infrastructure est sans effet sur l'applicabilité du décret, dès lors qu'au moins l'une de ces entités participe bien à son financement. Le décret s'applique donc non seulement à l'État (création de nouvelles infrastructures) et aux TGIR sans personnalité juridique issues d'établissements publics mais aussi à toutes les autres infrastructures, sociétés civiles, y compris de droit étranger, ERIC, OI, etc. Le seuil doit alors être apprécié non au niveau de l'investissement de l'infrastructure, mais à celui de la participation de l'État et de ses établissements publics au financement de celui-ci.

La DG Trésor et France Stratégie ont publié en décembre 2017 un *Guide de l'évaluation socioéconomique des investissements publics*.

¹⁹⁰ Loi n° 2012-1558 du 31 décembre 2012 de programmation des finances publiques pour les années 2012 à 2017.

¹⁹¹ Et si les contributions représentent au moins 5 % du montant total HT du projet d'investissement.

Schématiquement, cette approche consiste à calculer une valeur actuelle nette socio-économique (VAN-SE). Celle-ci se définit comme la somme des bénéfices monétarisés actualisés de laquelle on retranche la somme des coûts monétarisés actualisés, les bénéfices et les coûts étant calculés par différence avec l'option de référence.

Les bénéfices et les coûts comprennent des éléments financiers (exemple : coût d'investissement), mais aussi non financiers (exemple : diplômes permis par l'infrastructure). La prise en compte des éléments non financiers est permise notamment par l'utilisation de valeurs dites « tutélaires », résultant en particulier d'études économiques.

La DGRI souligne que l'OCDE travaille depuis plus de deux ans sur des approches multifactorielles qui ne ramènent pas toute analyse à un aspect quantitatif et devrait publier un rapport à ce sujet en 2019. Elle prévoit, une fois ce rapport publié, de relancer les travaux du groupe de travail « Impact », qui comprend, outre elle-même, 44 infrastructures de recherche, afin d'élaborer une méthodologie commune.

La prise en compte des publications : une difficulté majeure

La principale fonction des TGIR est de permettre la création et la diffusion de connaissances supplémentaires, publiées sous la forme d'articles.

Comme il n'est pas possible de mesurer précisément l'importance d'un article, en particulier sans recul historique suffisant, la méthodologie habituellement retenue consiste à valoriser une publication à hauteur du coût salarial correspondant, le cas échéant majoré en fonction du nombre de citations.

Il en résulte, pour les articles, une valeur actuelle nette nulle avant majoration en fonction du taux de citations, leur valorisation étant strictement compensée par les coûts salariaux correspondants. Même après majoration en fonction du nombre de citations, la valeur actuelle nette demeure très faible.

Ce problème apparaît clairement dans le cas de l'évaluation socio-économique du LHC publiée en 2016 par des économistes de l'université de Milan¹⁹². Pour les raisons indiquées ci-avant, l'article ne prend en compte ni les coûts de personnel ni la publication d'articles, qui s'équilibrent et n'ont donc pas d'impact sur le résultat. La valeur actuelle nette socio-économique serait de 2,9 Md€, comme le montre le tableau ci-après.

¹⁹² Massimo Florio, Stefano Forte, Emanuela Sirtori, « Forecasting the Socio-Economic Impact of the Large Hadron Collider: a Cost-Benefit Analysis to 2025 and Beyond », *Technological Forecasting and Social Change*, novembre 2016.

Tableau n° 28 : la valeur actuelle nette socio-économique du LHC, selon des chercheurs de l'université de Milan

	Md€ ₂₀₁₃	% coût total
Coût (hors personnel)*	-13,5	-100,0
Bénéfice pour les scientifiques : valeur des publications (citations uniquement)*	0,3	2,1
Bénéfice pour les étudiants et les post-docs : formation de capital humain	5,5	40,7
Bénéfice pour les entreprises et les autres organisations : diffusions technologiques	5,3	39,0
Bénéfice pour le grand public : visite du LHC et autres effets culturels directs	2,1	15,6
Bénéfices de non-usage : la connaissance scientifique comme bien public	3,2	23,7
Total	2,9	121,1

* Les coûts de personnel et la monétarisation des articles, qui par construction s'équilibrent, n'apparaissent pas dans le tableau.

Source : d'après Massimo Florio, Stefano Forte, Emanuela Sirtori, « Forecasting the Socio-Economic Impact of the Large Hadron Collider: a Cost-Benefit Analysis to 2025 and Beyond », *Technological Forecasting and Social Change*, novembre 2016

Les deux tiers du bénéfice net proviendraient de la formation de capital humain et des diffusions technologiques.

La formation de capital humain (5,5 Md€) est valorisée à la hauteur du supplément de rémunération, sur la totalité de leur carrière, des 40 000 étudiants et post-doctorats devant utiliser le LHC de 1993 à 2025.

Les diffusions technologiques sont quant à elle calculées comme la somme :

- de l'augmentation de la marge des fournisseurs, en prenant en compte notamment les ventes supplémentaires (environ 2 Md€) ;
- d'une estimation de l'économie suscitée pour les entreprises de l'utilisation de logiciels élaborés par le CERN et mis gratuitement à la disposition des entreprises : ROOT (utilisé essentiellement dans le secteur de la finance) et GEANT4 (utilisé notamment en médecine pour la simulation de l'impact des radiations sur l'ADN) (environ 3,5 Md€).

L'invention du *World Wide Web* au CERN en 1990 par le physicien britannique Tim Berners-Lee, bien que mentionnée par l'article, n'est pas prise en compte.

On relève en particulier que selon cette estimation, la valeur actuelle nette aurait été négative si le CERN n'avait pas mis des logiciels gratuitement à la disposition des entreprises.

Dans le cas d'ESS – seule TGIR *stricto sensu* ayant fait l'objet à ce jour d'une contre-expertise du SGPI –, le rapport de contre-expertise (2014) ne présente paradoxalement pas de calcul socio-économique. Cela s'explique par le court délai imposé pour sa rédaction, mais aussi, vraisemblablement, par la difficulté à mesurer l'impact socio-économique d'une TGIR.

Annexe n° 9 : les difficultés méthodologiques pour consolider les données financières

L'effort de consolidation des données a été rendu complexe du fait d'une part de la diversité des structures juridiques¹⁹³ portant les TGIR et d'autre part de la diversité des sources de financement¹⁹⁴ et de la difficulté à obtenir des données agrégées fiables. Les documents budgétaires¹⁹⁵ nécessitent, en effet, un long travail de reconstruction compte tenu des données actuellement présentées de façon éclatée et disparate. Ces documents ne présentent d'ailleurs que les crédits issus du budget général de l'État hors crédits issus des programmes d'investissement d'avenir.

I - Une maquette budgétaire peu lisible et évolutive dans le temps

A - Les TGIR

Le programme 172 « Recherches scientifiques et technologiques pluridisciplinaires » de la mission interministérielle « Recherche et Enseignement Supérieur » (MIREs) est le principal programme du budget général à porter les crédits dédiés aux TGIR. Au sein de ce programme l'action 13 « Grandes infrastructures de recherche », créée par la LFI 2008, est en théorie destinée à accueillir ces dotations. Or entre 2008 et 2017 le périmètre de l'action 13 a varié. C'est ainsi que jusqu'en 2012, l'action 13 portait également des crédits destinés aux IR dans la mesure où la notion de TGIR dans la feuille de route 2008 couvrait à la fois des TGIR, des IR et des projets qui sont différenciées dans la nomenclature retenue dans les feuilles de routes suivantes.

Ce n'est qu'à partir de 2013 que les crédits de l'action 13¹⁹⁶ ont été ciblés sur les seules TGIR. Les crédits versés à l'Ifremer au titre des TGIR FOF et Euro-Argo ont été inscrits de 2008 à 2014 sur l'action 7 « grandes infrastructures de recherche » du programme 187 « Recherche dans le domaine de la gestion des milieux et des ressources » de la MIREs. A la disparition de ce programme, au PLF 2015, les crédits ont été inscrits sur l'action 13 du programme 172.

Le tableau ci-après récapitule l'évolution des imputations budgétaires principales des TGIR.

¹⁹³ Comme indiqué au chapitre II, peu de TGIR disposent de la personnalité morale et donc de comptes propres.

¹⁹⁴ Outre les crédits issus du budget général, les budgets des TGIR sont alimentés par des crédits européens, des crédits d'autres États, des ressources provenant des collectivités territoriales et des ressources propres.

¹⁹⁵ Le jaune budgétaire intitulé « Rapport sur les politiques nationales de recherche et de formations supérieures » annexé aux projets de lois de finances comporte quelques pages sur les TGIR mais ne comporte aucune donnée quantitative ou financière globale précise.

¹⁹⁶ En raison de leur intérêt stratégique et de leur poids financier, les TGIR sont traitées, à la demande de la direction du budget, dans une brique spécifique « TGIR ».

Tableau n° 29 : l'évolution des imputations budgétaires principales des TGIR

STRUCTURE	IMPUTATION BUDGETAIRE INITIALE			Modalités de versement	IMPUTATION BUDGETAIRE			Modalités de versement
	Programme	Action	Période concernée		Programme	Action	Période concernée	
TGIR internationale IRAM	172	13	2008-2016	SCSP (t3)	172	13	depuis 2017	subvention fléchée (t6)
TGIR CERN-LHC	172	13	depuis 2010	SCSP (t3)	172	13	depuis 2010	SCSP (t3)
TGIR FOF	187	7	2008-2014	SCSP (t3)	172	13	depuis 2015	SCSP (t3)
TGIR Soleil	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR GENCI	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR RENATER	172	13	2010-2015	SCSP (t3)	150 172	15 13	depuis 2016	SCSP (t3)
TGIR CFHT	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR Concordia	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR EGO-VIRGO	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR GANIL-SPIRAL 2	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR ORPHEE	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR XFEL	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR FAIR	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR IODP/ECORD	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR PROGEDO	172	13	depuis 2012	SCSP (t3)	172	13	depuis 2012	SCSP (t3)
TGIR HUMA-NUM	172	13	depuis 2012	SCSP (t3)	172	13	depuis 2012	SCSP (t3)
TGIR IDRIS	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR ICOS	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)	172	13	depuis 2008	SCSP (t3)
TGIR EURO-ARGO	187	7	2008-2014	SCSP (t3)	172	13	depuis 2015	SCSP (t3)
TGIR internationale ILL	172	13	2008-2015	SCSP (t3)	172	17 et 13	depuis 2016	SCSP (t3) et subvention fléchée (t6)
TGIR internationale ESRF	172	13	2008-2015	SCSP (t3)	172	17 et 13	depuis 2016	SCSP (t3) et subvention fléchée (t6)
TGIR internationale ESS	172	13	2014-2016	SCSP (t3)	172	17	depuis 2016	subvention fléchée (t6)

Source : Cour des comptes

Le ministère a indiqué que la répartition sur plusieurs actions permet d'obtenir un meilleur pilotage des crédits puisque ce procédé permet notamment de distinguer les dépenses internationales (titre 6) de la SCSP des opérateurs (titre 3) et donc d'amortir les effets d'éventuelles régulations budgétaires.

Au-delà du programme 172, il est apparu au cours de l'instruction que plusieurs autres programmes de la MIREs (150¹⁹⁷, 190¹⁹⁸, 214¹⁹⁹, 231²⁰⁰) ainsi que le programme 129²⁰¹ de la mission « Direction de l'Action du Gouvernement » contribuaient au financement des TGIR sans que cela soit toujours mentionné dans les documents budgétaires.

B - Les OI

L'intégralité des contributions françaises aux organisations scientifiques internationales est versée à partir du programme 172 de la MIREs. Comme pour les TGIR, l'architecture budgétaire a connu des évolutions. Celles-ci sont retracées dans le tableau ci-après.

¹⁹⁷ Formations supérieures et recherche universitaire

¹⁹⁸ Recherche dans les domaines de l'énergie, du développement et de la mobilité durable.

¹⁹⁹ Soutien de la politique de l'Éducation Nationale.

²⁰⁰ Vie étudiante.

²⁰¹ Coordination du travail gouvernemental

Tableau n° 30 : l'évolution de l'imputation budgétaire des OI²⁰²

STRUCTURE	IMPUTATION BUDGETAIRE INITIALE				IMPUTATION BUDGETAIRE			
	Programme	Action	Intitulé de l'action	Période concernée	Programme	Action	Intitulé de l'action	Période concernée
EMBL	172	5	Recherches scientifiques et technologiques en sciences de la vie, biotechnologie et santé	2008-2013	172	15	Recherches scientifiques et technologiques en sciences de la vie et de la santé	depuis 2014
EMBO	172	5		2008-2013	172	15		depuis 2014
CERN	172	8	Recherches scientifiques et technologiques en physique nucléaire et hautes énergies	2008-2014	172	17	Recherches scientifiques et technologiques dans le domaine de l'énergie	depuis 2015
ESO	172	9	Recherches scientifiques et technologiques en sciences de la terre, de l'univers et de l'environnement	2008-2014	172	18	Recherches scientifiques et technologiques dans le domaine de l'environnement	depuis 2015
CEPMMT	172	9		2008-2014	172	18		depuis 2015

Source : Cour des comptes

Deux OI ont également reçu des crédits à partir de l'action 13 du programme 172 :

- le CERN de 2010 à 2014 et en 2016 (environ 1 % de la dotation inscrite sur l'action principale d'imputation) ;
- l'ESO de 2010 à 2012 (environ 10 % de la dotation inscrite sur l'action principale d'imputation).

II - Les autres difficultés méthodologiques rencontrées

A - Les écarts relevés dans les documents budgétaires (PAP/RAP)

Les dépenses supportées par les opérateurs au titre des TGIR peuvent être supérieures à la part de leur SCSP imputée sur l'action 13 du programme 172. Les opérateurs peuvent, en effet, y consacrer une part de leurs ressources propres (CEA). Dans d'autres cas (CNRS), des compléments peuvent être apportés²⁰³ par un institut sous sa propre enveloppe budgétaire pour contribuer, au-delà de l'action 13, au financement d'une TGIR jugée particulièrement

²⁰² EMBO a été mentionnée dans le tableau car c'était une OI jusqu'en 2016.

²⁰³ C'est également le cas pour la TGIR Concordia, pour laquelle l'IPEV a augmenté les montants prévus à l'action 13 du programme 172 par une partie de sa SCSP perçue au titre de l'action 9. On retrouve le même mouvement avec la Flotte pour l'Ifremer en 2016 qui a notamment consacré des crédits reçus au titre de l'action 14 du programme 172.

stratégique. De surcroît, les données mentionnées dans les RAP concernent, s'agissant de l'action 13 du programme 172, les dépenses exécutées par les opérateurs qui peuvent ainsi être supérieures aux montants reçus²⁰⁴ ou intégrer les montants en provenance d'autres programmes de la MIRE (150 ou 190). À l'inverse, les montants effectivement versés peuvent être inférieurs à ceux prévus en PLF du fait de la non levée de la réserve de précaution.

B – Des périmètres « mouvants » : le schéma budgétaire des calculateurs

Le RAP de l'action 13 contient un tableau intitulé « détail des dépenses exécutées par opérateurs, par TGIR et par nature », qui présente par opérateurs les financements apportés par opération. Or ces opérations ne recouvrent pas strictement le périmètre des TGIR. Ainsi figure dans ce tableau dans la rubrique « CNRS » une opération IDRIS205. Or cet équipement figurait dans la feuille de route 2012 sous la rubrique GENCI. Les montants versés par le CNRS à l'IDRIS servent à assurer les coûts de fonctionnement²⁰⁶ du supercalculateur/stockage de GENCI hébergé à l'IDRIS. GENCI pour sa part finance²⁰⁷, conformément à la convention qui le lie au CNRS, les travaux d'évolution majeure du centre.

Plus généralement, les schémas budgétaires des calculateurs varient en fonction de leur usage et des centres. La règle générale pose le principe d'un financement par GENCI des équipements installés dans les centres sur les bases d'éligibilité suivantes :

- travaux de raccordement d'un calculateur et d'un stockage dans une salle machine d'un centre de calcul ;
- acquisition des investissements calculateurs, stockages/traitement de données associés ;
- coûts de fonctionnement associés, limités à la maintenance et au support issus des marchés d'investissement ;
- coûts nets du démantèlement.

Dans le cas particulier du CEA-TGCC, le conseil de GENCI a décidé en 2010²⁰⁸ que tous les coûts de fonctionnement du calculateur dédié, pour tout ou partie, à l'usage de PRACE Aisbl (machine Tier-0 française au TGCC (Curie et Joliot-Curie), c'est-à-dire ouvert aux communautés utilisatrices européennes), seraient financés sur le budget de GENCI.

En plus des coûts identifiés découlant de la règle générale, GENCI finance sur son budget propre les services et équipements suivants, dont il n'est pas propriétaire :

- les charges, consommations diverses et prestations, payées par le CEA nécessaires à l'hébergement du calculateur, à savoir :
- le maintien en condition opérationnel du centre, de l'environnement technique et du poste haute tension (gardiennage, maintenance infrastructure, etc.) ;
- les fluides (électricité et eau) ;

²⁰⁴ C'est le cas par exemple de la TGIR IRAM. Au PLF 2017 le montant inscrit était de 6,682 M€ mais le CNRS a versé à cette TGIR un montant de 7,605 M€.

²⁰⁵ Institut du développement et des ressources en informatique.

²⁰⁶ Fluides, infrastructure d'hébergement, personnel.

²⁰⁷ Remplacement des groupes électrogènes et de climatisation.

²⁰⁸ Conseil du 14 décembre 2010.

- le droit d'utilisation qui sert à financer des équipements financés et directement mis en place par le CEA (servitudes, lignes et poste haute tension) ;
- l'environnement informatique du centre (acquisition et maintenance) ;
- les coûts d'exploitation et d'utilisation du calculateur (personnel infogérance ou CEA).

Jusqu'en 2017, ces coûts étaient retracés dans le budget de GENCI sur une ligne de fonctionnement « exploitation TGCC ». En 2018 et à la suite de la décision du MESRI de transférer directement une partie de sa contribution GENCI vers le CEA pour financer les coûts d'exploitation du TGCC, ces coûts sont retracés dans le budget 2018 de GENCI sur deux lignes :

- transfert exploitation TGCC MESRI vers le CEA pour 6,305 M€ ;
- droit d'utilisation TGCC pour 2,282 M€.

Concernant le CINES²⁰⁹, GENCI ne finance pas les coûts de fonctionnement du calculateur et applique la règle générale rappelée ci-dessus²¹⁰.

C - Les limites des systèmes d'information

L'absence d'un système d'information unifié entre opérateurs permettant une remontée d'informations fiables au ministère constitue une limite importante à l'effort d'agrégation des données. Le CEA et le CNRS ont ainsi expliqué qu'il était difficile de fournir les données sur les périodes antérieures à 2012, compte tenu des changements des systèmes d'information. Cette absence de système d'information unifié et l'insuffisante consolidation de l'information financière nuit sans conteste à l'efficacité du pilotage et du suivi tant du ministère que des deux principaux opérateurs (CEA et CNRS).

En ce qui concerne le PIA, les rapporteurs ont interrogé le SGPI, le MESRI et l'ANR pour connaître les montants reçus par les TGIR au titre des PIA 1 et 2. Il s'est révélé difficile d'identifier dans les systèmes d'information les sommes versées au titre des PIA, pour deux raisons majeures :

- les TGIR n'ont pas toujours de personnalité morale propre permettant de les identifier clairement en tant qu'établissement coordonnateur ou partenaire d'un projet ;
- le conventionnement PIA, convention entre l'ANR et l'établissement coordonnateur et conventions de reversement entre l'établissement coordonnateur et les établissements partenaires, ne permet pas d'identifier les versements exacts vers chacun d'entre eux. On ne peut donc identifier que les versements vers un projet au global.

²⁰⁹ Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur.

²¹⁰ Ainsi, conformément aux statuts de GENCI, ce dernier a financé en 2018 des moyens de pré/post traitement (nœuds larges/visualisation graphique) attachés à la machine Occigen de GENCI (0,25 M€ investissement + maintenance). Pour 2019, GENCI prévoit de financer des moyens de stockage et la maintenance associée.

Annexe n° 10 : quelques exemples de projets soutenus par le PIA

Le PIA est intervenu et intervient ponctuellement dans le financement de plusieurs infrastructures de recherche au sens de la SNIR. Les actions du PIA ont permis de financer tout d'abord la phase de mise en place des équipements. Il s'agissait donc évidemment de l'acquisition de matériel déjà existant mais aussi de l'adaptation de locaux et, parfois, de la conception, de la mise en place et de la mise en route de systèmes complexes qui nécessitaient le recrutement d'ingénieurs. L'action « équipements d'excellence » du programme « Projets thématiques d'excellence » vise à investir dans les équipements de recherche de valeur intermédiaire (20 M€ maximum). Certains équipements d'IR peuvent être financés au titre d'un projet Equipex (PETAL, RESIF, GENCI, jouvence du *Marion Dufresne*²¹¹) mais cette action n'a pas vocation à soutenir directement une IR figurant dans la SNIR. L'action Equipex a aussi permis de financer le début des phases de fonctionnement pour faciliter le démarrage de ces équipements et accompagner le modèle économique. Sous réserve des précisions méthodologiques évoquées plus haut, il est possible d'identifier 7 TGIR comme coordinateurs ou partenaires d'un des 18 projet PIA (15 Equipex et 3 Labex), ainsi qu'en sens inverse des collaborations sans flux financiers.

1) Les TGIR identifiées comme coordinateurs ou partenaires d'un projet PIA

L'action du PIA a permis le développement d'infrastructures déjà existantes (par exemple le cas pour les Equipex « équip@Meso » pour GENCI et GANIL). Dans ce cas, le PIA a permis d'aider l'infrastructure de recherche à compléter son offre d'équipements ou à multiplier les nœuds lorsqu'elle est en réseau.

Les TGIR concernées sont au nombre de 7, à savoir FOF (établissement coordinateur de l'Equipex Thalassa), IRAM (établissement coordinateur de l'Equipex NOEMA), ESRF (établissement partenaire de l'Equipex ECOX), SOLEIL (établissement coordinateur des Equipex NANOIMAGES-X et ROCK, et établissement partenaire des Equipex ATTOLAB, CILEX, THOMX et Morphoscope2 et des Labex ICOME2, NANOSACLAY et PALM), GANIL-Spiral2 (établissement coordinateur des Equipex S3 et DESIR, et établissement partenaire de l'Equipex REC-HADRON), GENCI (établissement coordinateur des Equipex EQUIPE@Meso et STOCKAGE GENCI) et RENATER (établissement partenaire de l'Equipex REFIMEVE+).

Le tableau ci-après donne une évolution temporelle des dépenses pour chacune de ces 7 TGIR coordinatrice ou partenaire d'un des 18 projets PIA. À la fin 2017, on note que 40,5 M€ de fonds PIA ont été dépensés dans le cadre de ces projets.

²¹¹ Dans le cas de la jouvence du *Marion Dufresne*, il n'y a pas eu création d'un équipement de recherche. Le financement par le PIA était juste un vecteur financier

Tableau n° 31 : Equipex/Labex – dépenses des TGIR coordonnatrices ou partenaires des projets PIA

Action Code Historique	Acronyme	Etablissement partenaire	Aide Consommée 2011	Aide Consommée 2012	Aide Consommée 2013	Aide Consommée 2014	Aide Consommée 2015	Aide Consommée 2016	Aide Consommée 2017
EQPX	ATTOLAB	Synchrotron Soleil	0	0	0	0	0	70 170	0
EQPX	CILEX	Synchrotron Soleil	0	0	0	0	0	29 705	13 555
EQPX	DESIR	GIE Grand Accélérateur National D'ions Lourds	0	0	22 803	71 581	34 246	141 382	120 878
EQPX	EcoX	European Synchrotron Radiation Facility	0	0	99 129	166 276	320 902	462 708	945 112
EQPX	EQUIP@MESO	Grand Equipement National De Calcul Intensif	22 248	64 522	56 407	5 437	3 778	6 903	13 718
EQPX	GENCI	Grand Equipement National De Calcul Intensif	0	0	0	0	0	0	1 200 000
LABX	ICOME2	Synchrotron Soleil	0	0	0	0	0	0	0
EQPX	MORPHOSCOPE 2	Synchrotron Soleil	0	0	0	0	0	0	165 484
EQPX	NANOIMAGESX	Synchrotron Soleil	0	0	151 404	658 026	748 961	798 120	2 524 001
LABX	Nano-Saclay	Synchrotron Soleil	0	4 000	0	17 680	1 560	9 755	3 702
EQPX	NOEMA	Institut Radio Astronomie Millimétrique	4 733	1 933 040	4 890 711	3 171 513	0	0	0
LABX	PALM	Synchrotron Soleil	0	960	114 061	156 211	48 619	50 251	55 573
EQPX	REC-HADRON	GIE Grand Accélérateur National D'ions Lourds	0	0	0	0	0	0	0
EQPX	REFIMEV+	RENATER	0	0	0	0	0	0	0
EQPX	ROCK	Synchrotron Soleil	35 456	132 458	1 246 629	915 807	135 346	69 937	18 595
EQPX	S3	GIE Grand Accélérateur National D'ions Lourds	1 114	196 282	441 246	2 284 165	1 428 367	787 810	789 542
EQPX	THALASSA	IFREMER	0	0	0	0	0	1 058 988	11 608 011
EQPX	ThomX	Synchrotron Soleil	0	0	0	0	0	0	0

Source : ANR – juillet 2018

2) Les projets financés par le PIA sans qu'il soit possible de tracer avec précision les flux financiers

Dans le cas de la TGIR FOF, on peut rapprocher l'avenant à l'Equipex CLIMCOR portant sur la jouvence du *Marion Dufresne II* à une prestation pour la TGIR, même si à la date de contractualisation, les bénéficiaires des fonds ne portent pas l'infrastructure de recherche. L'avenant portait sur 13 M€ d'aides et a fait intervenir un nouveau partenaire sur le projet CLIMCOR, le GIE MD. Cette partie du projet a été clôturée le 31/12/2015. Le GIE MD a déclaré comme dépenses : 2 290 570 € sur l'année 2014 et 10 706 482€ sur l'année 2015

Dans le cas de la TGIR Euro-Argo, il est très difficile de définir avec précision les périmètres d'intervention respectifs de la TGIR et du projet Equipex NAOS. Après échanges avec le responsable scientifique et technique du projet, on peut dire que l'Equipex a des liens très forts avec la TGIR dans le sens où :

- l'Equipex finance l'achat de 15 flotteurs par an, la TGIR en finançant 65 de son côté, dans une démarche de co-financement (et non de prestation) ;
- l'Equipex, en avance de phase, développe et expérimente de la R&D qui pourrait à terme être déployée comme nouveau standard par la TGIR.

En synthèse, on peut, après analyse, donner les chiffres de dépenses suivants (à fin 2017) : 7 128 870€ de dépenses du projet NAOS, 3 745 734,74 € de dépenses de l'établissement coordinateur Ifremer et environ 1,25 M€ de dépenses d'Ifremer sur le *work-package* 1, dépenses d'équipements pour la TGIR.

3) Les collaborations identifiées sans flux financiers

Sans garantir l'exhaustivité, il est possible de mentionner les cas de GENCI et d'Huma-Num.

Dans le cas de GENCI, le projet MAPPING (bio-informatique) déclare 280 000 h de calcul à GENCI en tant que cofinancement, sans aucun flux financier.

Huma-Num permet à plusieurs projets de recherche SHS financés par les Labex LASCARBX, COMOD, IMU, LABEXMED d'avoir accès à des licences logicielles, à un espace partagé, à la mise à disposition de développements issus de la recherche (archivage, 3D...). Cela se fait sans contrepartie financière, les laboratoires membres ayant un accès gratuit. L'Equipex ORTOLANG met lui gratuitement à disposition de la TGIR sa base de données et en contrepartie la TGIR transmet systématiquement les demandes relevant des sciences du langage à l'Equipex ORTOLANG.

Annexe n° 11 : méthodologie et livrables de l'enquête sur les coûts complets

La méthodologie retenue a associé un maximum d'acteurs et d'outils. Les travaux relatifs aux coûts complets ont été initiés en novembre 2016 à l'occasion de la mise à jour 2018 de la feuille de route nationale des infrastructures de recherche. Le MESRI a alors mis en place en janvier 2017 une structure de projet regroupant, outre la DGRI²¹² et la DAF ministérielle, des directeurs financiers d'organismes²¹³, un représentant de la CPU et cinq infrastructures pilotes²¹⁴ pour définir les modalités de l'enquête coûts complets, se prononcer sur certains aspects méthodologiques et valider le processus d'élaboration des coûts complets. Un guide méthodologique a ainsi été élaboré, complété de fiches thématiques, foire aux questions, site collaboratif²¹⁵, adresse mail générique, etc., précisant les livrables (trois) et les méthodes de calculs des coûts arrêtés.

La DGRI a organisé une réunion plénière de présentation de la méthodologie le 2 février 2017 à destination des correspondants ainsi que des ateliers pratiques par typologie d'infrastructures²¹⁶. Une seconde session d'atelier a été organisée en avril 2017.

La direction des affaires financières du ministère a été associée à cette étude du fait de son expertise comptable et a, en particulier, fourni des informations statistiques sur les rémunérations moyennes des personnels de l'enseignement supérieur par corps et grade²¹⁷.

Trois livrables ont été élaborés qui devaient être validés par les opérateurs : sur les coûts complets, les ressources humaines et les ressources financières.

a) Le livrable sur les coûts complets retrace tous les coûts liés à une infrastructure. Six catégories de coûts ont été identifiées, calculés au réel ou au forfait :

- les « gros » investissements (construction, jouvence) : coût calculés sur la base de l'amortissement, au prorata de la durée de vie estimée de l'IR (et non sur la durée comptable d'amortissement) ;
- les investissements « courants » (investissements destinés à maintenir le niveau de performance de l'infrastructure) : ils sont pris en compte budgétairement (c'est-à-dire sur la base des dépenses prévues ou réalisées au budget) ou par une moyenne de l'exécuté des dernières années ;
- les dépenses de fonctionnement : elles sont prises en compte budgétairement ;
- les dépenses de personnel : elles sont prises en compte budgétairement ;

²¹² Département des TGIR et chef du service SPFCO

²¹³ DAF du CEA, du CNRS, de l'INSERM, de l'Ifremer et de l'INRA.

²¹⁴ Synchrotron SOLEIL pour le domaine de la physique nucléaire, OZCAR et ACTRIS dans le domaine de l'environnement, PROFI dans le domaine de la biologie, HAL dans le domaine de l'information scientifique et technique.

²¹⁵ Le site collaboratif ABACUS créé sur le site Pleiade du MESRI permet à tous les acteurs du processus coûts complets des infrastructures de recherche d'accéder aux documents nécessaires.

²¹⁶ Monosites, distribuées et virtuelles.

²¹⁷ Les données similaires pour les agents des organismes n'étant pas disponibles en centrale, ceci est resté à la discrétion des organismes qui ont fourni soit des données moyennes soit les données réelles.

- les coûts indirects : ils sont pris en compte forfaitairement²¹⁸ ou au réel ;
- le démantèlement : au prorata de la durée de vie estimée de l'infrastructure.

b) – Un livrable sur les RH ventile la masse salariale²¹⁹ et les ETPT par type d'agents (fonctionnaires & CDI, CDD « permanents », CDD de projet) et par financeurs (récurrents, exceptionnels).

c) – Un livrable sur les ressources ventile les contributions reçues par l'infrastructure par nature (subvention, mise à disposition d'agents, de locaux, autres contributions en nature) et par contributeur en distinguant les contributeurs récurrents et les contributeurs exceptionnels. Cette distinction est importante car les contributions exceptionnelles (par exemple le PIA) sont par construction moins pérennes que les contributions récurrentes. Leur équilibre permet donc de caractériser la solidité ou la fragilité de la structure et donc d'en tirer des analyses sur sa pérennité potentielle.

²¹⁸ Le taux de 25 % est le taux retenu par la Commission européenne pour subventionner les projets de recherche à leur coût complet.

²¹⁹ Sur la base des salaires bruts réels primes incluses ou à défaut à partir des coûts moyens budgétaires des différentes catégories d'agents.

Annexe n° 12 : les résultats de l'enquête sur les coûts complets

Les travaux sur les coûts complets des infrastructures se sont achevés en octobre 2017 au terme d'un processus d'une dizaine de mois²²⁰.

Une première présentation publique des résultats a été faite le 9 mars 2018, en présence de 150 participants représentant les infrastructures, les instances de pilotage des TGIR et les services de la DGRI.

Une présentation a également été faite au forum ESFRI au début du mois de juillet 2018 suscitant l'intérêt tant de la Commission européenne que celui des représentants des autres pays. Un rapport de synthèse analysant l'ensemble des données remontées a été produit par la DGRI en septembre 2018. Les alliances ont indiqué vouloir se saisir de ces résultats pour nourrir leur réflexion sur les domaines à soutenir prioritairement et les moyens à mobiliser par grandes thématiques.

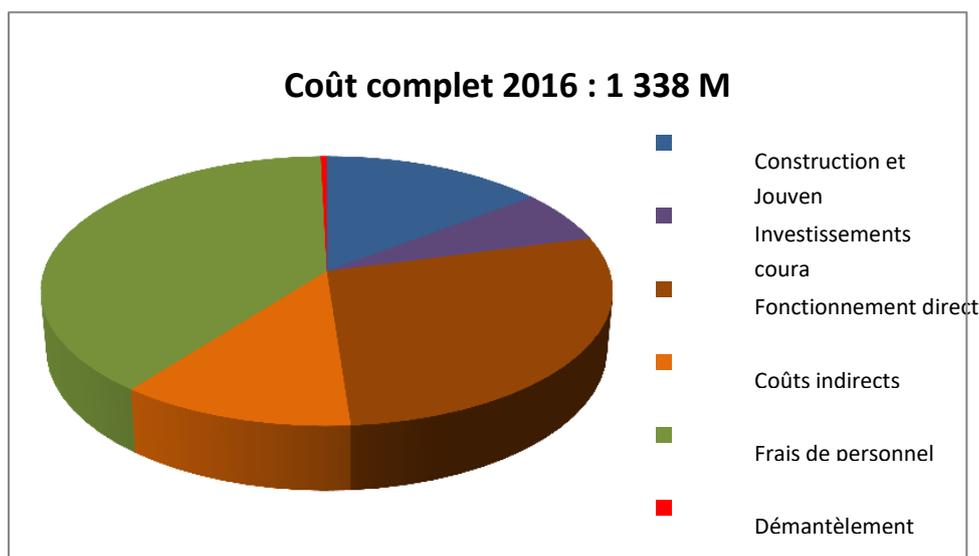
Hors les acteurs susmentionnés, les résultats de ces travaux n'ont pas été diffusés, au moment de l'instruction, aux interlocuteurs tels que la DAF du ministère ou la direction du budget et ne sont donc pas partagés avec eux.

Les résultats présentés concernent les infrastructures de recherche en fonctionnement effectif au cours de l'année 2016. En ce qui concerne l'analyse des coûts, les résultats sont donnés sur la base des contributions françaises pour les OI et IR internationales. Les IR en construction ou en projet représentaient en 2016 un coût pour la France de 36 M€. La contribution française actuelle à ces constructions a vocation à être intégrée dans le coût complet qui pourra être calculé à partir de leur mise en service.

Sur les coûts complets 1 338 Md€ de dépenses tracées

L'effort français en faveur des IR est réparti en 39 % de coûts de personnel, 40 % de coûts de fonctionnement et 21 % d'investissements. Les coûts de démantèlement identifiés lors de cette première enquête représentent une fraction négligeable du coût complet.

²²⁰ Une mention de cette enquête est faite dans le rapport *Strengthening the effectiveness and sustainability of international research infrastructures* publié par l'OCDE en décembre 2017.



Source : DGRI, synthèse de l'enquête sur les coûts complets et ressources des infrastructures de recherche de la feuille de route nationale 2016.

Les coûts relatifs aux opérations de démantèlement, estimés à 0,4 % sur la base des données actuelles, sont en-deçà de la réalité compte tenu de l'absence d'estimation pour plusieurs infrastructures internationales (CFHT, CTA, FAIR, ESS, E-XFEL, CERN en particulier). Dans le cas du CERN, les engagements spécifiques de la France en tant que pays hôte pourraient se traduire par un montant significatif.

La part des investissements (22 % en tout) est au-dessus des valeurs que l'on trouve habituellement dans les budgets des IR en fonctionnement. Cela s'explique par le fait que l'on prend en compte ici des coûts de construction initiale, actualisés et répartis sur une base annuelle pour les IR en fonctionnement.

Compte tenu de cet effet, les dépenses salariales représentent 39 % en moyenne du coût complet, même si elles représentent souvent un ordre de grandeur de 50 % du budget des IR en fonctionnement.

Le poids relatif des six postes de dépenses retenus dans la méthodologie apparaît comme fortement variable par secteur, et par IR à l'intérieur de chaque secteur. **Les dépenses de personnel représentent le premier poste de dépenses dans six secteurs sur neuf** (soit 39 % des coûts en moyenne, 529 M€), suivi par les coûts de fonctionnement directs dans deux secteurs (27 %, 366 M€). Les coûts de construction et de jouvence n'apparaissent comme premier poste de dépense que dans un seul secteur (énergie). Le tableau 1, ci-dessous, retrace cette répartition.

Tableau n° 32 : répartition des postes de coûts des IR et TGIR par domaine scientifique

(en M€)	Système Terre et environ- nement (22 IR / TGIR)	Biologie et santé (23 IR / TGIR)	Sciences de la matière et ingénierie (15 IR / TGIR)	Physique nucléaire et hautes énergies (6 IR / TGIR)	Numérique et mathématis- ques (8 IR / TGIR)	Sciences humaines et sociales (4 IR / TGIR)	Astronomie et astrophysi- que (8 IR / TGIR)	information scientifique et technique (4 IR / TGIR)	Énergie (5 IR / TGIR)	Total
<i>Construction et jouvence</i>	15 %	6 %	24 %	22 %	14 %	0 %	27 %	0 %	33 %	16 %
<i>Investissements courants</i>	5 %	10 %	3 %	6 %	12 %	0 %	5 %	17 %	5 %	7 %
<i>Fonctionnement direct</i>	33 %	25 %	26 %	17 %	45 %	25 %	19 %	26 %	11 %	27 %
<i>Coûts indirects</i>	16 %	19 %	7 %	4 %	5 %	20 %	6 %	20 %	21 %	12 %
<i>Frais de personnel</i>	31 %	40 %	38 %	51 %	24 %	54 %	43 %	38 %	29 %	39 %
<i>Démantèlement</i>	0 %	0 %	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %	0 %
Total :	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Source : Cour des comptes à partir de données DGRI. Sur fond coloré figure le 1^{er} poste de coûts de chaque secteur

Le poids relatif de chaque secteur scientifique n'est pas proportionnel au nombre d'IR qu'il regroupe. Les **quatre secteurs totalisant les masses financières les plus importantes représentent 80 % des dépenses** pour moins de 70 % de infrastructures. Le tableau 2, ci-dessous, retrace cette répartition.

Tableau n° 33 : coûts totaux et moyens des IR par secteur

Secteur scientifique	Total des coûts (en M€)	Nombre d'IR	Coût moyen / IR (en M€)	5 IR les + importantes budgétairement / groupe (total coûts complets en M€ ; part total du secteur ; catégorie (TGIR/IR/OI))
Système Terre et environnement	319	22	14,50	1- FOF : 92 M€ (29 %) -> TGIR 2- Pôle de données : 33 M€ (10,5 %) -> IR 3- Reolnat : 32 M€ (10 %) -> IR 4- RARE : 22 M€ (7 %) -> IR 5- ANAE : 18 M€ (5,6 %) -> IR
Biologie et santé	290	23	12,61	1- FLI : 64 M€ (22 %) -> IR 2- CELPHEDIA : 44 M€ (15 %) -> IR 3- FranceGENOMIQUE : 40 M€ (14 %) -> IR 4- IFB : 19,5 M€ (7 %) -> IR 5- FBI : 19,5 M€ (7 %) -> IR
Sciences de la matière et de l'ingénierie	254	15	16,93	1- SOLEIL : 75 M€ (30 %) -> TGIR 2- ILL : 34 M€ (13,5 %) -> TGIR 3- RENATECH : 32,5 M€ (13 %) -> IR 4- Orphée/LLB : 29,5 M€ (11,5 %) ->TGIR 5- ESRF : 29 M€ (11,5 %) ->TGIR
Physique nucléaire et hautes énergies	246	6	41,00	1- CERN : 154 M€ (63 %) -> OI 2- GANIL-SPIRAL2 : 39 M€ (16 %) ->TGIR 3- CERN-LHC : 27,5 M€ (11 %) ->TGIR 4- EGO-Virgo : 8,5 M€ (3,5 %) ->TGIR 5- FAIR : 6 M€ (2,5 %) ->TGIR
Total cinq autres secteurs	256	29	8,83	1- GENCI : 48,5 M€ (46 %) -> TGIR - Numérique et mathématiques 2- RnMSH : 44 M€ (72 %) -> IR - SHS 3- ESO : 48 M€ (27,5 %) -> TGIR - Astronomie astrophysique 4- RENATER : 23 M€ (22 %) -> TGIR - Numérique et mathématiques 5- COLLEX-PERSEE : 22 M€ (94 %) - Information scientifique et technique
Total	1365	95	14,68	

Source : Cour des comptes à partir de données DGRI. Sur fond coloré figure la plus importante valeur de chaque colonne

L'analyse par secteur permet de dégager les principaux éléments suivants :

- Sur le secteur « **système Terre et environnement** », on note le **poids financiers particulier de FOF (92 M€, 29 % du total du secteur)** compte tenu de l'importance des investissements dans la construction et le renouvellement des navires et le poids très limité des autres TGIR (CEPPMT, Concordia, ECORD/IODP et ARGO) par rapport à d'autres IR considérées comme moins stratégiques (IR « Pôle de données » : 33 M€, 10 % du secteur), ce qui amène à s'interroger sur la définition des TGIR. La structure du coût complet des infrastructures du secteur est très proche de la répartition moyenne pour l'ensemble de la feuille de route, la différence majeure étant un niveau moins important de frais de personnel (32 % au lieu de 39 %, compensé par des frais de fonctionnement un peu plus importants (49 % au lieu de 40 %, en incluant les coûts indirects).
- Sur le secteur « **biologie et santé** », **une seule TGIR apparaît, EMBL**, avec un poids très **modeste** (6,5 % du total) par rapport à d'autres infrastructures, notamment l'IR FLI (imagerie scientifique, 22 %). La structure des coûts se distingue de la moyenne de la feuille de route par la valeur plus faible de l'investissement en construction et jouvence (6 % au lieu de 15 %), ce qui est logique du fait que ce secteur ne dispose pas de grosses constructions comme on peut en voir pour la physique nucléaire ou l'astronomie. Le secteur se caractérise en outre par sa main d'œuvre significative : 1 700 ETPT au total. En termes

de coût global, on retrouve le pourcentage de la feuille de route (39 % de frais de personnel) mais avec un coût par ETPT en dessous de la moyenne (60 k€ par ETPT au lieu de 67 k€), qui s'explique notamment par un recours plus important à des contrats à durée déterminée. C'est dans ce secteur que les ressources exceptionnelles sont le plus importantes, notamment en provenance du PIA qui a financé en 2016 les 16 infrastructures du domaine à hauteur de 43 M€, soit 19 % des ressources totales (232 M€). Ce programme qui a fait émerger ces infrastructures notamment avec un appel à projets qui leur était dédié en 2010, leur confère aujourd'hui une fragilité intrinsèque du fait de la non pérennité de ces financements.

Le secteur biologie et santé est également celui qui bénéficie le plus de financements de nature privée, de l'ordre de 12 M€ en 2016, en provenance notamment des industries de santé, même si cela reste très faible au regard des ressources totales, 5 %.

- Le secteur relatif aux « **sciences de la matière et ingénierie** » présente un nombre élevé de TGIR par rapport au total d'IR du secteur (6 infrastructures sur 14), qui se placent en tête en termes de budgets. Ce secteur comprend trois grosses infrastructures dont le budget est de l'ordre de la centaine de millions d'euros : SOLEIL, ILL et ESRF, les deux dernières apparaissant en retrait pour les coûts complets du fait que la France ne les finance que partiellement. Les sciences de la matière et l'ingénierie arrivent en quatrième position, avec un coût complet de 229 M€, mais il convient de noter que ce sont des IR qui desservent de très large communautés (biologistes, chimistes, physiciens...). Cela serait important à prendre en compte si l'on voulait apprécier le poids des infrastructures utilisées par chaque communauté disciplinaire. La structure des coûts fait apparaître des coûts de construction et jouvence supérieurs à la moyenne des IR (19 % contre 15 %) et des frais de personnel également supérieurs (41 % contre 39 %), ce qui peut être directement relié au statut de sociétés civiles des trois TGIR citées précédemment qui se traduit par un niveau salarial plus élevé. Le niveau limité des coûts indirects est également lié à ces grosses sociétés civiles, qui inscrivent dans leur budget la quasi intégralité de leurs coûts du fait qu'elles emploient directement leurs personnels et sont propriétaires de leurs bâtiments.

- Le secteur « **Astronomie et astrophysique** » comprend une majorité d'infrastructures internationales. Il est dominé par une organisation internationale, l'ESO (*European Southern Observatory*) qui représente à elle seule la moitié du coût complet identifié. Le poids d'ESO se reflète dans la structure du coût complet avec un niveau d'investissement élevé (30 %) qui s'explique essentiellement par la construction en cours de l'ELT (*Extremely Large Telescope*). Dans une moindre mesure, l'IRAM (institut de radio astronomie millimétrique) maintient un niveau d'investissement élevé du fait des nouvelles antennes en cours de construction. Les infrastructures d'astrophysique et d'astronomie ont le même profil que celles en sciences de la matière et ingénierie (frais de personnels au-dessus de la moyenne et coûts indirects limités), pour les mêmes raisons

- Sur le secteur « **physique nucléaire et des hautes énergies** », on note le poids particulier des dépenses de personnel (51 % du total) et le poids relativement léger des dépenses de construction, jouvence et fonctionnement. Le CERN (hors LHC) pèse à lui seul près de 63 % des dépenses du secteur. À noter qu'une majorité des infrastructures de ce secteur

sont des TGIR et **qu'ITER est sortie du périmètre de la SNIR, bien qu'il y ait été inclus jusqu'en 2012**²²¹.

Sur les ressources : 886 M€ de contributions tracées

Au global, selon l'étude, les ressources des IR/TGIR se répartissent de la manière suivante :

- Opérateurs nationaux de recherche : 56 % (dont CEA + CNRS seuls 38 %)
- PIA : 9 %
- Universités & CHU : 7 %
- État (contribution directe hors dotation opérateurs) : 4 %
- Europe : 2 %
- CPER volet collectivités territoriales : 2 %
- ANR : 1 %
- Autres : 19 % (dont secteur privé 3 %)

Les infrastructures françaises affichent 76 % de contributions « récurrentes » (financières ou en nature) et 24 % de contributions « exceptionnelles ». La structure varie fortement selon les secteurs -et entre IR au sein de chaque secteur.

L'importance des ressources non récurrentes dans les budgets des infrastructures de recherche de la feuille de route (25 % en moyenne des ressources) est un signe de leur dynamisme et de leur capacité à faire valoir leur performance dans des appels d'offre compétitifs, qu'ils soient nationaux ou internationaux. Mais un niveau élevé de ressources exceptionnelles est aussi une fragilité pour des infrastructures qui veulent s'inscrire de manière durable dans le paysage de la recherche après avoir démontré leur pertinence.

²²¹ Cf. SNIR 2012 p. 47 : « ITER est un objet unique à l'échelle mondiale pour valider la faisabilité scientifique et technologique de l'énergie de fusion par confinement magnétique. Étant donné les enjeux et le poids financier spécifique d'ITER, il n'est pas inclus dans le périmètre du Comité directeur des TGIR. »

**Tableau n° 34 : part des ressources exceptionnelles
en fonction des secteurs scientifiques (en k€)**

Les tableaux n° 34 à 40 qui suivent sont extraits de l'enquête sur les coûts complets de la DGRI

Secteur scientifique	Ressources exceptionnelles	Ressources totales	Ratio (%)
Astronomie et astrophysique	1 101	14 730	7 %
Biologie et santé	103 013	232 105	44 %
Énergie	4 661	9 046	52 %
Information scientifique et technique	228	18 904	1 %
Physique nucléaire et hautes énergies	3 140	66 402	5 %
Sciences humaines et sociales	14 954	53 632	28 %
Sciences de la matière et ingénierie	24 480	137 837	18 %
Système Terre et environnement	51 386	260 842	20 %
Numérique et mathématiques	6 014	18 133	33 %
e-infrastructures	10 596	75 014	14 %
Total	219 572	886 644	25 %

Une partie de ces ressources exceptionnelles correspond à des recettes industrielles. Quelques IR documentent en effet des montants significatifs dans la rubrique « Autres ressources propres de l'IR (prestation de service...) ». Une analyse qualitative fine des composantes de cette rubrique a été effectuée pour toutes les IR pour lesquelles elle représentait un montant supérieur à 1 M€ ou à 8 % du coût complet.

Ce sont ainsi 23 IR qui ont été contactées. Même si l'exploitation d'une rubrique aussi générique s'avère difficile, il faut noter que la plupart des prestations concernent un public académique. Les recettes générées par une utilisation industrielle des IR restent très faibles et concernent essentiellement trois domaines : la santé, l'environnement et les sciences de la matière et l'ingénierie.

En fourchette basse, compte tenu des deux critères appliqués et du manque de précision des données collectées, ce sont 24 M€ qui ont été documentés pour 2016, soit 3 % des ressources totales des IR analysées. Pour mémoire, les infrastructures en biologie santé comptent pour la moitié de ces ressources industrielles.

Les livrables proposés par la DGRI pour l'édition 2017 des coûts complets distinguent au sein des ressources propres la part du public et du privé. Les IR pourront également identifier les recettes issues de la valorisation (par exemple concession de licences). Ces améliorations permettront une analyse plus fine à l'occasion de l'exploitation des résultats du prochain exercice.

Les opérateurs de recherche

La plus grosse partie des contributions provient des opérateurs de recherche nationaux, pour un montant total de 495 M€. Cette contribution globale est répartie entre 16 opérateurs nationaux de recherche, avec des niveaux d'engagement très différents.

Avec son positionnement généraliste le CNRS apparaît naturellement comme le principal contributeur aux IR de la feuille de route nationale, avec un montant global de 230 M€ (hors TGIR sur périmètre international) et 65 infrastructures financées, sur un total de 74 pour le périmètre France.

Le CEA arrive en second, du fait de sa participation, souvent en binôme avec le CNRS dans un grand nombre d'infrastructures, qui servent de nombreuses communautés scientifiques (SOLEIL, Orphée, GENCI...).

Derrière ces deux opérateurs généralistes, apparaissent des opérateurs nationaux sectoriels, qui disposent d'une forte présence dans les IR de leur ressort : ce sont l'Ifremer, l'INRA et l'Inserm et, dans une moindre mesure, l'IPEV, l'IRD ou le CNES.

Tableau n° 35 : principaux opérateurs nationaux contribuant aux IR du périmètre français

Opérateur	Contribution (k€)	Nb total d'IR financées	Dont nombre de TGIR financées
CNRS	229 907	65	16
CEA	88 690	31	8
Ifremer	48 510	7	2
INRA	42 654	18	3
MNHN	19 397	4	0
Inserm	18 607	20	1
IPEV	13 259	4	2
IRD	9 397	15	3
CNES	8 030	8	1
Météo France	4 726	6	0
Inria	3 691	11	2
CIRAD	3 167	7	1

Les établissements d'enseignement supérieur

Les établissements d'enseignement supérieur au sens large (universités, écoles d'ingénieurs et centres hospitaliers universitaires) contribuent à hauteur de 58 M€ au financement des IR du périmètre français. Ce sont les universités qui assurent l'essentiel des contributions avec un total de 49 M€ (en incluant une contribution de 3 M€ au budget de

GENCI, versée au titre de la CPU. Les grandes écoles (6 M€) et les CHU (2 M€) contribuent de manière nettement plus modeste.

Si l'on regarde dans le détail les contributions des principales universités impliquées, on constate que beaucoup d'entre elles financent plus d'une dizaine d'infrastructures de recherche. Les universités sont rarement membres en tant que telles des IR dotées de la personnalité morale, ce rôle étant historiquement dévolu aux organismes de recherche. Les universités contribuent rarement de manière significative aux budgets récurrents. C'est donc essentiellement par des contributions en nature, hébergement et personnels mis à disposition, que les universités soutiennent, de manière très significative, les IR nationales.

Tableau n° 36 : universités les plus impliquées dans le soutien des IR

Université	Contribution (k€)	Nb total d'IR financées	Dont nombre de TGIR financées
Université Pierre et Marie Curie	3 799	17	0
Université Grenoble Alpes	2 684	15	1
Aix-Marseille Université	2 605	17	1
Université de Strasbourg	2 541	14	1
Universités de Lyon	2 113	10	1
Universités de Toulouse	1 869	15	1
Université de Montpellier	1 726	10	0
Université de Clermont Auvergne	1 637	7	0
Universités de Lille	1 596	11	0
Universités de Rennes	1 316	9	1
Université de Caen	1 178	4	1
Université Paris Diderot	1 111	10	1
Université de Bordeaux	1 032	8	1

Les autres contributeurs

Le programme d'investissements d'avenir (PIA) contribue pour 80 M€, soit 9 % des ressources des IR du périmètre français en 2016. Ainsi sur le seul périmètre « infrastructures françaises », 46 IR ont reçu des ressources exceptionnelles du PIA pour un montant de 80 M€. C'est tout particulièrement le cas du secteur « biologie et santé » avec 45 % des ressources exceptionnelles en raison du poids du PIA (20 % des ressources des IR de ce secteur, soit près de la moitié des financements du PIA à la recherche). Ce déséquilibre est considéré comme une fragilité pour les IR du secteur, souvent jeunes et nées grâce aux financements de type PIA, dont la viabilité dépend donc fortement de ressources non pérennes.

À noter toutefois que l'analyse sur ce point est tributaire de l'hétérogénéité méthodologique de comptage relevée par la DGRI, qui a conduit les infrastructures à appréhender différemment le caractère « récurrent » ou « exceptionnel » de leurs financements. Les chiffres de l'exercice 2017 devraient permettre de confirmer ou ajuster cette analyse.

Les contributions directes de l'État ne représentent que 4 % des ressources des IR du périmètre français, pour un total de 40 M€, et ne concernent qu'un nombre limité d'infrastructures, en fonction de situations particulières. La moitié de ce montant correspond aux contributions dans les infrastructures de service GENCI et Renater, dans lesquelles l'État est membre en tant que tel. D'autres contributions importantes de l'État qui ne transitent pas par des opérateurs de recherche sont par exemple la contribution du ministère de la culture à E-RIHS ou celle de la Marine nationale à FOF. Les ressources d'origine européenne apparaissent finalement assez limitées, avec 20 M€ qui ne représentent que 2 % des ressources des IR du périmètre français. Ce montant global inclut 9 M€ du PCRDT, à travers le programme H2020 et 6 M€ de fonds FEDER identifiés en 2016.

Les contributions des collectivités territoriales et des contrats de plan État-région (CPER) représentent un montant global de 15 M€, soit moins de 2 % des ressources. La moitié de cette somme provient de contributions directes des communes, départements ou région, hors CPER. Ces contributions rappellent l'importance de l'impact socio-économique des infrastructures de recherche, qui peuvent induire des effets d'entraînement économique bien visibles à l'échelle locale voire régionale.

L'ANR, enfin, a contribué en 2016 à hauteur de 9 M€ au financement des infrastructures de recherche, sous forme de petites contributions assez dispersées, hormis un soutien de 2 M€ pour RENATECH ou une contribution du même ordre de grandeur pour France Life Imaging.

La catégorie « autres » représente un ensemble disparate de 169 M€. Elle inclut quelques grosses contributions ponctuelles qui n'entraient pas dans les catégories précédentes, comme 11 M€ de la Caisse nationale d'assurance maladie pour Constances ou la dotation de 9 M€ de la fédération nationale des maisons des sciences de l'Homme à RnMSH. Cette catégorie inclut aussi les ressources propres issues de prestations, et notamment les ressources industrielles des infrastructures de recherches, dont le montant est de 24 M€ *a minima*.

Bilan sur les emplois

Les dépenses salariales identifiées correspondent au montant cumulé des équivalents temps plein travaillé (ETPT) dédiés au fonctionnement des IR nationales (391 M€), additionné à la quote-part françaises des infrastructures et organisations internationales (133 M€).

Pour les infrastructures du périmètre français, le personnel identifié pour le fonctionnement représente 5 851 ETPT. Par ailleurs, les 7 089 ETPT indiqués sur un périmètre international se ramènent à 1 067 ETPT financés par la France, si l'on applique pour chaque IR le pourcentage de la contribution française. Cela représente donc en tout 6 918 ETPT consacrés au fonctionnement des infrastructures de recherche françaises ou en part française.

Quatre IR font état d'un nombre d'ETPT supérieur à 300, mais avec des profils très différents. RnMSH, le réseau des maisons des sciences de l'Homme, regroupe une vingtaine de sites avec leurs ressources et leur personnel dédié. Deux IR du secteur bio-santé ressortent : Celphedia, qui concentre de forts moyens techniques et humains autour de la souris et FLI,

regroupement de plateformes d'imagerie médicale à travers la France. Dans un cas, la société civile du synchrotron SOLEIL, un nombre élevé d'ETPT correspond à un ensemble à gouvernance unique.

Tableau n° 37 : IR faisant apparaître le plus grand nombre d'ETPT

IR	Nb ETPT	Secteur
RnMSH	450	SHS
Celphedia	388	Bio-santé
SOLEIL	359	SMI
FLI	314	Bio-Santé

Les 1 067 ETPT (après proratisation) identifiés sur le périmètre international sont presque tous employés directement sous contrat à durée indéterminée par les TGIR ou les OI concernées. Ils bénéficient des conventions collectives en vigueur dans ces infrastructures et, dans certains cas, des fonds de pensions spécifiques et des avantages associés à l'expatriation.

On peut analyser plus finement la situation statutaire des 5 851 ETPT relevant des IR du « périmètre France ». Une petite part d'entre eux relève de la situation précédente (pour les quelques IR internationales pour lesquelles les données sont au périmètre français, comme CFHT ou HESS). Ces personnels sont directement salariés par l'infrastructure.

Quelques IR françaises dotées de la personnalité morale emploient également directement leurs personnels. C'est le cas des sociétés civiles SOLEIL (340 ETPT) et GENCI (16) ou du GIP Renater (50).

Certaines infrastructures ayant un statut d'unité de recherche ou de service, comme le LNCMI (71 ETPT) ou le CC-IN2P3 (62 ETPT), ont considéré comme « personnel directement employé », des agents d'un organisme de recherche affectés spécifiquement à l'IR. Cette interprétation est erronée ce qui surestime d'environ 1/3 les chiffres du tableau ci-dessous.

Tableau n° 38 : personnel « directement employé » par des IR (périmètre France)

Employés directement par les IR	ETPT
CDI	551
CDD	94
Total	645

Concrètement, la très grande majorité des personnels qui assurent le fonctionnement des infrastructures nationales sont des agents affectés à cette mission ou mis à disposition par les organismes de recherche, universités ou autres établissements. Cela représente 3 900 ETPT environ (après déduction des 551 CDI « directement employés » par les IR).

Tableau n° 39 : répartition du nombre d'ETPT

Catégorie de personnel	ETPT
CDI ou fonctionnaires	4 450
CDD sur financement récurrent	579
CDD sur projet	822
Total ETPT « périmètre France »	5 851

La proportion de personnels en contrat à durée déterminée (CDD) est de 24 % sur l'ensemble du périmètre France. Ce ratio élevé traduit notamment la possibilité d'une implication de doctorants ou post-doctorants dans le fonctionnement de certaines IR. Il découle aussi directement du recours à des financements sur projet, non récurrents, pour lesquels les infrastructures ne peuvent recruter que des CDD : 822 ETPT, soit 14 %, sont des CDD sur projet.

Cette proportion peut être sensiblement différente pour les secteurs dans lesquels les infrastructures sont plus récentes. En biologie et santé, par exemple, les CDD sur projet représentent 25 % des ETPT.

Le coût moyen par ETPT pour les infrastructures sur périmètre français est de 67 k€. On retrouve là de manière logique l'ordre de grandeur du coût salarial des chercheurs et techniciens de statut public, légèrement tiré vers le bas du fait que la moyenne calculée inclut une proportion significative de CDD.

La majorité des IR du périmètre français fait apparaître un coût par ETPT proche de cette valeur moyenne, ce qui apparaît cohérent puisque la plupart des agents qui les maintiennent en opérations sont de statut public. Les sociétés civiles ou autres IR qui disposent d'une personnalité morale et recrutent directement leur personnel sous des contrats relevant du régime privé (comme GENCI ou le synchrotron SOLEIL) affichent un coût par ETPT sensiblement au-dessus de cette valeur moyenne. Ainsi, la TGIR-GENCI travaille dans le domaine économique du numérique de pointe (HPC, Big Dat et IA), qui est un secteur en très forte tension actuelle sur le marché de l'emploi ce qui a une répercussion immédiate sur les salaires d'attraction des cadres de haut niveau à recruter à GENCI.

Pour les IR internationales, le coût par ETPT s'élève à 136 k€, le double du montant constaté pour les IR nationales. Cette valeur moyenne recouvre de fortes disparités entre les TGIR internationales, dont le coût moyen par ETPT est du même ordre de grandeur que celui de la société civile du synchrotron SOLEIL, et les organisations internationales qui font apparaître des coûts par ETPT pouvant être sensiblement plus élevés.

Tableau n° 40 : Coût moyen par ETPT des TGIR internationales et des OI

IR	Catégorie	Nombre d'ETPT	Coût moyen/ETPT (k€)
EGO-Virgo	TGIR	107	64
IRAM	TGIR	110	71
ESRF	TGIR	683	82
ILL	TGIR	522	86
EMBL	OI	1 563	88
ESO	OI	687	114
CEPMMT	OI	344	118
CERN	OI	3 074	192

Pour l'ESO, le coût moyen affiché résulte d'une moyenne entre le coût par ETPT des personnels de statut international et celui du personnel local et des étudiants, sensiblement inférieur. Le CERN, enfin, tire la moyenne vers le haut avec un effectif important et un coût moyen par ETPT estimé à 192 k€ en 2016, sur la base d'un taux de change de 1,095 franc suisse pour 1 euro.

De manière générale, le caractère international ou national et le statut juridique sont les deux paramètres déterminants pour les coûts de personnel des IR.

Le statut international tire politiquement les coûts vers le haut pour permettre de recruter auprès de l'ensemble des pays membres. Ce mécanisme est en outre renforcé par le poids du fonds de pension dans le cas du CERN, alors que l'exemple d'ESO montre que les OI créées postérieurement aspirent naturellement à bénéficier de conditions alignées sur celles du CERN.

Sur le périmètre français, les TGIR créées sous forme de sociétés (SOLEIL, GENCI) ont des coûts significativement plus élevés que les infrastructures non dotées de la personnalité morale.

Si l'on considère que les dépenses de personnel représentent 39 % du coût complet des infrastructures de recherche, on mesure à quel point les choix statutaires initiaux peuvent peser sur les besoins budgétaires à long terme d'une IR, et donc sur la capacité du dispositif des infrastructures de recherche à s'installer dans la durée.

Annexe n° 13 : la question de la tarification

I – Principes généraux

Il s'agit d'une logique spécifique visant à pouvoir demander à l'utilisateur une contrepartie à l'usage de l'infrastructure. Si le principe général est bien celui de la « science ouverte », cet accès ouvert ne signifie pas nécessairement accès gratuit. Ainsi la loi du 7 octobre 2016 sur la République numérique distingue l'accès aux données qui est gratuit du traitement des données qui lui ne l'est pas. En ce qui concerne l'accès à l'infrastructure, il est fondé sur l'excellence scientifique du projet de recherche qui est évalué par des comités d'experts indépendants. Il faut, enfin, distinguer les partenariats scientifiques qui impliquent des industriels, où le critère essentiel qui définit les conditions financières d'accès est la publication des résultats des expériences. Ainsi, si un partenaire académique réalise une expérience, au sein d'une infrastructure en relation avec un industriel, le principe de gratuité s'appliquera si les résultats sont publiés. A l'inverse, la règle affichée, en vertu des règles sur les aides d'État, par les structures nationales ou internationales, est que les industriels doivent payer l'utilisation des machines à leur coût complet pour toute utilisation dont les résultats doivent rester confidentiels (comme les utilisateurs industriels ne faisant pas partie d'une collaboration académique ou des utilisateurs souhaitant de manière ponctuelle un accès accéléré à certaines installations).

Il y a cependant une concurrence effective avec les sources nationales étrangères, illustrée ci-dessous pour les centres de neutronique :

- la source de neutrons ISIS au Royaume-Uni est gratuite ; les industriels ne paient après avoir réalisé des expériences que s'ils veulent garder les résultats confidentiels, avec la conséquence que les industriels y travailleraient plus que dans d'autres centres (les chiffres ne sont cependant pas disponibles), mais qu'ils publient la plupart de leurs résultats, engendrant finalement une ressource budgétaire aussi limitée que dans les autres centres ;
- la source de neutrons FRM-II en Allemagne privilégie des contrats de co-développement avec des industriels, ce qui contribue au développement de l'installation et de son utilisation par des industriels.

Cet exemple illustre la difficulté de la comparaison des tarifs entre différentes infrastructures. Des missions d'étude aux États-Unis, au Japon, etc. ont conclu (dans un rapport interne d'ILL) que la facturation du temps de faisceau aux industriels, dans tous les pays, est une activité faiblement rémunératrice pour les centres de neutronique.

II – L'exemple français

Dès 2011, le Conseil supérieur de la recherche et de la technologie notait une très grande disparité des pratiques en matière de tarification selon les secteurs scientifiques. Il préconisait de maintenir la gratuité de l'accès pour les utilisateurs du monde académique tout en les informant du coût d'usage dès le dépôt de la demande, et d'engager une réflexion sur la détermination et la tarification des coûts d'accès pour les entreprises.

La DGRI a récemment nommé un conseiller « Science ouverte » et constitué un groupe de travail pour tenter de dégager des règles communes. Cette démarche n'est rendue possible

que si l'on dispose de chiffres fiables sur les coûts complets. À cet égard, l'exercice lancé en 2016 doit donc être poursuivi et approfondi. Pour autant, il ne saurait déboucher directement sur une tarification. En effet, le financement et l'utilisation des IR/TGIR relèvent de mécanismes divers et parfois complexes. Il est délicat d'imposer une règle unique. Par exemple, il est possible d'imaginer des coopérations autour d'une IR/TGIR qui relève d'un réel partenariat scientifique et dont le but ultime ne soit pas la simple obtention de crédits. C'est le cas pour FOF où des coopérations relèvent de travaux en partenariat. Dès lors, dans ce cadre, l'idée d'une tarification systématique sur des bases de coûts complets ne semble pas complètement adaptée. Une approche par coût marginal pourrait être plus pertinente.

L'objectif de la DGRI est de créer un guide juridique de référence pour les partenariats industriels, en évitant le dumping et en établissant des règles harmonisées entre opérateurs. Il s'agit de professionnaliser la mise en place des tarifs. Ce guide serait du reste utile pour les différentes plateformes hors IR et TGIR. L'objectif affiché à ce jour est d'avoir un premier document de travail à l'été 2019, qui circulera entre opérateurs et s'affinera peu à peu tout en acquérant une meilleure légitimité.

L'alliance AVIESAN a également travaillé sur le sujet. Ainsi, une charte AVIESAN sur la tarification avait été produite en 2012, mais sa mise à niveau pour tenir compte de l'évolution des calculs des coûts complets, n'avait pas abouti. Si le travail engagé à l'époque était certainement prématuré, les acteurs aujourd'hui sont tous convaincus de la nécessité de disposer de méthodes concertées.

Des infrastructures ont également commencé à travailler, en ordre dispersé, sur ce sujet. Ainsi, Huma-Num, qui n'applique pas de tarification pour ses services proposés aux utilisateurs issus de l'enseignement supérieur et de la recherche français, a néanmoins mis en place une politique de tarification pour les cas où il est nécessaire de mettre en place un co-financement :

- dispositif de stockage de très grande capacité (pour des fonds de bibliothèques universitaires) : exemple avec « La Contemporaine » (ex. BDIC) pour leurs fonds numériques dédiés à la recherche SHS ;
- infrastructure pour un établissement de l'ESR (ex. Campus Condorcet).

Une réflexion est également engagée pour les utilisateurs partiellement hors du périmètre initial (projets interdisciplinaires au-delà des SHS, projets impliquant des structures du Ministère de la Culture), ou les utilisateurs internationaux.

Plusieurs cas peuvent être analysés (exemple des domaines de la physique nucléaire et des sciences de la matière) :

a) L'utilisation par les industriels est réalisée de manière assez variable : il existe, dans quelques cas des lignes spécifiques (GANIL, ILL), mais d'autres, conçues pour des expériences de recherche académique, sont également utilisées. Il n'y a pas de ligne spécifique à SOLEIL ni à ESRF. Pour les TGIR internationales du domaine, les lignes sont réservées aux utilisateurs des pays contribuant financièrement à l'investissement et au fonctionnement. Il existe, cependant, un volume restreint de l'ordre de 5 à 10 % du temps de faisceau qui peut être facturé.

b) En ce qui concerne la recherche académique, dans toutes les TGIR de rayonnement synchrotron et de neutrons, l'utilisation du temps de faisceau à des fins liées à la recherche publique est gratuite indépendamment de la nationalité des chercheurs. Ce n'est d'ailleurs pas

tant sur le coût d'utilisation que les accès à ces TGIR peuvent être comparés, mais plutôt sur le financement des missions. L'hébergement est généralement gratuit. En revanche, la prise en charge des frais de voyage, source de coûts importants, est assez variable et il peut exister une certaine compétition entre les installations à travers les règles de financement des frais de mission, même si le contexte est assez semblable d'une installation à une autre.

c) Pour les chercheurs étrangers, la réponse est différente selon les TGIR concernées, les principales caractéristiques des TGIR des secteurs de la physique nucléaire et des sciences de la matière sont donc les suivantes :

- ESRF : les seuls chercheurs que l'on puisse considérer comme « étrangers » sont ceux venant des pays tiers, soit les pays qui ne sont ni membres, ni associés à ESRF. On peut alors considérer que ces chercheurs viennent à ESRF pour des raisons essentiellement liées à la qualité des installations et à la performance, souvent unique, des instruments. Pour ESRF, tous les États membres et associés ont les mêmes conditions d'utilisation des installations. Dans la mesure où il n'y a pas d'autres synchrotrons internationaux, on ne peut pas parler d'une quelconque réciprocité ;

- SOLEIL : concernant l'attractivité de SOLEIL ses coûts sont sensiblement équivalents entre les différentes installations. Il n'existe pas de réciprocité formelle ; toutefois, à titre d'illustration, les Allemands sont les premiers utilisateurs « étrangers » de SOLEIL, et les français sont les premiers utilisateurs « étrangers » au laser à électrons libre FLASH à Hambourg ;

- ILL : la demande des chercheurs « étrangers » est principalement motivée par la performance et le caractère unique de l'infrastructure, la qualité des services, ainsi que par la disponibilité de temps de faisceau, dans un contexte de compétition scientifique. Les centres de neutrons essaient donc d'attirer les meilleurs projets scientifiques. Les chercheurs, de leur côté, tentent d'obtenir les meilleurs outils d'investigation auprès de ces centres. Concernant la réciprocité, il est important de préciser que plus de 90 % des neutroniciens d'Europe font partie des pays membres d'ILL et qu'il n'y a que très peu d'autres centres de neutrons dans ces pays. L'équité est intégrée dans le modèle économique d'ILL avec une contribution correspondant à la part d'utilisation. En outre, ce modèle économique qui prévoit que les membres financent, par l'intermédiaire de leurs contributions, les frais de mission des chercheurs, peut présenter un avantage pour les équipes de chercheurs des pays membres ;

- Orphée/LLB : concernant les pays disposant de sources de neutrons de qualité similaire à Orphée ou meilleure, les chercheurs de LLB les utilisent régulièrement et gratuitement sur le même principe que l'accès à Orphée pour les chercheurs étrangers. Ces sources de neutrons ont assuré au CEA qu'elles continueraient à accueillir les équipes CEA, après l'arrêt d'Orphée fin 2019. Concernant les pays de l'UE et associés à l'UE ne disposant pas de sources de neutrons, depuis 1993, LLB, ainsi que toutes les autres sources de neutrons de l'UE, ont participé aux différents programmes européens qui ont été montés pour financer l'accès aux neutrons pour les chercheurs de pays ne disposant pas de source de neutrons. Ces programmes, arrêtés en 2015, ont permis à des équipes de ces pays de mener des recherches au meilleur niveau. Depuis 2015, comme le pratique le CEA, les autres sources de neutrons de l'UE continuent à leur attribuer du temps de faisceau sur la base de l'excellence de leurs demandes ;

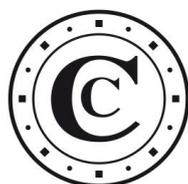
- GANIL : La demande des chercheurs étrangers est liée à la qualité de GANIL et à ses spécificités uniques, en termes de faisceaux, et détecteurs de dernière génération. L'ensemble

des installations dans le monde en physique nucléaire (RIBF/RIKEN au Japon, GSI/FAIR en Allemagne, MSU aux États-Unis, LNL/SPES en Italie...) sont sur le même modèle, avec un temps de faisceau pour la recherche académique gratuit.

Au total, la tarification doit tenir compte de quelques éléments-clés : le chercheur, d'abord, qui est attiré par la qualité (spécificités et excellence techniques) d'une infrastructure et du service qu'il peut y trouver mais aussi, et dans un rapport difficile à évaluer, par le prix d'accès à cette infrastructure.

La définition d'une infrastructure de recherche constitue le deuxième point-clé. Il est sans doute illusoire de penser que la tarification des services d'une infrastructure de recherche pourra un jour constituer une partie importante de leurs ressources, sauf à ce que cette infrastructure ne soit plus consacrée à la recherche mais à des prestations de service industriels. Une infrastructure comme SOLEIL obtiendrait actuellement 4 à 5 % de ses ressources de la tarification et selon la DGRI, 10 % serait un maximum si l'on souhaite rester dans l'épure. Enfin, il convient de pratiquer des tarifs d'accès aux industriels qui respectent le cadre des règles de concurrence européennes.

Cour des comptes



LE PILOTAGE ET LE FINANCEMENT DES TRÈS GRANDES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE

Cahier complémentaire par grand domaine de
la recherche

Mai 2019

Sommaire

CHAPITRE I LE DOMAINE DU NUMÉRIQUE	5
I - DES ENJEUX NUMÉRIQUES MAJEURS ET TRANSVERSAUX.....	5
II - LES DEUX TGIR DE LA FEUILLE DE ROUTE	8
A - GENCI (Grand équipement national de calcul intensif) et l'écosystème national du calcul	8
B - RENATER (réseau national de communications électroniques pour la technologie, l'enseignement et la recherche).....	11
III - ACCOMPAGNER ET ANTICIPER LES ÉVOLUTIONS À VENIR	15
A - L'intelligence artificielle (IA).....	15
B - Vers l'Exascale et le calcul quantique.....	16
C - Le défi de la donnée, accès et management	16
IV - DES PROGRAMMES EUROPÉENS STRUCTURANTS, DES DÉFIS FINANCIERS POUR LA FRANCE	17
A - PRACE	17
B - EuroHPC (<i>High Performance Computing</i>).....	18
C - Le portail EOSC (<i>European Open Science Cloud</i>).....	19
CHAPITRE II LES TGIR ET OI EN PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET DES HAUTES ÉNERGIES (CERN, GANIL, FAIR, EGO-VIRGO).....	21
I - LA PHYSIQUE NUCLÉAIRE (GANIL ET FAIR) : DES PROJETS QUI CONNAISSENT D'IMPORTANTES RETARDS	21
A - GANIL.....	21
B - FAIR	26
II - LA PHYSIQUE DES HAUTES ÉNERGIES (CERN-LHC)	27
A - La principale infrastructure de recherche européenne	27
B - Les équipements actuels, prévus et envisagés.....	29
III - LES ONDES GRAVITATIONNELLES : EGO-VIRGO.....	31
CHAPITRE III LES TGIR ET OI EN SCIENCES DE LA MATIÈRE (ILL, ORPHÉE/LLB, ESS, ESRF, SOLEIL, E-XFEL) ET ELI.....	33
I - LES SOURCES DE NEUTRONS.....	33
A - L'Institut Laue-Langevin (ILL)	34
B - Orphée/LLB	36
C - La future source de neutrons en Suède : ESS.....	38
D - Une question essentielle, l'évolution des capacités de production de neutrons en Europe.....	39
II - LES SOURCES DE PHOTONS.....	40
A - Le synchrotron ESRF.....	41
B - Le synchrotron SOLEIL.....	42
C - Le nouveau laser à électrons libres en Allemagne : E-XFEL.....	44
III - LA POLITIQUE FRANÇAISE DANS LE CAS DES LASERS À FORTE PUISSANCE	45

CHAPITRE IV LES TGIR DU DOMAINE « SYSTÈME TERRE ET ENVIRONNEMENT », DES INFRASTRUCTURES COMPLÉMENTAIRES.....	47
I - FOF.....	48
A - Présentation générale de la TGIR	48
B - Des partenariats fructueux entre des acteurs relevant de tutelles ministérielles différentes : les TAAF et la Marine nationale.....	48
II - LES AUTRES TGIR ET OI DU DOMAINE « SYSTÈME TERRE ET ENVIRONNEMENT ».....	58
A - Organisation internationale : le CEPMMT	58
B - TGIR ICOS France	59
C - TGIR ECORD/IODP	60
D - TGIR Concordia	60
E - TGIR EURO-ARGO (structure labellisée ESFRI).....	61
CHAPITRE V LES TGIR DU DOMAINE « SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES » : DE « PETITES » TGIR AU CARACTÈRE STRUCTURANT.....	63
I - HUMA-NUM : UNE OFFRE DE SERVICE LARGEMENT ACCESSIBLE MAIS DONT L'ORIGINALITÉ RESTE PEU VISIBLE, DES SERVICES PERFORMANTS AVEC UN RISQUE D'ENGORGEMENT ET DE RÉPONSES UNIQUEMENT TECHNOLOGIQUES	64
A - Éléments de contexte	64
B - Missions de la TGIR	65
C - Les principales réalisations de la TGIR	66
D - Les perspectives	69
II - PROGEDO : UNE TGIR À CONSOLIDER.....	72
A - Présentation de la TGIR.....	72
B - Les défis	74
CHAPITRE VI LES TGIR DU DOMAINE « ASTRONOMIE ET ASTROPHYSIQUE » : DES INSTRUMENTS COÛTEUX LARGEMENT MUTUALISÉS AU NIVEAU EUROPÉEN ET INTERNATIONAL	77
I - VERS DES UTILISATIONS COMMUNES D'IR.....	78
II - ESO ET ALMA.....	79
A - ESO.....	79
B - ALMA.....	80
III - LA STRATÉGIE FRANÇAISE.....	81
IV - LE CFHT : TÉLESCOPE INTERNATIONAL (FRANCE, CANADA, ÉTATS-UNIS)	82
V - L'IRAM : INSTITUT DE RADIOASTRONOMIE MILLIMÉTRIQUE	84
VI - LE CHERENKOV TELESCOPE ARRAY (CTA)	85
CHAPITRE VII LA BIOLOGIE SANTÉ.....	89
I - ABSENCE ACTUELLE DE TGIR, FORTS ENJEUX DU SECTEUR.....	89
II - LES FINANCEMENTS DU PIA.....	91
A - Santé biotechnologie (PIA 1).....	91
B - Equipex (PIA 1 et 2)	92
C - La question du financement des infrastructures « biologie-santé » à la fin des financements PIA 1 et 2	93
III - EMBL (EUROPEAN MOLECULAR BIOLOGY LABORATORY)	93
CHAPITRE VIII ITER.....	97

Chapitre I

Le domaine du numérique

I - Des enjeux numériques majeurs et transversaux

Toutes les disciplines aujourd'hui – demain encore plus – recourent au calcul intensif et ont besoin de stockage et de transport de données, avec quelques « gros consommateurs » comme les sciences de la terre (notamment la climatologie), la physique et l'astrophysique, la chimie, la médecine et les sciences humaines et sociales.

Le calcul intensif ou calcul haute performance (HPC) est utilisé pour repousser les limites de la connaissance en recherche fondamentale et appliquée, pour fournir des outils de décision notamment en temps de crise (*urgent computing*) ainsi que pour accélérer et optimiser la conception, la fabrication, la maîtrise des risques (naturels et industriels, épidémiologiques, de sécurité et défense). Il a déjà permis des avancées majeures dans toutes les sciences.

La puissance de calcul doit impérativement s'accompagner de la capacité à stocker¹ les données de calcul et d'expériences, à les traiter, à les transporter, à relier ces capacités entre elles. Les coûts de construction et d'exploitation d'e-infrastructures, outre la machine elle-même, comprennent les logiciels et composants, les équipements (électriques, hydrauliques,...) ainsi que leur maintenance globale et leur révision (au minimum tous les cinq ans).

Aux enjeux proprement numériques s'ajoutent ceux de l'accès aux données, de la recherche d'économies énergétiques (compte tenu des coûts financiers et environnementaux des travaux numériques) et de compétences humaines.

Le cadre européen présent dans toutes les TGIR est particulièrement prégnant dans le numérique qui requiert des anticipations difficiles, des investissements lourds et qui est confronté à des innovations, voire des ruptures technologiques, permanentes nécessitant des capacités toujours plus grandes. Ce cadre est très structurant pour l'offre de calcul, établissant des hiérarchies de puissance de machines au niveaux européen, national et régional selon leur catégorie Tier². Cette présence s'exerce via plusieurs directions et de nombreux programmes de la Commission, dont la lisibilité est réduite. Elle se structure progressivement face à la concurrence particulièrement forte des deux chefs de file mondiaux, la Chine et les États-Unis.

¹ Il existe trois niveaux de stockage : des calculs et expériences, des résultats et l'archivage de longue durée, rendu indispensable dans la politique d'*open data* et qui pour certaines disciplines impliquent des capacités gigantesques.

² Il existe pour les supercalculateurs une échelle reconnue dite « Tier » : Tier-0 pour les machines de niveau mondial et européen, Tier-1 pour les centres nationaux et Tier-2 pour les centres régionaux.

La compétition sino-américaine pour le plus puissant supercalculateur

Le nouveau supercalculateur américain Summit, construit par IBM, avec une puissance de 122,3 pétaflops³, domine largement les autres. Le chinois, le *Sunway TaihuLight*, construit par le *National Research Center of Parallel Computer Engineering & Technology* (NRCPC) est à 93 pétaflops mais il est (pour la première fois) totalement fabriqué en Chine.

La Chine, les États-Unis et le Japon sont engagés dans une course de vitesse pour produire les premiers systèmes exaflopiques. Aux États-Unis, les domaines de la simulation numérique et du calcul intensif sont historiquement stratégiques et très soutenus financièrement par les agences gouvernementales, qu'il s'agisse de recherche civile ou militaire, une des spécialités de la DARPA étant de se concentrer sur des projets de recherche à haut risque d'échec, avec des études très en amont de toute application. Le programme NSCI (*National Strategic Computing Initiative*) a été décidé par décret présidentiel en août 2015, pour accélérer le développement et le déploiement de technologies HPC américaines de prochaine génération. Les États-Unis ont alors mis en place un plan de 5 Md\$ sur dix ans, augmenté de 1,8 Md\$ en avril 2018. Il faut y noter le rôle essentiel aux États-Unis du département de l'Énergie, qui devrait héberger la machine autour de 2021.

La Chine fixe dans le cadre de son 13^e plan quinquennal des stratégies de leadership en matière de HPC, d'intelligence artificielle, de calcul quantique et de réseau de communication. Cette volonté gouvernementale a été galvanisée par l'embargo imposé en 2013 par les États-Unis sur certaines technologies HPC dont les processeurs avancés d'Intel. La Chine annonce sa première machine exaflopique en 2019/2020.

Deux préoccupations sont exprimées par de nombreux acteurs : la première est celle de la sécurité et de la souveraineté des États et de l'UE, du fait des grands acteurs internationaux privés, qui disposent de gigantesques capacités de calcul et de stockage qu'ils proposent aux communautés scientifiques européennes, qui les utilisent déjà. La seconde est celle de la dépendance et de la perte en ligne dans la chaîne de valeur, du fait de la nécessité pour les infrastructures européennes de recourir à des composants que l'UE ne fabrique plus (notamment microprocesseurs et cartes).

³ Le pétaflop est une mesure de traitement de données de l'ordre du million de milliards d'opérations par seconde. L'exaflop, prochaine étape, relève du milliard de milliards d'opérations par seconde. L'exascale signifie le niveau exa (par différence avec le niveau péta).

Le classement par puissance de calcul

Le dernier classement des 500 supercalculateurs les plus puissants au monde, publié en novembre 2018⁴, confirme la prééminence des États-Unis (et d'IBM, soutenu notamment par le DoE, *Department of Energy*) et de la Chine en matière de supercalculateurs. En 2001, la Chine était totalement absente du classement. En novembre 2018, les États-Unis reprennent le premier et le second rang et occupent cinq des dix premières places en matière de capacité d'une machine, la Chine prenant les 3^e et 4^e places. Au 5^e rang figure la Suisse, dépassant le Japon qui passe au 7^e, l'Allemagne figurant au 9^e, l'Italie au 15^e, le premier français, le TERA 1000 du CEA (applications militaires), construit par Atos, au 16^e. Le deuxième français est celui de Total, au 34^e rang tandis que le Joliot-Curie de GENCI (également construit par ATOS) arrive au 40^e. Les rangs français déclinent par rapport à juin 2018 tandis que la place des États-Unis s'accroît très sensiblement. Il est également intéressant de regarder la puissance globale d'un pays en matière de calcul. En France, les 18 systèmes répertoriés devraient permettre d'atteindre environ 25 pétaflops en 2019 ou 2020 (hors applications militaires). GENCI offrira de son côté 20 pétaflops au cours de la même période. À travers l'organisation européenne PRACE, les États européens disposent ensemble d'une puissance de calcul de 110 pétaflops et les États-Unis de 200 pétaflops.

Nos partenaires européens poursuivent aussi nationalement des efforts considérables. Le Royaume-Uni a fait du calcul haute performance et de la simulation numérique des thèmes majeurs de sa stratégie nationale de recherche, en portant l'accent sur la fouille massive des données et des bases de données (*data mining*). En Allemagne, la nouvelle stratégie Hi-Tech de 2014 considère le calcul intensif et la simulation numérique comme des domaines centraux et a désigné le GCS (*Gauss Center for Supercomputing*), équivalent de GENCI, comme son représentant national avec mission de fournir les meilleurs systèmes HPC dans les trois centres de calcul qu'il coordonne et de proposer une offre de formation.

GENCI estime que l'investissement français en calcul intensif est de l'ordre de la moitié de ce que dépense l'Allemagne. Selon la TGIR, les efforts cumulés ces dernières années ont cependant permis à la France de revenir dans le peloton de tête européen. Le décrochage de 2007 a été rattrapé mais les prochaines échéances technologiques en renouvellent le risque, cette fois tant au niveau français qu'europpéen.

Les programmes de calcul intensif de quelques pays européens

Selon GENCI, la puissance de chacun des supercalculateurs allemands équivaut quasiment à lui tout seul à la capacité totale offerte par GENCI sur les trois centres nationaux. En outre, GCS s'est vu charger en 2008 d'étendre son champ d'action à la coordination des moyens de calcul dits Tier-2, regroupés dans Gauss Allianz depuis 2008 et mis à disposition par des centres régionaux ou thématiques de calcul. Le BMBF (ministère fédéral de la recherche) et les *Länder* allemands concernés (Bavière, Bade-Wurtemberg et Rhénanie-Westphalie) ont voté un budget complet (investissement et fonctionnement) de l'ordre de 550 à 600 M€ pour GCS pour la prochaine 2017-2021, soit environ un peu plus de 110 M€/an.

⁴ <https://www.top500.org/lists/2018/11/>

Le traitement des données est également au cœur du projet de radiotélescope SKA (*Square-Kilometer Array*) pour lequel le Royaume-Uni a investi 11 M£ (soit environ 13,2 M€) en 2013. Une refonte des capacités de traitement du réseau JANET (l'équivalent de RENATER en France) est également en cours. Le total de ces investissements avoisine un montant de 800 M£ (soit environ 930 M€), entre 2015 et 2020, soit environ 155 M€/an.

L'Espagne a investi 34 M€ dans un supercalculateur de niveau européen (Tier-0) qui a été installé en avril 2017 dans le cadre de la fin de l'engagement espagnol dans la première période de PRACE (2010-2016) et l'Italie vient d'investir 26 M€ dans une machine Lenovo nommée Marconi qui, au total, pour sa première tranche, délivrera une vingtaine de pétaflops.

II - Les deux TGIR de la feuille de route

Deux TGIR figurent dans ce secteur : GENCI, pour le calcul intensif et le stockage de données, et RENATER pour le transport de données.

L'organisation française actuelle en matière de calcul se présente comme une pyramide, avec schématiquement, au sommet, des supercalculateurs nationaux de niveau européen et mondial, comme ceux de la TGIR GENCI, puis, au milieu, des centres de calcul dits mésocentres, en principe plus modestes et de niveau régional (niveau qui cependant compte aussi des machines de puissance nationale), et, à la base, une myriade d'équipements de calcul répartis dans les laboratoires.

A - GENCI (Grand équipement national de calcul intensif) et l'écosystème national du calcul

La TGIR GENCI, société civile dont l'État détient 49 % du capital, le CEA et le CNRS chacun 20 %, les universités 10 % et l'INRIA 1 %, a été créée en 2007 pour pallier le décrochage en calcul des années 2000 constaté en 2005⁵. Sa création a permis de multiplier la puissance de calcul française par 80 en cinq ans, selon le HC-TGIR⁶. Sa mission de base est triple : acquisition de moyens de calcul, diffusion de la culture de simulation numérique et représentation de la France au niveau européen. Ses orientations stratégiques ont été actées dans un plan stratégique 2012-2020, actuellement en cours d'actualisation, le nouveau plan devant être approuvé au conseil du 9 avril 2019.

Cette TGIR est en charge de la mise en œuvre de la stratégie nationale d'équipement en moyens de calcul intensif et de stockage de données computationnelles⁷, au bénéfice de la communauté de recherche ouverte nationale. GENCI fournit des services à des équipes de recherche implantées le cas échéant dans d'autres TGIR et IR, notamment celles du système Terre, de la climatologie, de l'astronomie et de l'astrophysique. Les IR France Grilles et CC-IN2P3 apportent de leur côté une offre de calcul distribué à des centaines d'utilisateurs de différentes communautés et d'hébergement de grands volumes de données.

⁵ Rapport Héon et Sartorius de 2005.

⁶ Rapport de 2014 sur le calcul intensif.

⁷ Traitement des données par la simulation et la modélisation.

GENCI n'était pas à l'origine dirigé vers l'activité de stockage, mais s'est vu attribuer cette mission spécifique en 2016, via un changement de statuts et à la suite d'une recommandation du CODORNUM. Elle était assortie d'un financement du PIA2, décidé en 2015 et déclenché en 2017⁸. GENCI stocke des données de calcul, partagées entre les machines du CEA et d'IDRIS pour les données à long terme.

GENCI fournit une offre de calcul à haute performance via les investissements dans les supercalculateurs nationaux destinés à la recherche publique civile qu'il coordonne et réalise. Chaque année, il distribue des heures de calcul à environ 600 projets, dont 15 % sont issus du monde industriel. Ces créneaux sont ouverts aux communautés de recherche ouverte académique et industrielle, directement ou en partenariat avec les industriels, par sélection d'appels à projets sur des critères d'excellence scientifique. Les heures de calcul sont gratuites sous condition d'une obligation de publication de résultats dans une période d'un an. Il ressort de ses mesures de fréquentation qu'il reçoit plus de demandes d'heures de calcul que ses moyens ne lui permettent d'en fournir, le rapport (ou « taux de pression ») étant de 2 à 3, sachant qu'il est probablement supérieur mais que le système s'autorégule par la sélection des demandes réalistes.

Ses « machines » (dont il est propriétaire) sont au nombre de quatre et situées dans trois centres de calcul qui relèvent eux-mêmes d'autres opérateurs. La répartition des tâches est complexe entre eux, le CEA et le CNRS se positionnant dans une relation où GENCI achète et entretient les équipements tandis qu'eux-mêmes les opèrent. Ces supercalculateurs sont ceux du TGCC, opéré par le CEA à Bruyères-le-Châtel (Essonne)⁹, de l'IDRIS, dépendant du CNRS et disposant de deux machines, ADA et Turing¹⁰, à Saclay (Essonne) et du CINES à Montpellier, EPIC placé sous tutelle directe du MESRI, qui dispose de la machine Occigen, qui allie calcul intensif et mission d'archivage pérenne.

GENCI coordonne depuis 2010 un projet equip@meso avec les mésocentres régionaux et assure la promotion, la formation et la preuve de concept à la simulation numérique au service des PME/ETI (programme SIMSEO 2015-2020 mis en œuvre dans le cadre du PIA 2, piloté par la DGE et la BPI et dirigé vers les petites structures), avec des partenaires comme l'association d'entreprises TERATEC et l'IRT SystemX.

GENCI est membre du programme européen PRACE où il représente la France, comme dans plusieurs autres programmes de l'UE. Il répond à de nombreux appels à projets et consultations de la Commission européenne.

⁸ En novembre 2015, une décision du premier ministre de novembre a prévu le versement de 30 M€ à GENCI via le PIA 2 afin d'assurer l'investissement nécessaire pour les trois centres nationaux de calcul. Une convention a été signée avec l'ANR en juin 2017, GENCI a signé avec l'ANR le 22 juin 2017 une convention attributive d'aide (n°ANR-17-EQX-0001), dont la phase d'investissement en stockage de 23,7 M€ a été déclenchée en mars 2018.

⁹ Le CEA opère également le supercalculateur Cobalt du CCRT, centre de calcul créé en 2003 par le CEA pour mutualiser avec les partenaires industriels l'acquisition et le fonctionnement de ressources de calcul, stockage et autres services. C'est également à Bruyères-le-Châtel que le CEA opère le supercalculateur TERA 1000 dédié aux objectifs de défenses (dissuasion).

¹⁰ La machine Jean Zay va prochainement les remplacer.

L'étude d'impact de GENCI de 2016

GENCI a procédé en 2016 à une étude d'impact via la mesure bibliométrique, considéré comme un modèle à diffuser dans d'autres IR et TGIR. Il en ressort notamment que l'utilisation du calcul intensif génère des publications qui présentent une influence et un impact scientifique significativement supérieur à la moyenne de leur domaine en général, avec un taux de citation moyen élevé (15,6 citations par article en moyenne, à comparer à la moyenne France entière pour la même période qui est de 11,4), un nombre d'articles très hautement cités (Top 1 %) significativement supérieur à la moyenne (1,6 % pour GENCI contre 1 % dans le monde et 1,1 % en France), un indicateur d'impact global de 1,48 (soit des articles qui reçoivent 48 % plus de citations que la moyenne mondiale). Parmi les succès cités par GENCI, on trouve la modélisation en haute définition du champ magnétique terrestre (Institut des sciences de la Terre de Grenoble, sur Turing et Occigen), la première simulation numérique de l'apparition de la vie sur Terre (UPMC, sur Jade et Ada), l'optimisation du confinement du plasma à l'intérieur d'un réacteur à fusion (CEA de Cadarache, sur l'ensemble des machines GENCI) ou encore la simulation numérique du *crash-test* qui a permis à un constructeur automobile de gagner trois ans et demi sur le développement de ses voitures. Ces modélisations et simulations favorisent les applications interdisciplinaires, comme par exemple la modélisation du vol du bourdon ou de la nage des poissons pour développer des micro-véhicules.

Le budget prévisionnel de GENCI est de 39 M€ en 2018 (en augmentation de 9 M€ par rapport à 2017). En 2017, sur des ressources de 33,375 M€, le CEA et le CNRS participaient chacun à hauteur de 5,52 M€, l'INRIA pour 0,276 M€ et le MESRI pour 14,7 M€ soit 26,016 M€ pour le programme 172, les universités contribuant pour 2,598 M€ (programme 150), le PIA pour 3,923 M€, l'ensemble État totalisant 32,537 M€ auxquels s'ajoutaient 0,771 M€ de contrats européens (soit trois fois plus qu'en 2016 et qu'en 2015). En principe, le budget GENCI sert notamment à financer : l'acquisition des investissements calculateurs ; le stockage des travaux de raccordement d'un calculateur et d'un stockage dans une salle machine d'un centre de calcul ; les coûts de fonctionnement associés limités à la maintenance et au support issus des marchés d'investissements ; les coûts nets du démantèlement. Le budget des centres finance les autres coûts de fonctionnement du calculateur/stockage : fluides, infrastructure d'hébergement (investissement, fonctionnement), personnel. La prise en charge des frais de fonctionnement n'est pas identique selon les centres : par exemple, 80 % des coûts de fonctionnement du TGCC sont pris en charge par le budget de GENCI, alors qu'IDRIS finance 100 % de ces mêmes frais.

Tableau n° 1 : les ressources de la TGIR GENCI (en M€)

<i>En M€ RESSOURCES (réalisé)</i>		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018 (prév.)	
<i>Financement sur le budget général de l'État</i>	Programme 172	CEA (cash)	5,640	6,000	5,580	5,428	5,520	5,520	7,422
		CEA (personnel)	-	-	-	-	-	-	-
		Total CEA	5,640	6,000	5,580	5,428	5,520	5,520	7,422
		CNRS (cash)	5,640	5,820	5,580	5,428	5,520	5,520	7,422
		CNRS (personnel)	-	-	-	-	-	-	-
		TOTAL CNRS	5,640	5,820	5,580	5,428	5,520	5,520	7,422
		INRIA	0,282	0,291	0,279	0,271	0,276	0,276	0,371
		Ifremer	-	-	-	-	-	-	-
		MESRI	14,700	14,700	14,700	14,700	14,700	14,700	12,232
		Autres	-	-	-	-	-	-	-
	TOTAL P 172	26,262	26,811	26,139	25,827	26,016	26,016	27,447	
	Programme 150	MESRI							
		Universités	3,000	2,819	2,626	2,598	2,598	2,598	3,674
		Total P 150	3,000	2,819	2,626	2,598	2,598	2,598	3,674
	Autres	Equipex (aquip@meso + simseo)	0,04	0,08	0,03	0,05	0,15	0,177	0,100
CGI plan stockage CMIP6							3,746	0,481	
<i>TOTAL Financement État</i>		29,300	29,708	28,794	28,477	28,733	32,537	31,702	
<i>Financements européens</i>	Contrats Européens	0,246	0,416	0,214	0,158	0,2180	0,771	0,880	
	Total Contrats européens	0,246	0,416	0,214	0,158	0,2180	0,771	0,880	
<i>Ressources propres de la TGIR</i>	Facturation/Valorisation	0,08							
	Produits financiers	0,173	0,106	0,159	0,185	0,07	0,07	0,06	
<i>TOTAL RESSOURCES</i>		29,796	30,230	29,167	28,820	29,008	33,375	32,642	

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

B - RENATER (réseau national de communications électroniques pour la technologie, l'enseignement et la recherche)

RENATER est le pilier transport du management national de la donnée. Il fait partie de la politique de rationalisation lancée par la DGRI en matière d'organisation nationale du numérique ¹¹.

RENATER est un « groupement d'intérêt public pour le réseau national de communications électroniques pour la technologie, l'enseignement et la recherche » constitué en 1993, organisé aujourd'hui autour d'une assemblée générale, d'un conseil d'administration et de deux comités, le CUB (comité des usagers et des besoins) et le COTSS (comité d'orientation technique, stratégique et scientifique).

¹¹ Informations issues du site internet de RENATER et du rapport de l'IGAENR d'octobre 2018.

Ses membres sont au nombre de treize : CNRS, CPU, CEA, INRIA, CNES, INRA, INSERM, ONERA, CIRAD, IRSTEA, IRD, BRGM et MESRI.

En matière de transport de données, la TGIR de réseau RENATER fournit une offre de communication numérique, sécurisée à haut débit, à l'ensemble des établissements et des communautés de l'ESR ainsi que l'interconnexion aux réseaux mondiaux. Cette infrastructure nationale dispose de 12 000 km de fibres optiques. Cette TGIR est le réseau central de réseaux de collecte régionaux ou points d'accès, qui collationnent les données sortant des plateformes. En France, RENATER interconnecte via son infrastructure nationale 46 réseaux d'accès qui concourent à relier les différents sites des établissements utilisateurs à RENATER.

RENATER a été constitué pour concevoir et exploiter une infrastructure d'interconnexion nationale sécurisée à haut débit, à laquelle s'ajoutent les connexions avec l'Internet et les autres réseaux pour l'éducation et la recherche dans le monde. Selon RENATER, ce dispositif compte environ deux millions d'utilisateurs – étudiants, enseignants-chercheurs, enseignants, chercheurs.

RENATER est le représentant français au projet européen GEANT, financé par H2020 en plusieurs phases, avec trois missions principales : construire et exploiter le réseau paneuropéen de recherche et d'éducation, développer des services fédérés et innovants, connectivité, *cloud*, collaboration en temps réel et entreprendre des programmes de recherche collaborative.

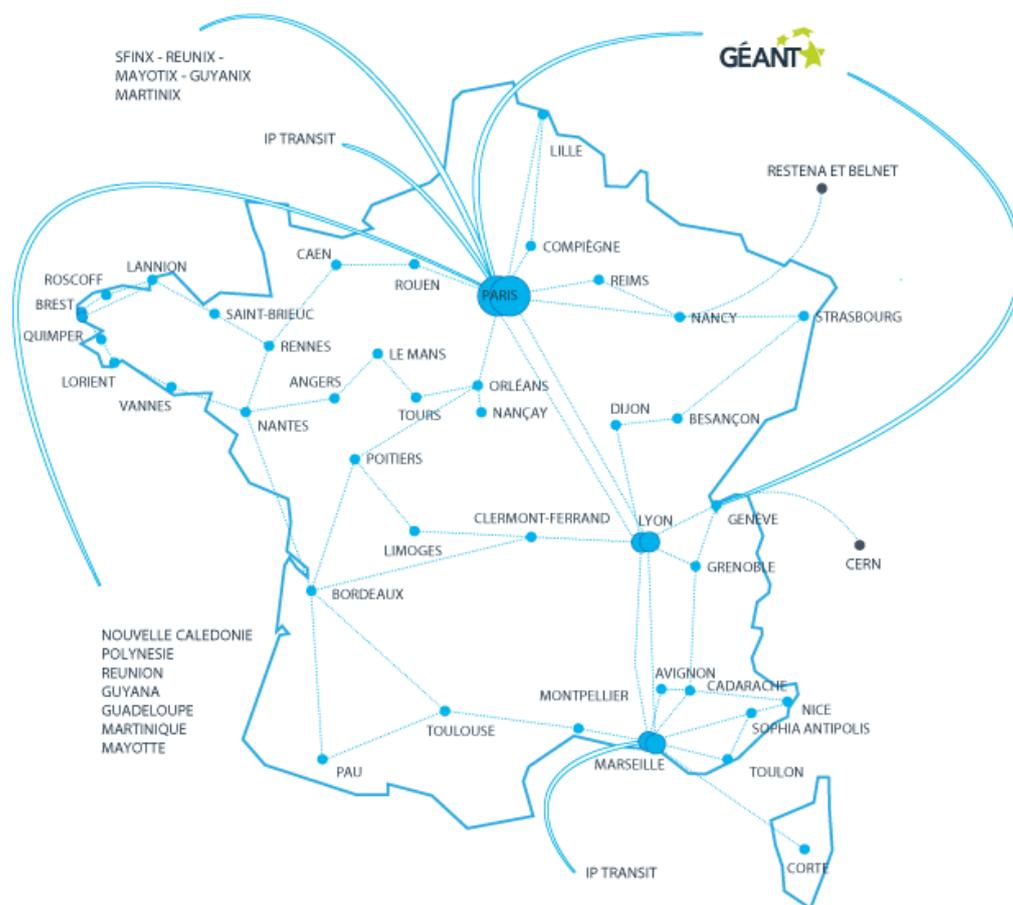


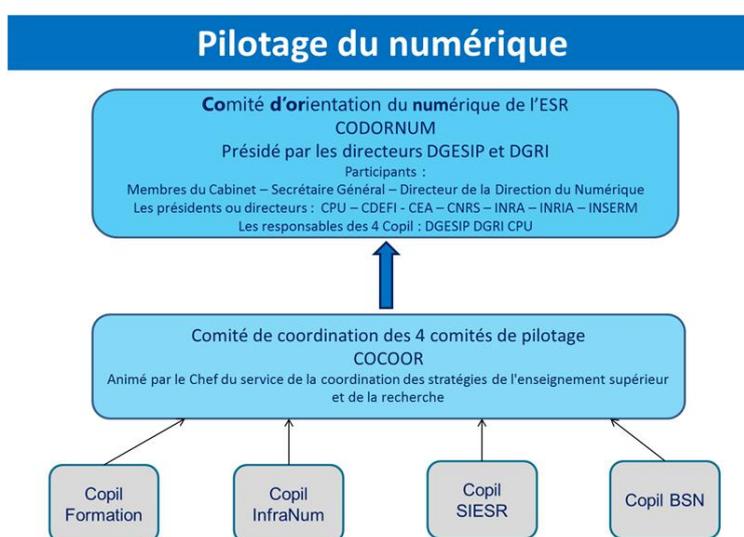
Tableau n° 2 : les ressources de la TGIR Renater (en M€)

<i>En M€ RESSOURCES (réalisé)</i>		RENATE R 2012	RENATE R 2013	RENATE R 2014	RENATE R 2015	RENATE R 2016	RENATE R 2017	RENATER 2018 (prévision)	
<i>Financement sur le budget général de l'État</i>	Programme 172	CEA (cash)	0,623	0,622	0,605	0,584	0,010	0,010	0,010
		CEA (personnel)							
		Total CEA	0,623	0,622	0,605	0,584	0,010	0,010	0,010
		CNRS (cash)	3,651	3,835	3,685	3,541	0,010	0,010	0,010
		CNRS (personnel)	0,438	0,247	0,283	0,293			
		TOTAL CNRS	4,089	4,082	3,968	3,833	0,010	0,010	0,010
		INRIA	0,511	0,510	0,496	0,479	0,010	0,010	0,010
		MESRI					5,670	5,671	8,235
		Autres	0,942	0,941	0,914	0,883	0,090	0,090	0,090
	TOTAL P 172	6,166	6,156	5,984	5,780	5,790	5,791	8,355	
	Programme 150	MESRI (cash)	6,289	6,562	6,398	6,484	6,073	6,088	9,360
		MESRI (personnel)	0,528	0,528	0,528	0,528	0,528	0,528	0,528
		Universités	1,987	0,099	0,142			0,156	
		Total P 150	8,804	7,189	7,068	7,012	6,601	6,772	9,888
	Investissements d'avenir	ANR			0,005	0,005	0,005		
		Autres	DINSIC (RIE)	0,450	3,268	1,874	2,072	1,857	1,918	2,058
Autres programmes		P 231				0,143			
Autres programmes		P 214	0,712	0,711	0,691	1,085	2,734	3,593	4,340
TOTAL Financement État		16,133	17,324	15,622	16,097	16,988	18,074	24,642	
<i>Financements européens</i>	Contrats Européens	0,676	0,774	0,783	0,809	0,772	0,652	0,693	
	FEDER				0,213	0,480	0,480	0,267	
	PCRDT (H2020...)	0,068		0,133	0,763	0,288	0,423	0,463	
	ERC								
Total Contrats européens		0,744	0,774	0,915	1,785	1,540	1,556	1,423	
<i>Financements d'autres États</i>									
<i>Ressources propres de la TGIR</i>	Facturation/Valorisation	5,787	7,001	6,444	9,151	7,845	8,803	9,374	
	Produits financiers		0,003						
	Autres		1,601						
<i>Autres ressources non publiques</i>		0,013	0,016	0,090	0,065	0,233	0,149	0,050	
TOTAL RESSOURCES		22,677	26,718	23,071	27,098	26,606	28,581	35,439	

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

Le pilotage de l'architecture nationale du numérique

Le ministère de l'Enseignement supérieur de la recherche et de l'innovation (MESRI) a initié depuis 2016 une réflexion et un plan de modernisation des infrastructures et services numériques de l'enseignement supérieur et de la recherche mettant l'accent sur la rationalisation des équipements, le développement durable et la sécurité. Il a créé en 2014 un comité de coordination du numérique, le CODORNUM, présidé par les directeurs de la DGSIP et de la DGRI, dont la composition figure dans le tableau ci-dessous. Ce comité regroupe cinq comités de pilotage, dont l'un consacré aux infrastructures de recherche, InfraNum, dirigé par la DGRI. Le CODORNUM formule des recommandations.



Les premières orientations du ministère sont les suivantes : en matière de calcul, les capacités de GENCI doivent être renforcées¹² ; des *datacenters* doivent émerger par régions et pourraient être financés dans le cadre des CPER et/ou de fonds FEDER ; le réseau RENATER, infrastructure de service mise à disposition de l'ensemble des communautés scientifiques, devra être déployé en cohérence avec les besoins de la TGIR GENCI et de sa participation au programme européen HPC. GENCI devra, par ailleurs, être au cœur des développements liés à l'informatique en nuage (*cloud computing*), également concernée par un grand programme européen. Enfin, la DGRI a demandé à toutes les IR et TGIR un état des lieux et une projection à cinq ans de leurs besoins en stockage, fournis dans la feuille de route 2018. Cette demande a également été adressée à toutes les communautés de recherche dans le cadre d'InfraNum, ce travail est en cours début 2019. Il a été décidé en CD-TGIR qu'un volet stockage soit intégré en tant que plan d'action dans chaque IR et TGIR.

¹² Cela va d'ores et déjà être le cas avec la nouvelle machine d'IDRIS qui sera en service en 2019 et doublera la capacité en puissance pétaflops de GENCI.

Une organisation en centres de calcul de niveau national et régional est en cours. Il convient de noter qu'en Allemagne, l'équivalent de GENCI, GCS, s'est vu charger en 2008 d'étendre son champ d'action à la coordination des moyens de calcul dits Tier-2 mis à disposition par des centres régionaux ou thématiques de calcul.

La recherche d'une rationalisation de l'architecture confère à GENCI le rôle d'un « ensemblier » du calcul et du stockage pour le compte des opérateurs historiques des supercalculateurs.

Quant à RENATER, la question se pose d'une organisation régionale renouée des points d'accès au réseau central ou réseaux de collecte, qui collationnent les données issues des plateformes. Ces réseaux sont parfois gérés par RENATER lui-même, parfois par des organismes régionaux financés par les régions. Le PIA serait sollicité à hauteur d'environ 8 M€ pour le renouvellement de liaisons non prévues.

III - Accompagner et anticiper les évolutions à venir

Le secteur numérique doit gérer non seulement de lourds enjeux actuels mais aussi des défis à venir souvent peu mesurables.

A - L'intelligence artificielle (IA)

En ce qui concerne l'IA, le sujet porte non pas sur les architectures de calcul spécifiques, qui existent déjà, mais sur la génération, le traitement et le stockage des données massives. Les besoins propres en recherche en IA sont à peu près couverts par les mésocentres. La problématique tient aux gros consommateurs de capacités de calcul que sont les physiciens, les mécaniciens, les chimistes et les météorologues, qui nécessitent des écosystèmes adaptés. L'IA nécessite en effet des machines hybrides, modulaires et disposant de logiciels spécifiques notamment issus du traitement de l'image. Pour répondre à la montée spectaculaire des besoins, une plateforme nationale était nécessaire et va se concrétiser dans l'installation d'un nouveau supercalculateur GENCI à l'IDRIS, à Saclay, opéré par le CNRS, au deuxième trimestre début 2019¹³. Cette décision fait partie des nombreuses mesures prises en novembre 2018 en matière de structuration de l'IA en France.

Le CEA¹⁴ expose que son souhait est « *d'avoir une machine de recherche IA ouverte, facilement accessible et gérée par GENCI. L'investissement de la nouvelle machine prévue à l'IDRIS devrait répondre à ce besoin. En revanche, pour les utilisations industrielles, [...] le TGCC est mieux indiqué dans la mesure où il héberge déjà le consortium d'industriels du CCRT* ».

¹³ À l'initiative du MESRI, l'acquisition d'une machine dédiée à l'IA (projet « GENIAL ») a été confiée à GENCI avec pour objectif de la mettre en œuvre à IDRIS. Il s'agit donc d'une extension avec des caractéristiques spécifiques aux besoins de l'IA, permettant d'accélérer l'acquisition et de partager divers « périphériques » et services pour réaliser une substantielle économie d'échelle. Le budget retenu est de 5 M€ d'investissement et 5 M€ de fonctionnement sur 5 ans.

¹⁴ Réponse à un questionnaire de la Cour des comptes.

B - Vers l'Exascale et le calcul quantique

Le supercalculateur Joliot-Curie de GENCI dispose d'une puissance de plusieurs pétaflops. La prochaine étape est l'exaflop, c'est-à-dire le niveau exascale. C'est un des objectifs du programme européen EuroHPC (voir *infra*) pour 2021.

Si l'atteinte de ce niveau est liée aux programmes européens, elle a néanmoins une traduction budgétaire nationale. Sans qu'il n'y ait pour l'instant d'estimation scientifiquement étayée, les montants parfois évoqués pour cette machine sont de l'ordre de 500 M€. Aujourd'hui, EuroHPC prévoit 240 M€ pour chaque supercalculateur pre-exascale (150 pétaflops) et la France a programmé 320 M€ pour héberger un calculateur exascale en France (160 M€ français, 160 M€ UE). Le MESRI cherche à élargir le partenariat de GENCI à d'autres opérateurs français de la MIREs, pour accroître la contribution française, et donc la contribution européenne proportionnellement. La participation d'autres pays à la candidature française pourrait être recherchée.

Le calcul quantique n'est pas encore possible. Mais on peut le simuler. Il existe déjà une machine de ce type aux États-Unis, hébergée par le laboratoire Ames Research Center de la NASA, puis acquise en 2013 par Google. Amazon et la CIA financent ensemble l'entreprise D-Wave avec les mêmes objectifs. Côté européen, Atos Bull a lancé la « Atos Quantum Learning Machine » (Atos QLM), prototype de simulateur de calculateur quantique. L'avance des Français sur les autres Européens est validée par les spécialistes. Cette machine a des applications en matière de cryptographie qui intéressent particulièrement la défense et la sécurité.

C - Le défi de la donnée, accès et management

Selon la feuille de route 2018, une grande infrastructure de recherche « *doit disposer d'un plan de management des données produites correspondant à la règle d'ouverture et qui respecte les pratiques internationales du domaine concerné en matière d'embargo* ».

L'accès ouvert à la donnée scientifique et à sa réutilisation est devenu la doxa européenne et internationale. L'aspect financier et organisationnel de cette évolution est fondamental. L'accès FAIR¹⁵ aux données voulu par la Commission et les États représente un investissement humain et financier très important à l'échelle européenne et avec des déclinaisons nationales significatives. Il est difficile d'en évaluer le coût, une référence concrète étant cependant qu'à l'occasion d'une remise à niveau du synchrotron ESRF, les besoins en matière de gestion des données ont été estimés à 15 % de l'investissement.

La question de l'accès aux données est liée à celle de leur mise à disposition et de leur valorisation, et donc peut soulever la question de la tarification des services (en principe non interdite, contrairement à celle de l'accès aux données elles-mêmes).

¹⁵ FAIR : *Findable, Accessible, Interoperable, Reusable*.

IV - Des programmes européens structurants, des défis financiers pour la France

La structuration de la coopération européenne dans les infrastructures de recherche numérique a commencé dans les années 2000 puis a donné lieu notamment au programme PRACE en 2008. L'objectif de marché unique numérique de 2015 (qui avait pour objectif de rassembler 28 marchés nationaux fragmentés et tenter de faire face à la domination américaine sur le web) lui a donné une impulsion nouvelle.

Les programmes européens en matière de numérique étant également très fragmentés, la Commission européenne a proposé en juin 2018 le lancement d'un ambitieux programme pour une Europe numérique, visant à investir de manière plus coordonnée 9,2 Md€ sur la période 2021-2027 (la période d'Horizon Europe) avec les axes suivants : supercalculateurs (2,7 Md€), intelligence artificielle (2,5 M€), pour une approche européenne (2,5 Md€) cybersécurité et confiance (2 Md€), compétences numériques (700 M€), diffusion dans l'économie et la société (1,3 Md€). Ces investissements passeront vraisemblablement par des outils déjà récemment mis en place et dans lesquels la France est très présente.

A - PRACE

PRACE (*Partnership for Advanced Computing in Europe*) consiste en une mutualisation des supercalculateurs européens. Il s'agit d'un programme intergouvernemental, dans lequel la Commission intervient sur des projets et qui a pour cadre juridique une société de droit belge. Cette infrastructure européenne comprend cinq pays hébergeurs : France, Allemagne, Italie, Espagne et Suisse et une trentaine de pays utilisateurs. La France y est représentée par GENCI, qui en outre y assure un rôle d'expertise reconnue, notamment comme pilote d'un projet de procédures communes. PRACE dispose en Europe de 26 centres de calcul (dont certains de niveau de mésocentres français). À la fin de 2017, PRACE avait alloué 19 milliards d'heures à 652 projets et formé plus de 10 000 utilisateurs dans ses centres de formation. Les projets français ont utilisé 19 % des heures, juste devant l'Allemagne.

La cotisation annuelle à PRACE représente 40 000 € pour la France. Dans la première version du programme, les pays non hébergeurs ne payaient rien. Aujourd'hui, chaque pays hébergeur récupère un montant de 600 000 € des autres pays utilisateurs non hébergeurs. Le bilan coût/recettes est à faire pour la France.

Le retour de PRACE pour la France

La contribution française globale dans PRACE et à son écosystème s'est élevée à un peu plus de 100 M€ de 2010 à 2016, via ses investissements dans le calculateur Curie (environ 100 M€). La France en est le principal utilisateur, tant au niveau académique qu'industriel, en nombre de projets comme en nombre d'heures, car la dimension européenne de PRACE donne lieu à de nombreuses collaborations internationales, environ la moitié des projets, dans lesquels la France est impliquée ou qui lui bénéficient. La recherche effectuée sur ces moyens de calcul est de très bonne qualité. L'impact scientifique des publications citant PRACE est remarquable, bien au-delà de la moyenne mondiale des publications ou de celles de grands centres de recherche. Enfin, selon GENCI, l'impact socio-économique, quoique difficile à dégager de façon rigoureuse, est manifeste.

L'infrastructure PRACE devrait soit se fondre dans le nouveau programme EuroHPC soit continuer à gérer les processus d'allocation des ressources en son sein.

B - EuroHPC (*High Performance Computing*)

L'initiative européenne EuroHPC est une initiative intégrée visant à rattraper le retard européen en matière de supercalculateurs dans plusieurs domaines. EuroHPC est fondé sur le constat que les capacités scientifiques, la compétitivité industrielle dépend de l'accès à des infrastructures de classe mondiale de calcul et de données.

Le programme EuroHPC

Ce programme a été lancé fin 2016 par la Commission, la France étant « sherpa » du projet avec six autres pays fondateurs, Allemagne, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Portugal et Espagne. Il compte aujourd'hui quinze membres de l'Union et l'UE elle-même. Ces pays et l'UE ont signé une déclaration HPC s'accordant à travailler ensemble pour développer en 2022/2023 une infrastructure intégrée de niveau exascale. Juridiquement, il s'agit d'une entreprise commune¹⁶ qui a été adoptée par un règlement du Conseil des ministres du 28 septembre 2018 visant à « *mettre en place une infrastructure de supercalculateurs de classe mondiale à l'échelle européenne* ». Il sera en principe basé à Luxembourg. Sa gouvernance comprend un *Governing Board*, composé des membres publics, dont le premier s'est tenu en octobre 2018 et un *Industrial and Scientific Advisory Board* composé d'académiques, d'entreprises et d'associations rassemblant des industriels de toutes nationalités y compris non européennes. Il existe également un *Infrastructure Advisory Group*. GENCI y représente la France.

Il pourra lancer des marchés et bénéficiera d'une stabilité budgétaire. En effet, l'entreprise commune sera financée par le cadre financier pluriannuel H2020 et par la *Connecting Europe Facility* pour 486 M€, qui devront être doublés par un même montant provenant des États membres et par des apports en nature des parties privées. Ce montant s'élèvera à 3,5 Md€ lors du programme Horizon Europe. Il aura deux piliers : l'achat et le développement d'infrastructures de calcul et de données ; la recherche dans ces domaines.

Le programme EuroHPC présente deux particularités importantes. D'une part, il est réalisé en concertation étroite avec les industriels, regroupés dans les plateformes ETP4HPC et BVDA (*Big Data Value Association*), et appelés à y contribuer (probablement en nature). D'autre part, la Commission européenne propose de financer 50 % du coût d'acquisition de supercalculateurs, l'autre moitié restant à la charge des États membres. C'est un changement de paradigme. La machine n'est plus nationale, elle est européenne, comme le synchrotron ESRF de Grenoble. À ce stade, EuroHPC a prévu de financer deux machines pré-exascale de quelques centaines de pétaflops en 2021, puis deux machines exaflopiques en 2023 ou 2024.

La France souhaite accueillir l'une de ces machines exaflopiques au centre de Bruyères-le-Chatel du CEA, qui se montre d'ores et déjà particulièrement actif au sein du programme EuroHPC. L'Allemagne serait candidate pour l'autre. Les premiers appels à projets seront lancés en 2019.

¹⁶ La forme de *Joint undertaking* ou Entreprise commune a été créée par l'article 187 du Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (TFUE) amendé à Lisbonne en 2007.

Quelques autres programmes d'EuroHPC

Au sein d'EuroHPC, plusieurs programmes ont été lancés et sont en cours, avec une coordination exercée dans le cadre d'un groupe intitulé EXDCI (*European Extreme Data & Computing Initiative*). La France est membre actif de tous les programmes et parfois pilote. Les principaux sont les suivants.

Le programme EDI (*European Data Infrastructure*) vise à constituer une infrastructure européenne de supercalculateurs interconnectés par des réseaux haut débit, capable de traiter de très gros volumes de données. Ce projet intègre ainsi non seulement des supercalculateurs de PRACE (et donc de GENCI en France), mais aussi les services d'expertise qui y sont associés et les systèmes de transmission réseau spécifiques, l'acteur français de référence en la matière étant RENATER.

Le programme EPI (*European Processor Initiative*), créé en mars 2018 sous forme de consortium réunissant 23 membres de 10 pays européens, vise à concevoir et développer les premiers systèmes HPC de puces et accélérateurs, pour maîtriser le cœur technologique des supercalculateurs et dont la pleine souveraineté sera la base d'une machine exascale fondée sur une technologie pleinement européenne¹⁷. ATOS Bull seul constructeur européen de supercalculateurs, a été sélectionné en 2016 pour le piloter. Le CEA, GENCI et la société française Kalray y participent.

C - Le portail EOSC (*European Open Science Cloud*)

L'EOSC a été lancé par la *European Cloud Initiative* d'avril 2016 de la Commission européenne, à partir du constat de la fragmentation de l'accès actuel des chercheurs aux IR ou plateformes européennes ou nationales. L'objectif de départ est double : favoriser l'accès aux données pour diffuser la connaissance et faire face à l'explosion des besoins de service de calcul et stockage. Deux réunions ont eu lieu en juin 2017 et juin 2018, à l'issue desquelles a déjà été décidé le lancement de consultations, notamment sur les règles internes à établir et la garantie d'un accès FAIR aux données. Il s'agit actuellement d'un projet global fondé sur la connexion des IR existantes et à venir, thématiques ou horizontales, à un *cloud* européen, permettant d'ainsi fournir aux 1,7 millions de chercheurs européens des services ouverts de stockage, de gestion des données, d'analyse et de réutilisation entre disciplines. Un budget de 300 M€ est prévu sur H2020 pour définir le projet.

Ensuite, à partir de 2021, 10 Md€ seront nécessaires annuellement pendant 20 ans pour mettre en place les infrastructures adéquates. Ce budget est attendu principalement de la part des États.

La France participe à deux consortiums d'une centaine de partenaires chacun, l'un plus orienté données et l'autre calcul. La partie donnée est pilotée à Bruxelles par l'e-infrastructure européenne EGI, *European Grid Infrastructure*, prestataire de services de calcul avancé et de stockage dans le cadre d'une fondation néerlandaise au sein de laquelle le CERN est un membre important. C'est IN2P3 qui y représente la France.

¹⁷ Les experts font cependant remarquer que, même avec EPI, on ne maîtrisera que le *design* du microprocesseur, sa réalisation, nécessitant notamment la fonderie, étant très onéreuse et dominée par les Asiatiques.

Chapitre II

Les TGIR et OI en physique nucléaire et des hautes énergies (CERN, GANIL, FAIR, EGO-Virgo)

La physique fondamentale étudie notamment les particules fondamentales (physique des hautes énergies) et les noyaux atomiques (physique nucléaire). La plupart des TGIR et OI concernées sont des accélérateurs de particules.

I - La physique nucléaire (GANIL et FAIR) : des projets qui connaissent d'importants retards

A - GANIL

Le grand accélérateur national d'ions lourds (GANIL), qui a son siège à Caen, est implanté sur les communes d'Epron, Hérouville-Saint-Clair et Caen. La décision de construction a été prise en août 1975 et il a été mis en exploitation en janvier 1983.

Il s'agit d'une infrastructure purement nationale, qui présente la particularité, unique parmi les TGIR, d'être géré par un groupement d'intérêt économique (GIE). Ce GIE a été créé par une convention de 1976, valide pour une durée de 30 ans, conclue entre le CEA et l'Institut national de physique nucléaire et de physique des particules (IN2P3) du CNRS, chacun disposant de 50 % des droits. Ce GIE était en charge de la conception, de la réalisation et de l'exploitation des équipements. La convention a été renouvelée en 2005, puis en 2015, pour une durée de 30 ans. Ses deux membres actuels sont le CEA et le CNRS.

Ce GIE a une autre particularité : il n'a pas d'effectifs propres. Les effectifs de GANIL étaient en 2017 de 229 ETP, à peu près également répartis entre le CEA (107,5 ETP) et le CNRS (120,5 ETP), qui fournit toutefois les trois quarts de la trentaine de physiciens.

Par ailleurs, GANIL est dirigé paritairement par le CEA et le CNRS, qui doivent chacun approuver toute décision. GANIL est une installation nucléaire soumise au contrôle de l'ASN.

1 - Les installations actuellement en exploitation (les cyclotrons)

Comme son nom l'indique, la fonction première de GANIL est d'accélérer des ions lourds, c'est-à-dire des noyaux d'atome dont la masse est supérieure à celle d'un atome de carbone. L'accélération des ions stables est réalisée par un ou plusieurs cyclotrons. La transformation de ces faisceaux en faisceaux d'ions instables est réalisée soit au moyen de la technique de la fragmentation (spectromètre LISE), soit au moyen de la technique « ISOL »¹⁸ (dispositif SPIRAL1). GANIL peut produire simultanément jusqu'à quatre faisceaux différents, dont un faisceau d'ions instables.

2 - Le projet SPIRAL2 : un retard d'une dizaine d'année et une suspension de sa phase 2

Le dispositif SPIRAL2, décidé en 2005, a vu sa mise en exploitation sans cesse repoussée : initialement prévue pour 2010, celle-ci n'a toujours pas eu lieu.

Il consiste en un dispositif distinct de ceux actuellement en exploitation, installé dans un bâtiment voisin. Les ions stables seront accélérés non par des cyclotrons, mais par un accélérateur linéaire, qui doit être l'accélérateur d'ions légers de basse énergie le plus intense du monde. Le dispositif « S3 »¹⁹ transformera le flux d'ions stables en flux d'ions instables au moyen de la technique ISOL. La salle d'expérience DESIR²⁰ permettra quant à elle d'étudier les noyaux produits par S3 et par SPIRAL1. Une autre salle d'expérience, dénommée « des neutrons pour la science » (*Neutrons For Science*, NFS), doit « convertir » le flux d'ions stables en flux de neutrons, pour permettre d'étudier les réactions induites sur les noyaux atomiques par des neutrons de haute énergie²¹.

Il était initialement prévu de construire également un autre bâtiment, dénommé « bâtiment de production », devant utiliser le faisceau d'ions stables pour susciter des faisceaux d'ions instables riches en neutrons, qui auraient été étudiés dans la salle d'expériences DESIR ou, après accélération par le cyclotron CIME, dans les salles d'expérience actuelles de GANIL. Toutefois, compte tenu du dérapage du coût du projet, mais aussi de l'absence des ressources humaines requises²², ce volet essentiel (qui avec DESIR constituait la « phase 2 » du projet SPIRAL2) a été suspendu *sine die* par le comité de direction de GANIL en 2013.

La salle DESIR a été introduite dans la phase 1 de SPIRAL2, renommée « 1+ ». Le coût prévu (aux conditions économiques de 2016) pour la phase « 1+ » de SPIRAL2 est de 128 M€ (dont 87,5 M€ pour la phase 1 et 24 M€ pour la salle d'expériences DESIR). C'est ce montant qui figure dans la « feuille de route » 2016 de la DGRI.

¹⁸ *Isotope Separation On-Line*, séparation en ligne d'isotopes.

¹⁹ Super Séparateur Spectromètre.

²⁰ Désintégration, Excitation et Stockage d'Ions Radioactifs.

²¹ Le niveau d'énergie de ce faisceau de neutrons, sans commune mesure avec ceux d'Orphée ou d'ILL, ne permettra pas de l'utiliser en sciences de la matière.

²² Comme souligné en 2013 par le comité de direction de GANIL.

Selon les données fournies par GANIL, le CEA et le CNRS ne contribuent globalement qu'à environ 30 % du financement de l'investissement initial, assuré pour 35 % par les collectivités territoriales.

3 - Une recherche de qualité mais aboutissant à peu de publications et surtout réalisée par des chercheurs étrangers

La recherche réalisée par GANIL est en quasi-totalité fondamentale, sans application pratique immédiate.

D'un point de vue quantitatif, les expériences réalisées à GANIL permettent la publication annuelle d'environ 100 articles selon GANIL, et 150 articles selon la base de données INSPIRE-HEP (ce qui est légèrement supérieur à celui de l'équipement analogue du CERN, ISOLDE). À titre de comparaison, les autres principaux grands laboratoires pour la recherche avec des faisceaux d'ions publient, selon INSPIRE-HEP, autour de 1 000 articles par an. Tel est le cas de GSI (Allemagne), de RIBF/RIKEN (Japon), de MSU/NSCL (États-Unis) et de DUBNA (Russie).

GANIL estime toutefois que ces chiffres ne sont pas comparables, ces trois derniers laboratoires réalisant des expériences non seulement en physique nucléaire, mais aussi en physique des hautes énergies. De fait, selon une étude bibliométrique réalisée en 2006 par GANIL²³, celui-ci publierait davantage d'articles que le MSU à périmètre équivalent. Il semble également que le RIKEN publierait seulement une trentaine d'articles par an en physique nucléaire.

Dans son évaluation de 2017, le Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Hcéres) porte un jugement très favorable sur la qualité des travaux, estimant que « *l'activité de recherche et de recherche technologique au GANIL est exceptionnelle au plan international* »²⁴. Des chercheurs de GANIL ont reçu des prix prestigieux²⁵.

Par ailleurs, GANIL joue un rôle important non seulement par ses publications, mais aussi par les techniques qu'il développe.

L'utilisation de GANIL par les entreprises est marginale. On peut toutefois mentionner l'utilisation ponctuelle par l'industrie aérospatiale pour tester la vulnérabilité de composants électroniques à des flux d'ions, le recours à l'irradiation pour la production de membranes filtrantes et la recherche en carbone-thérapie.

Selon les données du CEA, GANIL, infrastructure purement française et financée par la France, n'est utilisée que pour moins de 40 % par des chercheurs français.

²³ Mentionnée dans le rapport particulier de 2009 de la Cour sur GANIL.

²⁴ “*The scientific and technological research activity at GANIL is outstanding in the international context*”.

²⁵ La Société Française de Physique (SFP) a remis le 19 décembre 2017 le prix Joliot-Curie, qui récompense chaque année le travail d'un chercheur dans le domaine de la physique nucléaire et des particules, à M. Navin Alahari, directeur de GANIL.

4 - Des effectifs insuffisants, à l'origine d'une sous-utilisation des équipements et d'un retard important du projet SPIRAL2

Les effectifs de GANIL, stables depuis le début des années 2000, ne lui permettent pas de construire SPIRAL2 dans des conditions satisfaisantes, en particulier en respectant les délais initiaux, tout en exploitant l'installation actuelle. Par ailleurs, on observe une forte diminution du temps de fonctionnement de GANIL, passé de 8 mois par an au début des années 2000 à 4 mois par an depuis 2012. GANIL indique que cette réduction de son temps de fonctionnement a pour objet de lui permettre de mener à bien SPIRAL2 et ses autres projets.

Un premier enjeu pour GANIL est de disposer des effectifs nécessaires à ses activités. Dans un premier temps, possiblement à partir de 2020, il va devoir exploiter, outre ses équipements actuels, SPIRAL2, tout en poursuivant la construction prévue pour la phase 1, qui ne devrait s'achever qu'en 2024. Il prévoit de donner la priorité à SPIRAL2, qui fonctionnerait 6 mois en 2021 (contre toujours 4 mois pour les cyclotrons), et 7 mois à partir de 2025 (l'objectif étant d'avoir alors porté le temps de fonctionnement des cyclotrons à 7 mois). Les effectifs nécessaires pour assurer le fonctionnement en « régime de croisière » ne sont pas connus à ce stade.

Toutefois le principal enjeu à long terme est de savoir si l'on souhaite ou non obtenir l'implantation sur le site de GANIL de la future infrastructure européenne EURISOL²⁶. Or le projet EURISOL implique que l'on ait préalablement réalisé la phase 2 du projet SPIRAL2, pour faire sauter certains « verrous » technologiques.

Par ailleurs, attirer EURISOL sur le site de GANIL impliquerait que les dysfonctionnements constatés lors de la construction de SPIRAL2 ne se renouvellent pas, ce qui suppose notamment des moyens humains adaptés. Ceux-ci pourraient provenir d'autres États, si GANIL était transformé en TGIR internationale. GANIL travaille actuellement ce sujet, dans le cadre du projet H2020 (2017-2020) IDEAAL²⁷.

²⁶ *European Isotope Separation On-Line Radioactive Ion Beam Facility*, dispositif européen de séparation en ligne.

²⁷ *International DEvelopment of GANIL-spirAL2* (développement international de GANIL-SPIRAL2).

Tableau n° 3 : les ressources de la TGIR GANIL (en M€)

<i>En M€ RESSOURCES (réalisé)</i>			GANIL 2012	GANIL 2013	GANIL 2014	GANIL 2015	GANIL 2016	GANIL 2017	GANIL 2018 (prévision)
<i>Financement sur le budget général de l'État</i>	Programme 172	CEA (cash)	5,000	4,300	4,000	4,292	4,714	6,337	6,682
		CEA (personnel)	9,032	8,913	9,141	8,908	9,383	9,033	9,033
		Total CEA	14,032	13,213	13,141	13,200	14,097	15,370	15,715
		CNRS (cash)	5,365	6,072	4,013	4,087	4,999	4,800	5,554
		CNRS (personnel)	9,491	9,631	9,631	9,510	9,510	9,525	9,525
		TOTAL CNRS	14,856	15,703	13,644	13,597	14,509	14,325	15,079
		TOTAL P 172	28,888	28,916	26,785	26,797	28,606	29,695	30,794
	Investissements d'avenir	ANR	0,170	0,022	-	0,055	0,020	0,047	0,134
		Equipex	0,346	0,434	2,304	1,467	0,963	0,754	0,687
	Autre	CPER		-	-	0,154	0,318	0,356	0,935
<i>TOTAL Financement État</i>			29,404	29,372	29,089	28,473	29,907	30,852	32,550
	FEDER		-	-		0,953	0,014	0,262	
	PCRD		0,122	0,390	1,316	0,285	0,308	0,327	1,038
	ERC		-	-	0,085	0,221	0,178	0,391	0,100
	Total Contrats européens		0,122	0,390	1,401	0,506	1,439	0,732	1,400
<i>Financements de collectivités territoriales</i>	Régions		7,461	11,315	12,752	8,678	3,839	2,247	0,378
<i>Financements d'autres États</i>			0,525		-		0,015	0,850	
<i>Ressources propres de la TGIR</i>		Facturation/ Valorisation	0,309	0,411	0,550	0,548	0,405	0,294	0,109
		Produits financiers	0,205	0,181	0,098	0,103	0,085	0,083	0,060
		Autres	0,515	0,502	0,420	0,771	0,633	0,817	0,377
<i>TOTAL RESSOURCES</i>			38,541	42,171	44,310	39,079	36,308	35,040	35,724

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

B - FAIR

L'infrastructure pour la recherche sur les antiprotons et les ions en Europe (*Facility for Antiproton and Ion Research*, FAIR) figure sur la « feuille de route » d'ESFRI depuis 2006.

Il s'agit d'une initiative allemande. L'infrastructure est en cours de construction sur le site du Centre de recherche sur les ions lourds (*Gesellschaft für Schwerionenforschung mbH*, GSI), homologue allemand de GANIL, à Darmstadt.

Il s'agit de produire un faisceau de plus haute énergie, mais moins homogène qu'avec la technique dite « ISOL » (cf. ci-dessus). Par ailleurs, l'un des faisceaux secondaires doit produire des antiprotons²⁸, permettant la recherche sur l'antimatière.

FAIR a été juridiquement créée par une convention signée par neuf États²⁹ à Wiesbaden, en Allemagne, le 4 octobre 2010. Cette convention, ratifiée en France par la loi n° 2013-709 du 5 août 2013³⁰, s'applique jusqu'au 31 décembre 2025 et doit être ensuite renouvelée par périodes de dix années.

FAIR est gérée par une société à responsabilité limitée de droit allemand (*Gesellschaft mit beschränkter Haftung*, GmbH) à but non lucratif, dont les statuts constituent l'annexe de la convention précitée. La société est dirigée par un conseil, regroupant la totalité des associés (dans le cas de la France, le CNRS et le CEA), et un comité de direction.

Le projet connaît des retards et des surcoûts. Le coût de construction, initialement évalué à 1,027 Md€ de 2005, a été révisé à 1,357 Md€ par le conseil de FAIR le 22 octobre 2015. La mise en exploitation, initialement prévue en 2018, est repoussée à 2025. Ces retards proviennent de problèmes de gouvernance, et en particulier de difficultés de coordination entre GSI et la société chargée de construire et gérer FAIR.

²⁸ Un antiproton est une particule de même masse que le proton et de charge électrique opposée.

²⁹ Allemagne, Autriche, République populaire de Chine, Espagne, Finlande, France, Grèce, Inde, Italie, Pologne, Roumanie, Royaume-Uni, Russie, Slovaquie, Slovénie, Suède.

³⁰ Loi autorisant l'approbation de la convention relative à la construction et à l'exploitation d'une infrastructure pour la recherche sur les antiprotons et les ions en Europe.

Tableau n° 4 : les ressources de la TGIR FAIR (en M€)

En M€ RESSOURCES (réalisé)		FAIR 2012	FAIR 2013	FAIR 2014	FAIR 2015	FAIR 2016	FAIR 2017	FAIR 2018 (prévision)
Financement sur le budget général de l'État	CEA (cash)	1,431	-	0,630	0,054	0,554	1,717	1,349
	CEA (personnel)	0,235	0,300	0,578	0,472	0,366	1,135	1,371
	Total CEA	1,666	0,300	1,208	0,526	0,920	2,852	2,720
	CNRS (cash)	2,844	2,180	0,324	1,295	1,306	0,697	0,710
	CNRS (personnel)	0,048	0,023	0,023	0,028	0,028	0,028	0,028
	TOTAL CNRS	2,892	2,203	0,347	1,323	1,334	0,725	0,738
	TOTAL P 172	4,558	2,503	1,555	1,849	2,254	3,577	3,458
<i>TOTAL Financement État</i>		4,558	2,503	1,555	1,849	2,254	3,577	3,458
<i>Autres ressources non publiques</i>						3,410		0,128
TOTAL RESSOURCES		4,558	2,503	1,555	1,849	5,664	3,577	3,586

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

II - La physique des hautes énergies (CERN-LHC)

L'Organisation européenne pour la recherche nucléaire (couramment appelée « CERN », d'après le Conseil européen pour la recherche nucléaire, organe provisoire institué en 1952 et dissous en 1954) est une organisation internationale créée en 1954 par douze États européens³¹ autour d'un projet scientifique dans un domaine stratégique, afin notamment de contribuer à la réconciliation franco-allemande.

Le CERN comprend actuellement 22 États membres³², auxquels s'ajoutent cinq membres associés³³ et divers observateurs, dont le Japon, les États-Unis et la Russie. Son siège est à Genève. Le site de Meyrin, en Suisse, à proximité immédiate de la frontière avec la France, abrite la plupart des chercheurs, et presque toute l'administration. L'anneau du LHC est essentiellement situé en France.

A - La principale infrastructure de recherche européenne

Le CERN est la principale infrastructure de recherche européenne, sur la base de son budget (1,1 Md€ environ), de sa communauté d'utilisateurs (15 000 personnes), du nombre de publications (environ la moitié de celles de la totalité des TGIR et OI), et des découvertes

³¹ Belgique, Danemark, France, Allemagne, Grèce, Italie, Pays-Bas, Norvège, Suède, Suisse, Royaume-Uni, Yougoslavie.

³² L'organisation a été rejointe par l'Autriche (1959), l'Espagne (1961-1969, puis 1983), le Portugal (1985), la Finlande (1991), la Pologne (1991), la Tchécoslovaquie (1992), la Hongrie (1992), la Bulgarie (1999), Israël (2014) et la Roumanie (2016). La République tchèque et la République slovaque ont rejoint le CERN après leur partition en 1993. La Yougoslavie a quitté le CERN en 1961.

³³ Inde, Lituanie, Pakistan, Turquie, Ukraine.

réalisées en physique fondamentale, avec notamment en 1983 la confirmation de l'existence des bosons Z et W, et en 2012 celle du boson de Higgs³⁴. Trois prix Nobel de physique ont été attribués sur la base d'expériences menées au CERN (cf. annexe n° 7).

Il s'agit en outre de la principale infrastructure mondiale en physique des hautes énergies. En 2017, le nombre de publications du CERN a été de 8 935, contre 2 517 pour le Fermilab, 2 568 pour le *Stanford Linear Accelerator* (SLAC) et 2 037 pour le RHIC (*Relativistic Heavy Ion Collider*).

Le CERN consacre la quasi-totalité de ses moyens à la physique des hautes énergies. Schématiquement, il s'agit, au moyen d'accélérateurs, de faire entrer en collision des particules (actuellement des protons), afin de tester le « modèle standard » de la physique des particules, voire d'autres théories. La recherche nucléaire est menée quant à elle au moyen de l'accélérateur d'ions HIE-ISOLDE (*High-Intensity and Energy upgrade of ISOLDE*³⁵), homologue de GANIL.

L'accélérateur actuellement utilisé est le grand collisionneur de hadrons (*Large Hadron Collider*, LHC), mis en service en 2010. Il est installé dans un tunnel circulaire de 26,7 km de circonférence, pour un coût de l'ordre de 5,3 Md€³⁶.

La contribution de la France au financement des activités du CERN

La contribution de la France au financement des activités du CERN est de l'ordre de 140 M€ par an. Elle fluctue autour de ce seuil en fonction notamment des cycles d'investissement du CERN.

Cette contribution passe par deux actions différentes du programme 172 :

- la quasi-totalité des sommes en jeu figure à l'action 17 « Recherches scientifiques et technologiques dans le domaine de l'énergie », dont la ligne « Organisation européenne pour la recherche nucléaire (CERN) », de près de 150 M€ en 2017, correspond à la contribution de la France au budget du CERN ;
- l'action 13 « Grandes infrastructures de recherche », qui attribue des crédits aux opérateurs pour qu'ils financent les TGIR, correspond à des montants plus faibles, de 0,3 M€ en 2017 et de l'ordre de 7-8 M€ par an de 2018 à 2026 (pour un coût total de 66,7 M€). Elle correspond en effet à la contribution de la France aux « collaborations », ou « expériences », c'est-à-dire essentiellement au financement de détecteurs.

Conformément à cette structuration budgétaire, les « feuilles de route » 2016 et 2018 de la DGRI distinguent une OI, le CERN, et une TGIR, le LHC. Toutefois, si l'OI correspond bien au périmètre budgétaire de la contribution figurant à l'action 17, les montants indiqués dans le cas de la TGIR, bien que faibles, sont plus élevés que ceux figurant à l'action 13, du fait de la prise en compte du coût complet³⁷.

³⁴ Le quark « top » a quant à lui été mis en évidence par le Fermilab en 1995.

³⁵ *Isotope Separator On Line Device*.

³⁶ Source: Massimo Florio, Stefano Forte, Emanuela Sirtori, « *Forecasting the Socio-Economic Impact of the Large Hadron Collider: a Cost-Benefit Analysis to 2025 and Beyond* », *Technological Forecasting and Social Change*, novembre 2016.

³⁷ La feuille de route 2018 de la DGRI indique, pour 2016, une contribution de 148,1 M€ dans le cas de l'OI (égale au montant figurant à l'action 17) et de 31,7 M€ dans le cas de la TGIR (contre 0,08 M€ figurant à l'action 13).

B - Les équipements actuels, prévus et envisagés

Le tableau ci-après permet de comparer les caractéristiques actuelles du LHC avec celles de ses améliorations prévues ou envisagées, et des deux principaux projets de nouvelle installation, le futur collisionneur circulaire (FCC) et le collisionneur linéaire compact (CLIC).

Tableau n° 5 : les accélérateurs de particules du CERN (actuel, prévu et envisagés)

	Collisionneurs circulaires						Collisionneur linéaire		
	Le LHC et ses projets d'amélioration				FCC		CLIC		
	LHC	HL-LHC	HE-LHC	LHeC	Phase 1 électron-positron	Phase 2 proton-proton	Phase 1 0,38 TeV	Phase 2 1,5 TeV	Phase 3 3 TeV
Type de collision	proton-proton			électron-positron	électron-positron ou proton-proton		électron-positron		
Statut	En exploitation	En construction	Envisagé						
Calendrier									
Mise en exploitation	2010	2026	[après 2030]						
Caractéristiques									
Circonférence/ longueur (km)	26,7	26,7	26,7	26,7	97,8	97,8	11,4	29	50,1
Énergie de collision (TeV)	14	14	27	1,3	0,365	100	0,38	1,5	3
Luminosité ($10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1	5	25	1	1	30	1,5	3,7	5,9

LHC : Large Hadron Collider (grand collisionneur de hadrons). HL-LHC : High Luminosity LHC (LHC à forte luminosité). HE-LHC : High Energy LHC (LHC à haute énergie). LHeC : Large Hadron electron Collider (grand collisionneur de hadrons et d'électrons). FCC : Future Circular Collider (futur collisionneur circulaire). CLIC : collisionneur linéaire compact.

Source : Cour des comptes, d'après notamment Werner Riegler, « Future Hadron Machines », Kick Kick -off meeting for R&D on experimental technologies, CERN, 20 novembre 2017 [LHC et FCC] ; et Philip Burrows, « CLIC status », Linear collider collaboration, mars 2016 [CLIC]

Les travaux de génie civil du HL-LHC ont commencé en 2018. Les travaux sur le LHC proprement dit doivent avoir lieu en deux phases : une première lors de son arrêt prévu de début 2019 à fin 2020 ; une seconde phase de son arrêt prévu de début 2024 à mi-2026. L'exploitation est prévue à partir de 2026.

Selon la programmation budgétaire 2017-2027 du CERN, le projet HL-LHC coûterait au CERN sur cette période 1,6 MdCHF³⁸, soit 1,3 Md€, auxquels s'ajouterait la participation des États sous la forme de « collaborations », portant le coût total de construction à environ 2 Md€.

Dans ce dernier cas, l'écart provient notamment de la prise en compte, par la « feuille de route », des dépenses de personnel.

³⁸ Aux conditions économiques de 2017.

Quatre principaux projets sont actuellement à l'étude, les plus coûteux (FCC et CLIC) correspondant à un investissement initial de l'ordre de 20 Md€. Au sujet du FCC, le plus susceptible d'être réalisé au CERN, la DGRI estime que « *si la pertinence scientifique de ce projet était avérée, dans le cadre du modèle économique actuel du CERN, un simple calcul d'ordre de grandeur montre que la contribution française pourrait être multipliée par 3 et même 5 pendant la phase de construction (2025-2035). Ce passage à l'échelle n'est pas supportable pour le MESRI* ».

Les quatre principaux projets de nouveaux collisionneurs du CERN

Le projet de LHC à haute énergie (HE-LHC) vise à « tester » le modèle standard du moyen de collisions de protons d'une énergie quasiment doublée. Celle-ci passerait en effet de 14 TeV à 27 TeV. Les équipements du LHC seraient remplacés, mais le tunnel circulaire actuel (de 27 km de circonférence) serait réutilisé.

Deux autres projets concernent des collisions non de protons mais de paires électron-positron. Le plus « conservateur », le grand collisionneur hadron-électron (LHeC), réutiliserait également le tunnel du LHC, dont par ailleurs les installations actuelles seraient préservées. Le plus ambitieux et consommateur d'énergie, le collisionneur linéaire compact (CLIC), serait un dispositif entièrement nouveau, installé dans un tunnel linéaire de 11 à 50 km selon la phase du projet.

Enfin, un dernier projet, celui de futur collisionneur circulaire (FCC), concerne à la fois des collisions électron-positron et proton-proton. Il serait installé dans un tunnel circulaire de près de 100 km de circonférence. Dans une première phase il ne réaliserait que des collisions électron-positron puis serait étendu aux collisions proton-proton, avec dans ce dernier cas des collisions d'une énergie sans équivalent (100 TeV).

Le CERN évalue le coût de la phase 1 du projet CLIC à environ 7,2 MdCHF de 2010 (5,2 Md€³⁹) hors main-d'œuvre. Les ordre de grandeur de coût actuellement disponibles pour la totalité du projet CLIC et pour le FCC, à ce stade purement indicatifs, sont, dans chaque cas, de l'ordre d'une vingtaine de milliards d'euros⁴⁰.

Une question fondamentale est de savoir si l'Europe souhaite conserver son rôle de leader mondial en physique des hautes énergies et quels moyens financiers elle est prête y consacrer ailleurs ; si tel était le cas, l'effort à fournir dépendrait de celui fourni par les autres régions du monde. L'actualisation de la stratégie européenne pour la physique des particules est prévue pour mai 2020.

³⁹ Conversion réalisée par la Cour sur la base du taux de change de 2010.

⁴⁰ Vladimir Shiltsev, « *A Phenomenological Cost Model for High Energy Particle Accelerators* », *Journal of Instrumentation*, 2014 ; « *On the Future High Energy Colliders* », *Journal of Instrumentation*, 2015.

III - Les ondes gravitationnelles : EGO-Virgo

Le consortium EGO (*European Gravitational Observatory*) est une société civile de droit italien, créée en 2000, chargée notamment de construire et exploiter l'antenne Virgo⁴¹.

Selon ses statuts, les coûts d'exploitation (fonctionnement et investissement) sont supportés à 50 % par le CNRS et 50 % par l'INFN. En 2015, Virgo et son homologue américain LIGO⁴² ont réalisé la première détection d'ondes gravitationnelles, lors de la fusion de deux trous noirs. Cette découverte a valu en 2017 l'attribution du prix Nobel de physique à Rainer Weiss, Barry C. Barish et Kip S. Thorne, responsables de l'expérience LIGO.

Le HC-TGIR estime, dans son avis du 15 février 2018 sur la feuille de route pour 2018 de la DGRI, que « *les travaux d'optimisation de VIRGO méritent une priorité absolue* ».

Tableau n° 6 : les ressources de la TGIR EGO-Virgo (en M€)

<i>En M€ RESSOURCES (réalisé)</i>		EGO-Virgo 2012	EGO-Virgo 2013	EGO-Virgo 2014	EGO-Virgo 2015	EGO-Virgo 2016	EGO-Virgo 2017	EGO-Virgo 2018 (prév.)
<i>État</i>	CNRS (cash)	4,657	6,382	5,728	5,035	5,288	5,288	4,500
	CNRS (personnel)	2,888	1,627	1,627	1,619	0,800	0,000	0,000
	TOTAL CNRS	7,545	8,009	7,355	6,654	6,088	5,288	4,500
	TOTAL P 172	7,545	8,009	7,355	6,654	6,088	5,288	4,500
<i>TOTAL Financement État</i>		7,545	8,009	7,355	6,654	6,088	5,288	4,500
<i>Financements d'autres États</i>		5,300	4,600	4,765	4,570	4,570	4,570	4,570
<i>Ressources propres de la TGIR</i>	Produits financiers	0,010	0,060	0,040	0,110	0,620	0,350	
	Autres	0,300	1,000	2,269	2,286	1,489	1,057	1,628
<i>TOTAL RESSOURCES</i>		13,155	13,669	14,429	13,620	12,767	11,265	10,698

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

⁴¹ Nommée d'après la constellation de la Vierge.

⁴² *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory* (observatoire d'ondes gravitationnelles à interféromètre laser).

Vers une « rupture technologique » permettant des accélérateurs de particules de plus petites dimensions ?

Les accélérateurs présentés dans le présent rapport sont de grandes dimensions⁴³. Ces dimensions, qui sont nécessaires pour accélérer les particules à des vitesses suffisantes avec les technologies actuelles, sont un facteur de coût.

Une technologie en cours de développement, dite d'accélération plasma par sillage (*plasma wakefield acceleration*), consiste à créer un champ électrique dans un plasma⁴⁴ afin d'accélérer des particules chargées. Cette accélération se faisant sur une très courte distance, les infrastructures utilisant cette technologie pourraient être de dimensions beaucoup plus réduites que les infrastructures actuelles.

Cette technologie, qui peut utiliser des lasers⁴⁵, doit être étudiée notamment par les lasers Apollon et ELI-Beamlines (cf. infra).

La collaboration EuPRAXIA⁴⁶, qui comprend 16 membres européens et 22 membres associés⁴⁷, a pour objet de construire un accélérateur de particules utilisant le plasma. La France y est représentée par le CEA, le CNRS, SOLEIL et le LULI. L'objectif d'EuPRAXIA est d'être inscrite sur la feuille de route d'ESFRI en 2020. Le HC-TGIR souligne toutefois qu'il s'agit d'un enjeu de « *très long terme* »⁴⁸.

Les retombées économiques pour le pays hôte pourraient être significatives, les technologies utilisées semblant disposer d'un marché potentiel important, avec des applications en médecine, en étude des matériaux ou dans le domaine de la sécurité (appareils de détection d'aéroport...).

⁴³ Circonférence de 0,8 km pour ESRF, 1 km pour FAIR, 26,7 km pour le LHC, près de 100 km pour le projet FCC ; pour les dispositifs linéaires, longueur de 600 m pour ESS, 3,4 km pour E-XFEL, 11 à 50 km pour le projet CLIC.

⁴⁴ Parfois qualifié de « quatrième état de la matière », un plasma est un ensemble des noyaux atomiques et d'électrons, de charge électrique globalement nulle.

⁴⁵ Le champ électrique dans le plasma peut être suscité au moyen d'un rayon laser (comme au SLAC) ou d'un faisceau de particules, comme des protons (comme au CERN dans le cadre du projet AWAKE – *Advanced Wakefield Acceleration*) ou des électrons.

⁴⁶ *European Plasma Research Accelerator with eXcellence In Applications* (« accélérateur européen de recherché à plasma avec excellence dans les applications »).

⁴⁷ Des Etats-Unis, du Japon, de Chine et de Russie notamment.

⁴⁸ « *A l'interface avec la physique des lasers, le HC-TGIR note avec intérêt la voie de recherche autour de l'accélération de particules dans les plasmas, technique qui pourrait permettre d'obtenir, dans le très long terme, des accélérations importantes sur de courtes distances* » (avis du 15 janvier 2018).

Chapitre III

Les TGIR et OI en sciences de la matière

(ILL, Orphée/LLB, ESS, ESRF, SOLEIL, E-XFEL)

et ELI

Les sciences de la matière, ou « physique analytique », examinent celle-ci à un niveau atomique. Les infrastructures correspondantes sont donc des sortes de « microscopes », utiles dans divers domaines (chimie, science des matériaux, biologie et santé...).

La part du temps de faisceau réalisé pour des entreprises, de manière directe ou indirecte, est difficile à évaluer. Si l'achat de temps de faisceau par des entreprises est très faible, une partie de la recherche académique est réalisée dans le cadre de contrats de recherche financés par des entreprises (dont les TGIR n'ont habituellement pas connaissance). Selon certaines estimations, la part de la recherche réalisée pour des entreprises pourrait parfois approcher 25 %⁴⁹. Le CNRS juge toutefois cet ordre de grandeur exagéré.

Pour observer les atomes, il est possible de recourir à un faisceau de neutrons ou de photons (comme les rayons X). Le faisceau traverse l'échantillon, puis atteint un détecteur, permettant le cas échéant de réaliser une image en trois dimensions (tomographie). Ces deux techniques sont habituellement perçues comme complémentaires⁵⁰.

I - Les sources de neutrons

Les sources de neutrons peuvent être de deux types :

- un réacteur nucléaire. Il s'agit de la technologie la plus ancienne et la plus couramment utilisée, notamment par ILL et LLB (qui sont des installations nucléaires de base) ;

⁴⁹ Dans le cas de SOLEIL, selon une étude d'Ernst & Young (2006). La part du temps de faisceau utilisée pour des finalités industrielles était estimée à 20 ou 25 %, alors que la durée effectivement achetée par des entreprises ne représentait que 5 %.

⁵⁰ Ainsi, selon le HC-TGIR, « dans les domaines de la chimie et la matière molle, c'est la sensibilité des neutrons aux noyaux légers qui fera préférer les neutrons au rayons X pour la détermination de structure des matériaux contenant des atomes comme l'hydrogène, le carbone, l'azote et l'oxygène ».

- un dispositif dit de « spallation »⁵¹, qui consiste à bombarder une cible de métal de protons. Il s'agit d'une technologie plus récente, qui doit être utilisée d'ici quelques années par ESS, en cours de construction en Suède, et qui permet une source de neutrons dite « pulsée »⁵², nécessaire pour certaines expériences.

Aussi, bien qu'ILL fournisse le flux de neutrons le plus intense du monde pour un réacteur⁵³ (LLB fournissant quant à lui un flux d'intensité moyenne⁵⁴), cela ne suffit pas pour toutes les expériences. Par ailleurs, l'intensité du flux de neutrons d'ILL est dépassée par certaines sources à spallation au Japon⁵⁵ et aux États-Unis⁵⁶, et pour des raisons techniques, il est impossible de construire un réacteur à plus haut flux qu'ILL. ESS, qui devrait avoir une intensité supérieure à celle des sources à spallation existantes, est donc nécessaire pour que l'Europe conserve son *leadership* mondial dans le domaine des neutrons.

Au-delà de ces considérations techniques, le fait que la spallation n'implique pas de recours à un réacteur nucléaire contribue à expliquer son développement, dans un contexte peu favorable à la construction de réacteurs nucléaires.

A - L'Institut Laue-Langevin (ILL)

L'Institut Laue-Langevin (ILL), situé à Grenoble, a été créé en 1967, afin notamment de contribuer à la réconciliation franco-allemande, à la suite du traité de l'Élysée de 1963. Il est nommé en l'honneur de Max von Laue (physicien allemand) et Paul Langevin (physicien français).

ILL a été créé par une convention du 19 janvier 1967 entre la France et l'Allemagne, révisée notamment lors de l'adhésion du Royaume-Uni en 1974. Selon cette convention, le réacteur est exploité par une société civile dont les associés sont le CEA, le CNRS, la *Gesellschaft für Kernforschung* (Allemagne) et le *Science Research Council* (Royaume-Uni). La convention prévoit qu'à partir du 31 décembre 2023, elle sera reconduite tacitement chaque année, un État pouvant, le cas échéant, décider de se retirer, avec un préavis de deux ans. La DGRI est en discussion avec ses partenaires pour que la convention soit prolongée de dix ans au-delà de cette date.

Si certaines sources à spallation fournissent une intensité plus grande (cf. supra), le seul autre réacteur à produire un flux comparable, situé aux États-Unis, est le HFIR du *Oak Ridge National Laboratory*. Le réacteur d'ILL génère 40 flux, qui alimentent autant d'« instruments » (c'est-à-dire de salles d'expériences).

⁵¹ De l'anglais *to spall*, produire des éclats.

⁵² C'est-à-dire où les neutrons ont des vitesses différentes.

⁵³ Plus de 10^{15} neutrons/cm²/s. Le seul autre réacteur à produire un flux comparable, situé aux États-Unis, est le HFIR du *Oak Ridge National Laboratory*.

⁵⁴ Les réacteurs d'intensité « moyenne » produisent un flux compris entre 10^{14} et 10^{15} neutrons/cm/s.

⁵⁵ *Japan Spallation Neutron Source* (JSNS).

⁵⁶ *Spallation Neutron Source* (SNS).

1 - Une recherche de qualité

Selon le CEA, en 2016, ILL a accueilli 1 306 chercheurs, qui ont réalisé 595 expériences, pour 534 publications.

Selon un rapport d'ESFRI de 2016⁵⁷, l'attribution du prix Nobel de physique à Pierre-Gilles de Gennes pour sa théorie de la reptation des polymères n'aurait pas été possible en l'absence de confirmation expérimentale à ILL⁵⁸.

2 - Quel avenir au-delà de 2030 ?

Bien qu'il puisse techniquement fonctionner bien au-delà de 2030⁵⁹, le principal enjeu de l'Institut Laue-Langevin (ILL) est celui de son avenir au-delà de cette échéance. En effet, au-delà des incertitudes pesant sur la sortie du nucléaire, sa convention constitutive prévoit que les États peuvent se retirer quand ils le souhaitent à compter de la fin 2023⁶⁰.

La DGRI est en discussion avec ses partenaires pour prolonger l'actuelle convention jusqu'en 2033.

⁵⁷ ESFRI, "Neutron scattering II in Europe – Present status and future perspectives", 2016

⁵⁸ De manière paradoxale, la publication d'ILL la plus citée (qui fin 2017 était en 29e position parmi les publications de physique des hautes énergies les plus citées) ne relève pas de son « cœur de métier », mais de la physique nucléaire. Il s'agit en effet d'un article de 2006 sur la mesure d'une caractéristique fondamentale du neutron. C.A. Baker (Rutherford & Sussex U. & Laue-Langevin Inst.) et al., "An Improved experimental limit on the electric dipole moment of the neutron", Phys.Rev.Lett. 97 (2006), février 2006. Le moment de dipôle magnétique des neutrons est une mesure de la distribution de ses charges positive et négative en son sein. À ce stade, aucun moment de dipôle magnétique du neutron n'a été mis en évidence.

⁵⁹ Avis sur le projet de feuille de route 2016 de ESFRI, 5 janvier 2015.

⁶⁰ Selon le CNRS, « le futur à long terme d'ILL est fortement remis en cause par deux aspects : l'acceptabilité des réacteurs de recherche en France (Va-t-on conserver le réacteur de recherche à haut flux de l'ILL au-delà de l'horizon 2030 dans un contexte de sortie du nucléaire ?) et son mode de financement basé sur la sélection de l'excellence où nos partenaires allemands et britanniques pourraient envisager de continuer à utiliser les installations sans en être membre en demandant à la France d'en payer l'essentiel. Devant ces deux contraintes, la France pourrait alors décider de fermer le réacteur de l'ILL vers 2030 ».

Tableau n° 7 : les ressources de la TGIR ILL (en M€)

<i>En M€ RESSOURCES (réalisé)</i>			ILL 2012	ILL 2013	ILL 2014	ILL 2015	ILL 2016	ILL 2017	ILL 2018 (prév.)
<i>Financement sur le budget général de l'État</i>	Programme 172	CEA (cash)	12,917	13,906	13,486	15,141	15,368	14,767	15,158
		CEA (personnel)							
		Total CEA	12,917	13,906	13,486	15,141	15,368	14,767	15,158
		CNRS (cash)	13,497	14,293	13,486	15,713	15,618	15,017	15,325
		CNRS (personnel)							
		TOTAL CNRS	13,497	14,293	13,486	15,713	15,618	15,017	15,325
	TOTAL P 172	26,414	28,199	26,972	30,854	30,985	29,784	30,483	
	Programme 190	CEA	2,270	1,950	2,375	2,043	1,954	1,913	1,753
	Autre	CPER				-	0,770	0,558	
<i>TOTAL Financement État</i>			28,684	30,149	29,347	32,897	33,709	32,255	32,236
	Total Contrats européens		0,687	1,052	0,700	-	-	-	-
<i>Financements de collectivités territoriales</i>	Régions		3,883	6,430	0,880	-	-	0,338	1,250
<i>Financements d'autres États</i>			63,971	61,000	58,676	59,312	60,687	61,605	61,949
<i>Ressources propres de la TGIR</i>		Facturation/Valorisation	2,113	1,577	1,450	2,886	3,432	3,554	3,492
		Produits financiers							
		Autres	0,500	0,515	0,400	1,372	1,763	1,647	
<i>TOTAL RESSOURCES</i>			99,838	100,723	91,453	96,467	99,591	99,399	98,927

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

B - Orphée/LLB

1 - Un flux de neutrons d'intensité moyenne

La TGIR Orphée/laboratoire Léon Brillouin comprend deux composantes : le réacteur Orphée, qui produit les faisceaux de neutrons, et le laboratoire Léon Brillouin (LLB)⁶¹, qui exploite ces faisceaux pour réaliser des expériences. LLB a été créé en 1976 et Orphée mis en service en 1980.

⁶¹ Nommé d'après le physicien franco-américain Léon Brillouin (1889-1969).

Il s'agissait de permettre à la communauté scientifique française de disposer d'un réacteur à vocation essentiellement nationale. Ainsi, contrairement à ILL, LLB ne fournit que des flux de neutrons de moyenne puissance⁶². Les réacteurs de ce type sont relativement courants au niveau mondial⁶³.

2 - Environ 200 publications par an et un avenir limité

Le nombre de publications s'appuyant sur des travaux d'Orphée/LLB est d'environ 200 par an, contre environ 600 pour ILL. Le budget d'Orphée/LLB étant environ trois fois plus faible que celui d'ILL, cela ne semble pas constituer une anomalie.

L'arrêt définitif d'Orphée est prévu pour la fin 2019, du fait de contraintes budgétaires, liées notamment aux surcoûts post-Fukushima à ILL, à la montée en puissance de la construction d'ESS, et aux surcoûts de fabrication des éléments combustibles par CERCA, filiale d'AREVA, qui ont conduit CEA et CNRS à proposer de ne pas renouveler l'achat de combustible à la fin 2014.

LLB devrait cependant subsister, notamment en tant que « tête de pont » française pour l'utilisation d'ESS.

Tableau n° 8 : les ressources de la TGIR Orphée (en M€)

En M€ RESSOURCES (réalisé)		Orphée 2012	Orphée 2013	Orphée 2014	Orphée 2015	Orphée 2016	Orphée 2017	Orphée 2018 (prévision)	
Financement sur le budget général de l'État	Programme 172	CEA (cash)	7,724	8,714	8,520	8,023	7,911	7,569	8,179
		CEA (personnel)							
		Total CEA	7,724	8,714	8,520	8,023	7,911	7,569	8,179
		CNRS (cash)	3,283	3,298	3,400	3,128	3,045	2,855	2,664
		CNRS (personnel)							
		TOTAL CNRS	3,283	3,298	3,400	3,128	3,045	2,855	2,664
		TOTAL P 172	11,007	12,012	11,920	11,151	10,956	10,424	10,843
TOTAL Financement État		11,007	12,012	11,920	11,151	10,956	10,424	10,843	
Ressources propres de la TGIR		Facturation/Valorisation	0,678	0,777	0,686	0,637	0,599	0,594	0,639
		Produits financiers							
		Autres							
TOTAL RESSOURCES		11,685	12,789	12,606	11,788	11,555	11,018	11,482	

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

⁶² Flux compris entre 10^{14} et 10^{15} neutrons/cm/s.

⁶³ Parmi les États disposant de réacteurs d'une puissance comparable, on peut citer l'Allemagne, le Japon, les États-Unis, l'Australie...

C - La future source de neutrons en Suède : ESS

La source européenne de spallation (*European Spallation Source*, ESS) est un consortium pour une infrastructure de recherche européenne (*European Research Infrastructure Consortium*, ERIC). Les statuts de l'ERIC ESS ont été publiés en 2015 au journal officiel de l'Union européenne⁶⁴. Cette TGIR a été poussée par la communauté scientifique depuis 1990 (et peu par la Commission) et lancée par les États, notamment la France en 2010.

ESS a son siège à Lund (Suède), où doit être installée la source de spallation. La gestion des données doit s'effectuer à Copenhague (Danemark). Le dispositif consistera essentiellement en un accélérateur linéaire d'environ 600 m de long, accélérant les protons. À son extrémité les protons heurteront une cible, produisant par spallation les neutrons, qui seront utilisés dans divers halls d'expérimentation.

Ses statuts prévoient que le coût de construction ne peut excéder 1,843 Md€, aux prix de janvier 2013 (CE 2013). Les dépenses culmineraient à 373 M€ en 2017, puis se stabiliseraient à 140 M€ par an à partir de 2026. ESS devrait employer 494 ETP.

La mise en place des flux de neutrons connaît d'importants retards par rapport aux prévisions initiales. ESFRI estimait en 2016⁶⁵ que la pleine capacité de 22 flux, initialement prévue pour 2026, serait atteinte en 2028. Selon les indications fournies à la Cour par le CNRS, il est désormais question de « 3 instruments annoncés en 2025, 16 en 2030 ». Les surcoûts sont estimés à environ 20 %.

Le principal contributeur au coût de construction est la Suède (35 %), suivie du Danemark (12,5 %), de l'Allemagne (11,2 %) et de la France (8 %). Le CEA indique que dans le cas d'ESS, 90 % de la contribution française aux coûts de construction se fait au travers de fourniture en nature (*in kind*). Elle se répartit entre 76,4 M€ CE2013 pour des lots de l'accélérateur et 35 M€ CE2013 conjointement avec le CNRS pour des lots d'instrumentation au travers de l'UMR LLB.

Un enjeu est celui de l'évolution éventuelle de la contribution de la France, actuellement de 8 %. Le rapport de contre-expertise du SGPI (2014) souligne que cette contribution est nettement inférieure à sa part dans l'utilisation d'ILL (23 %). Il préconise donc d'augmenter ce taux, qui pourrait ne pas répondre aux besoins de sa communauté scientifique après la fermeture d'ILL⁶⁶. Toutefois, le coût d'utilisation prévisionnel d'ESS serait environ cinq fois supérieur à celui d'ILL ou de LLB, comme le montre le tableau ci-après.

⁶⁴ Décision d'exécution (UE) 2015/1478 de la Commission du 19 août 2015 instituant la Source européenne de spallation en tant que consortium pour une infrastructure européenne de recherche.

⁶⁵ ESFRI, "Neutron scattering facilities in Europe – Present status and future perspectives", 2016.

⁶⁶ L'article 18 des statuts d'ESS prévoit que « *les membres contribuent aux frais de fonctionnement de l'Organisation au prorata de leur utilisation [d'ESS]* ». Ainsi, selon le rapport de contre-expertise, « *les modalités pratiques de la prise en charge financière de la phase de fonctionnement n'ont pas été définitivement arrêtées, cependant le principe d'une prise en charge proportionnelle à l'utilisation par les chercheurs a été retenu. La contribution du Danemark et de la Suède sera dégressive entre 2021 et 2024 pour revenir vers le minimum de 15 % auxquels ces pays se sont engagés lors de l'appel d'offre ; cela constituera une opportunité d'ajustement ultérieur de la participation française* ».

Tableau n° 9 : coût annuel moyen d'un faisceau de neutrons

	Implantation	Technique	Nombre de flux de neutrons	Nombre de jours moyen de disponibilité d'une ligne (moyenne)	Jours-instruments	Coût opérationnel (M€)	Coût par jour-instrument (€)
<i>ILL</i>	France	Réacteur	40	200	8 000	95	11 900
<i>FRM-II</i>	Allemagne	Réacteur	29	207	6 000	55	9 200
<i>ISIS</i>	RU	Spallation	31	120	3 720	62	16 700
<i>LLB</i>	France	Réacteur	25	151	3 780	30	7 900
<i>BER-II</i>	Allemagne	Réacteur	14	180	2 520	22	8 700
<i>SINQ</i>	Suisse	Spallation	13	185	2 405	30	12 500
<i>Total</i>			152	174	26 425	294	11 100
<i>ESS</i>	Suède	Spallation					
<i>Scénario ESFRI 2016</i>	En 2028		22	180	3 960	140	35 300
<i>Scénario actualisé*</i>	En 2030		16	180	2 880	140	48 611

* Cour des comptes, d'après les données fournies par le CNRS.

Source : d'après ESFRI, "Neutron scattering facilities in Europe – Present status and future perspectives", 2016

D - Une question essentielle, l'évolution des capacités de production de neutrons en Europe

La capacité européenne de production de neutrons, actuellement de 32 000 jours-instruments, doit passer à environ 25 000 jours-instruments en 2020 avec la fermeture de LLB et du réacteur de Berlin, et à environ 20 000 jours-instruments après la fermeture d'ILL.

Selon le CEA, l'offre de neutrons pour les utilisateurs français passerait de 5 000 jours-instruments en 2017 à 2 000 jours-instruments en 2020. La mise en exploitation d'ESS (16 flux en 2030) ne devrait pas améliorer significativement la situation. L'impact serait en outre non négligeable pour l'industrie aéronautique, en particulier dans le domaine de la défense⁶⁷. La question du dimensionnement de la capacité de recherche neutronique en Europe est posée à dix ans. Afin de limiter la baisse, le CEA envisage de mettre en place d'ici 2030 un dispositif dit de « *stripping* »⁶⁸, dans le cadre du projet SONATE mené par LLB.

⁶⁷ Si l'impact de l'arrêt d'Orphée sur la communauté de chercheurs sera quantitativement important, le CEA estime que d'un point de vue qualitatif l'impact sera « *encore plus fort pour les clients industriels d'Orphée qui utilisent la station G45 pour la radiographie par neutrons de pièces aéronautiques et pour le durcissement de composants. Du fait de la nature des matériaux testés et de leur finalité en lien avec l'industrie de la défense, la plupart des expériences conduites sur G45 ne pourront pas être réalisées à l'ILL ou en dehors du territoire national. Pour cette raison, les industriels ont fortement augmenté leur demande en clichés pour les années 2018 et 2019 en prévision de l'indisponibilité de l'installation à partir de 2020* ».

⁶⁸ Comme dans le cas de la spallation, le *stripping* consiste à bombarder une cible au moyen d'un accélérateur de particules. Toutefois l'énergie des particules est alors de seulement quelques dizaines de keV ou de MeV (contre

Tableau n° 10 : les ressources de la TGIR ESS (en M€)

En M€ RESSOURCES (réalisé)		ESS 2012	ESS 2013	ESS 2014	ESS 2015	ESS 2016	ESS 2017	ESS 2018 (prévision)	
Financement sur le budget général de l'État	Programme 172	CEA (cash)			0,444	1,345	3,060	11,486	6,059
		CEA (personnel)			0,031	1,932	4,198	4,255	14,987
		Total CEA	-	-	0,475	3,278	7,259	15,741	21,047
		CNRS (cash)			0,589	2,404	4,857	9,091	6,409
		CNRS (personnel)			0,216	0,524	1,918	2,510	1,086
		TOTAL CNRS	-	-	0,805	2,928	6,775	11,601	7,495
		TOTAL P 172	-	-	1,280	6,206	14,034	27,342	28,542
TOTAL Financement État		-	-	1,280	6,206	14,034	27,342	28,542	
TOTAL RESSOURCES		-	-	1,280	6,206	14,034	27,342	28,542	

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

II - Les sources de photons

Les sources de photons (c'est-à-dire de rayonnement électromagnétique) utilisent des rayons X, qui, compte tenu de leur faible longueur d'onde, leur permettent d'observer des objets de la taille d'un atome.

Elles utilisent deux techniques :

- la technique la plus ancienne est celle du rayonnement synchrotron (cf. supra), utilisée par les deux sources françaises : ESRF et SOLEIL ;
- la technologie la plus récente est celle du laser à électrons libres, utilisée, notamment, par l'E-XFEL, en exploitation à Hambourg depuis 2017.

ESRF et l'E-XFEL figurent sur la feuille de route d'ESFRI.

D'un point de vue géographique, dans le cas des sources de photons, il existe deux grands pôles en Europe : ESRF à Grenoble et DESY (*Deutsches Elektronen-Synchrotron*, synchrotron allemand à électrons), organisme créé en 1959, à Hambourg (qui regroupe divers synchrotrons et l'E-XFEL). Depuis 2006, ESRF est nettement dépassé par DESY pour le nombre de publications⁶⁹.

plus de 100 MeV pour la spallation). Le stripping utilise moins d'énergie que la spallation et recourt à des installations plus compactes et nettement moins coûteuses (ainsi, selon le CEA, le coût du projet serait compris entre seulement 60 M€ et 80 M€). L'intensité du flux de neutrons, beaucoup plus faible que celui d'un réacteur ou d'un dispositif de spallation, serait toutefois suffisante, selon le CEA, pour répondre aux besoins des industriels en science des matériaux. La preuve de faisabilité pourrait être réalisée d'ici 2020, pour une mise en place de la nouvelle source en 2025-2030.

⁶⁹ En 2017, d'après les infrastructures concernées, le nombre de publications a été de 2 101 pour ESRF et 3 170 pour DESY (et 613 pour SOLEIL).

A - Le synchrotron ESRF

ESRF a été juridiquement créée par une convention du 16 décembre 1988 entre treize États⁷⁰, qui prévoit qu'il s'agit d'une « société civile » de droit français, dirigée par un conseil représentant les États participants et nommant un directeur général. La société civile, dont les statuts étaient annexés à la convention, avait pour membres divers opérateurs des États membres, qui dans le cas de la France étaient le CNRS et le CEA. ESRF a été mis en exploitation en 1994.

L'énergie des électrons dans l'anneau de stockage est de 6 GeV, ce qui est l'une des plus élevées du monde, et permet une spécialisation dans les « rayons X durs ».

Le coût d'exploitation annuel est de l'ordre de 82 M€, dont 27,5 % pris en charge par la France.

ESRF publie environ 2 000 articles par an dans des revues à comité de lecture. Elle « revendique » trois prix Nobel de chimie⁷¹.

Une modernisation des équipements est en cours depuis 2006. Dans une première phase (2006-2016), d'un coût de 180 M€, une nouvelle génération de lignes de lumière et de stations expérimentales a été mise en place. Dans une seconde phase (2015-2022), estimée à 150 M€, doit être mise en place la « source extrêmement brillante » (*Extremely Brilliant Source*, EBS), qui doit permettre de réduire la surface du faisceau, et donc d'augmenter la résolution de l'image. Ce résultat sera atteint par la mise en place d'un nouveau réseau d'aimants (ou « maille magnétique »). Dans son avis du 6 janvier 2014, le HC-TGIR s'est déclaré très favorable à la mise en place de cette « source extrêmement brillante », estimant que « *les gains en brillance et cohérence sont tellement grands que les sources avec une maille classique (...) risquent d'être dépassées dans quelques années* ». L'installation doit être arrêtée la totalité de l'année 2019, avec une remise en service en août 2020.

⁷⁰ Les membres actuels sont la France (27,5 % du capital), l'Allemagne (24 %), l'Italie (13,2 %), le Royaume-Uni (10,5 %), la Russie (6 %), l'Espagne (4 %), la Suisse (4 %), le Benesync (Belgique, Pays-Bas) (5,8 %) et le Nordsync (Danemark, Finlande, Norvège, Suède) (5,0 %).

⁷¹ Roderick MacKinnon (2003); Venki Ramakrishnan, Ada Yonath et Thomas Steitz (2009) ; Brian Kobilka et Robert Lefkowitz (2012).

Tableau n° 11 : les ressources de la TGIR ESRF (en M€)

<i>En M€ RESSOURCES (réalisé)</i>			ESRF 2012	ESRF 2013	ESRF 2014	ESRF 2015	ESRF 2016	ESRF 2017	ESRF 2018 (prévision)
<i>Financement sur le budget général de l'État</i>	Programme 172	CEA (cash)	12,057	12,308	11,620	13,265	12,555	12,725	12,870
		Total CEA	12,057	12,308	11,620	13,265	12,555	12,725	12,870
		CNRS (cash)	12,534	12,308	11,590	13,172	12,555	12,925	13,114
		CNRS (personnel)							
		TOTAL CNRS	12,534	12,308	11,590	13,172	12,555	12,925	13,114
	TOTAL P 172	24,591	24,616	23,210	26,437	25,110	25,650	25,984	
Autre	CPER				-	1,540	1,118		
<i>TOTAL Financement État</i>			24,591	24,616	23,210	26,437	26,650	26,768	25,984
<i>Financements de collectivités territoriales</i>	Régions							2,216	2,500
<i>Financements d'autres États</i>			67,418	67,616	70,097	75,710	74,439	79,046	76,825
<i>Ressources propres de la TGIR</i>	Facturation/Valorisation	1,087	1,670	1,310	1,883	2,084	2,147		2,230
	Autres	6,331	10,037	8,061	5,965	2,933	4,362		3,800
<i>TOTAL RESSOURCES</i>			99,427	103,939	102,678	109,995	106,106	114,539	111,339

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

B - Le synchrotron SOLEIL

La France dispose également de la Source Optimisée de Lumière d'Énergie Intermédiaire du LURE⁷² (SOLEIL), sur le plateau de Saclay.

Comme son nom l'indique, il s'agit d'un synchrotron d'énergie moyenne (3 GeV), permettant une lumière allant du rayonnement infrarouge aux rayons X « mous », comme il en existe une dizaine au niveau mondial. Ce type de synchrotron est jugé suffisant pour répondre à une grande partie des besoins nationaux. De fait, il est essentiellement utilisé par des chercheurs français. La décision de créer cette TGIR a été marquée par une polémique entre les chercheurs et le Gouvernement, qui avait un temps annoncé l'abandon du projet.

⁷² L'exploitation du LURE a pris fin en décembre 2003 et l'unité a été arrêtée à la fin de 2005, après le redéploiement des personnels et matériels pour partie vers SOLEIL.

SOLEIL a été créée le 16 octobre 2001, sous la forme d'une société civile (comme ESRF), dont le CNRS et le CEA détiennent respectivement 72 % et 28 % des parts, chargée de gérer la construction puis l'exploitation des équipements. Son conseil d'administration est constitué de 3 représentants du CNRS et 3 représentants du CEA. Elle a été mise en exploitation début 2008.

L'investissement a été de 248,5 M€, financé pour 76 % par les collectivités territoriales⁷³.

SOLEIL prévoit de réaliser une mise à niveau analogue à celui actuellement en cours d'ESRF. Comme dans le cas d'ESRF, il s'agirait de remplacer le réseau d'aimants (ou « maille magnétique ») afin de réduire la dispersion du faisceau d'électrons de l'anneau de stockage, afin d'améliorer la résolution. Le coût est estimé à 177 M€ courants, avec un « pic » de dépenses de 38 M€ en 2023.

Tableau n° 12 : Les ressources de la TGIR SOLEIL (en M€)

En M€ RESSOURCES (réalisé)			SOLEIL 2012	SOLEIL 2013	SOLEIL 2014	SOLEIL 2015	SOLEIL 2016	SOLEIL 2017	SOLEIL 2018 (prév.)
<i>Financement sur le budget général de l'État</i>	Programme 172	CEA (cash)	15,810	16,310	15,237	14,853	15,092	15,094	15,336
		Total CEA	15,810	16,310	15,237	14,853	15,092	15,094	15,336
		CNRS (cash)	39,345	39,608	38,099	38,153	37,925	37,882	38,668
		CNRS (personnel)	1,415	1,072	1,160	0,894	0,883	0,930	0,752
		TOTAL CNRS	40,760	40,680	39,259	39,047	38,808	38,812	39,420
		TOTAL P 172	56,570	56,990	54,496	53,900	53,900	53,905	54,756
	Investisseme nts d'avenir	ANR	0,430	0,828	0,388	0,186	0,517	0,239	0,667
		LABEX	0,001	0,116	0,159	0,035	0,157	0,119	0,066
		Equipex	0,416	1,400	1,443	0,900	1,255	2,796	2,185
	Autres programmes	projets RTRA	0,019		0,047				
	Autre	CPER	1,093	0,673	1,215	-			
TOTAL Financement État			58,529	60,008	57,748	55,021	55,829	57,059	57,608
<i>Finance- ments européens</i>	Contrats Européens : Max IV + TNA		0,533	1,589	1,716	2,143	3,821	1,898	0,594
	PCRDT (H2020...)		0,052	0,174	0,217	0,288	0,240	0,463	0,366
	ERC				0,200	0,642	0,709	0,610	0,340
	Total Contrats européens		0,585	1,764	2,133	3,073	4,770	2,971	1,300
<i>Finance- ments de collectivités territoriales</i>	Régions		0,055	0,122	0,454	0,333	0,059		
<i>Financements d'autres États</i>						-			
<i>Ressources propres de la TGIR</i>	Facturation/Valorisation		0,234	0,310	0,520	0,439	0,496	0,982	0,538
	Produits financiers		0,467	0,166	0,229	0,090	0,388	0,085	0,077
	Autres		0,276	0,364	0,420	0,356	0,606	0,380	0,168
TOTAL RESSOURCES			60,145	62,734	61,504	59,312	62,148	61,477	59,691

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

⁷³ La région Île-de France (148,6 M€), le département de l'Essonne (34,3 M€), et la région Centre (5,2 M€).

C - Le nouveau laser à électrons libres en Allemagne : E-XFEL

Le laser à rayons X à électrons libres européen (*European X-Free Electron Laser*, E-XFEL) a été juridiquement créé par la convention relative à la construction et à l'exploitation d'un laser européen à électrons libres dans le domaine des rayons X, signée à Hambourg, le 30 novembre 2009. En France, cette convention a été ratifiée par la loi n° 2013-708 du 5 août 2013⁷⁴. L'E-XFEL est géré par une société à responsabilité limitée de droit allemand (*Gesellschaft mit beschränkter Haftung*, GmbH). Il a été mis en exploitation en 2017.

Le choix du site du DESY à Hambourg vient du fait que cet organisme est le pionnier mondial en matière de lasers à électrons libres, en particulier grâce à sa machine de développement TESLA, renommée ensuite FLASH (*Free Electron LASer Hamburg*).

Le HC-TGIR, dans son avis du 6 janvier 2014 sur la phase 2 de jouvence d'ESRF, souligne que, du fait de ses caractéristiques, l'E-XFEL ne sera pas concurrent d'ESRF⁷⁵.

Tableau n° 13 : les ressources de la TGIR E-XFEL (en M€)

<i>En M€ RESSOURCES (réalisé)</i>		E-XFEL 2012	E-XFEL 2013	E- XFEL 2014	E- XFEL 2015	E- XFEL 2016	E-XFEL 2017	E-XFEL 2018 (prév.)	
<i>Financement sur le budget général de l'État</i>	Programme 172	CEA (cash)	3,007	1,204	1,502	1,769	3,233	1,704	1,176
		CEA (personnel)	0,923	0,982	1,003	0,883	0,804		
		Total CEA	3,930	2,186	2,505	2,652	4,037	1,704	1,176
		CNRS (cash)	7,388	4,190	6,031	1,936	1,014	1,152	1,176
		CNRS (personnel)	0,404	0,486	0,486	0,483	0,586	0,293	
		TOTAL CNRS	7,792	4,676	6,517	2,419	1,600	1,445	1,176
		TOTAL P 172	11,722	6,862	9,022	5,071	5,637	3,149	2,351
<i>TOTAL Financement État</i>		11,722	6,862	9,022	5,071	5,637	3,149	2,351	
<i>Financements d'autres États</i>					-	82,837	143,498	115,212	
<i>Autres</i>					1,961	3,033			
<i>TOTAL RESSOURCES</i>		11,722	6,862	9,022	7,032	91,507	146,647	117,563	

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

⁷⁴ Loi autorisant la ratification de la convention relative à la construction et à l'exploitation d'un laser européen à électrons libres dans le domaine des rayons X.

⁷⁵ Durée des impulsions beaucoup plus brève, donnant accès à des processus dynamiques qui ne se situent pas aux mêmes échelles de temps ; intensité environ dix ordres de grandeur supérieure à celle du rayonnement synchrotron, au point où dans certains cas l'échantillon devra être étudié en un seul pulse de lumière, avant qu'il ne soit détruit. Il sera possible d'étudier des échantillons plus petits et plus complexes ; faible nombre d'instruments (6, devant être portés à 10, contre actuellement 50 pour ESRF), limitant l'accès à un petit nombre de projets.

III - La politique française dans le cas des lasers à forte puissance

Les lasers de forte puissance jouent un rôle important en physique fondamentale et en sciences de la matière, et pourraient être utilisés à terme pour la construction des futures générations d'accélérateurs de particules (cf. *supra*). Alors que la France dispose d'un savoir-faire reconnu en ce domaine⁷⁶, le HC-TGIR considère qu'elle ne mobilise pas tous les moyens nécessaires pour que ces programmes soient réalisés dans de bonnes conditions⁷⁷.

En conséquence de ces difficultés, le projet européen ELI, ayant obtenu l'inscription sur la feuille de route d'ESFRI en 2016, ne s'est pas structuré autour d'Apollon, mais est en cours de réalisation dans trois pays d'Europe centrale, du fait d'une approche « volontariste » de la part de ces États et de la Commission européenne.

ELI

Selon le HC-TGIR, « la France a été à l'initiative de l'inscription [en 2006] du projet ELI (Extreme Light Infrastructure) sur la feuille de route de ESFRI, avec l'espoir initial d'attirer des participations de pays européens à son propre projet de construction d'un laser à ultra-haute intensité. Les moyens français n'étant pas à la hauteur formulée du projet, trois pays d'Europe de l'est se sont déclarés intéressés »⁷⁸.

En octobre 2009, le consortium de la phase préparatoire d'ELI (ELI-PP) a donné mandat à la République tchèque, la Hongrie et la Roumanie pour procéder à la construction des trois premiers centres de recherche d'ELI, dont la construction a été confiée au ELI Delivery Consortium (ELI-DC), association internationale sans but lucratif de droit belge (AISBL). Le projet est financé par le FEDER. Le Français Gérard Mourou, initiateur du projet et prix Nobel de physique en 2018, était coordonnateur de la phase préparatoire (2007-2010).

⁷⁶ Elle exploite trois principaux lasers : en Nouvelle-Aquitaine, le laser Mégajoule et son « émanation » civile, l'IR PETAL ; sur le site du CEA de l'Orme des Merisiers, l'IR Apollon, qui doit devenir le laser le plus puissant du monde avec ceux du consortium ELI, avec une puissance de 10 pétawatts. Les entreprises françaises Thales et Amplitude Technologie sont les leaders mondiaux pour les lasers à forte puissance. Par ailleurs, le prix Nobel de Physique a été attribué en 2018 à M. Gérard Mourou, pour ses travaux dans le domaine des lasers.

⁷⁷ PETAL et Apollon sont de « simples » IR. L'achèvement de la construction de PETAL et Apollon, déjà exploités mais qui n'ont pas encore atteint leur pleine puissance, se heurte à des difficultés financières. Ainsi, dans ses avis sur les projets de feuilles de route 2016 et 2018 de la DGRI, le HC-TGIR préconise de trouver les financements nécessaires pour terminer la construction des lasers PETAL et Apollon, le cas échéant dans le cadre du PIA ou par redéploiement de moyens budgétaires et humains actuellement distribués sur d'autres installations lasers.

⁷⁸ Avis du HC-TGIR, « Les lasers de haute densité d'énergie et les lasers d'ultra-haute intensité. Panorama, forces et faiblesses, priorités d'action », 26 mai 2016.

Les trois sites sont les suivants : en République tchèque, ELI-Beamlines, qui doit se consacrer au développement de sources secondaires (rayons X et particules) à partir d'un laser 10 PW construit par une société américaine⁷⁹ ; en Hongrie, ELI Attosecond Light Pulse Source (ELI-ALPS), qui doit fournir des impulsions ultra-courtes à haute cadence ; en Roumanie, ELI Nuclear Physics (ELI-NP), qui doit se concentrer sur des applications scientifiques dans le domaine de la physique nucléaire avec deux lasers 10 PW construits par Thales et à une source de rayonnement gamma produite notamment grâce à un laser. Les rayons laser et gamma doivent être utilisés pour fabriquer des ions, ensuite sélectionnés par une technique dite « IGISOL »⁸⁰.

La feuille de route 2018 d'ESFRI évalue le coût de construction à 850 M€, pour un coût opérationnel de 80 M€ par an.

Ce projet pose diverses questions. Tout d'abord, la communauté utilisatrice des trois États concernés est modeste. Ensuite, si ELI-NP (Roumanie) est complémentaire de GANIL, qui utilise une autre technique⁸¹, ELI-Beamlines (République tchèque) est quant à elle en concurrence directe avec l'IR Apollon, en particulier en ce qui concerne le développement de techniques d'accélération de particules par plasma.

Le MESRI, qui considère que l'enjeu pour le budget de la recherche française pourrait s'élever entre 5 et 10 M€/an, estime celui-ci « *pas prioritaire ni même pertinent* » d'un point de vue scientifique. La France pourrait toutefois décider de financer le projet pour des raisons diplomatiques. Avec notamment l'Allemagne, elle s'efforce d'en réduire le coût potentiel.

⁷⁹ National Energetics.

⁸⁰ *Ion Guide Isotope Separation On-Line*, séparation isotopique en ligne avec guide d'ions.

⁸¹ ISOL, et non IGISOL.

Chapitre IV

Les TGIR du domaine

« Système Terre et environnement », des infrastructures complémentaires

Avec 25 structures répertoriées dans la Stratégie Nationale des Infrastructures de Recherche (2018) dont 5 TGIR, le domaine « système terre et environnement » couvre des champs d'expérimentations très vastes comme la terre interne, l'atmosphère, les océans et le littoral, les surfaces continentales, la biodiversité et les écosystèmes. Des infrastructures très diverses sont alors indispensables.

Une meilleure connaissance des processus à l'œuvre au sein des compartiments de la planète, et entre eux, requiert des moyens lourds et onéreux (satellites, navires...). Des programmations collaboratives ont alors été progressivement mises en place à partir des années 1990.

L'acquisition de données et la collecte d'échantillons nécessitent des infrastructures « logistiques » qui permettent aux chercheurs de réaliser des observations, des prélèvements, des expériences *in situ* sur les océans. La TGIR FOF (Flotte océanographique française) avec ses navires hauturiers, côtiers et de station, tout en étant un outil de souveraineté nationale, permet aux scientifiques de réaliser des expérimentations sur les différents océans. De la même façon, la réalisation de forage océanique profond est un outil essentiel pour permettre aux chercheurs de comprendre et de prédire le fonctionnement de la terre. La France, au travers de la TGIR IODP/ECORD, participe au consortium européen des navires foreurs. À côté de ces plateformes de forage, la France, grâce à la station d'observation franco-italienne CONCORDIA, peut accueillir des chercheurs réalisant des programmes de recherche et d'observation uniques en Antarctique.

Disposer de bases de données permet également aux chercheurs de mieux comprendre le fonctionnement de notre planète. La France participe à plusieurs programmes internationaux. Ainsi, la TGIR EURO-ARGO avec ses 4000 flotteurs répartis sur tous les océans permet de mesurer en temps réel la température et la salinité des océans de la surface à 2000 m de profondeur. De son côté, la TGIR ICOS réalise des mesures sur le cycle du carbone, les flux et concentrations atmosphériques des eaux de surface océaniques en gaz à effet de serre. C'est l'ensemble de ces données qui permettent d'alimenter les avancées scientifiques dans la connaissance du système terre.

I - FOF

A - Présentation générale de la TGIR

La TGIR FOF est la plus coûteuse mais également la plus emblématique du domaine « système terre et environnement ».

Depuis le 1er janvier 2018, FOF (ou « la Flotte ») n'est plus une unité mixte de service mais est rattachée à un seul organisme de recherche : l'Ifremer. Cet adossement de la Flotte à l'Ifremer s'est effectué sur la base des principes suivants :

- unification budgétaire (l'Ifremer reçoit désormais une subvention unique de la part du MESRI pour gérer l'ensemble de la flotte unifiée) ;
- définition d'un cahier des charges pour l'emploi de la flotte et unification de la programmation ;
- mise en place d'une structure au sein de l'Ifremer.

Un comité directeur de la Flotte a été mis en place sous la présidence du ministère de la recherche. Il est composé d'un représentant de l'Ifremer, du CNRS, de l'IRD et des universités utilisatrices (réseau des universités marines). Les décisions de cet organe sont prises à l'unanimité par consensus entre les différents membres. Son rôle principal est d'examiner et de valider la programmation de la flotte bâtie selon le cahier des charges de la programmation, le budget associé et son exécution.

Une direction de la Flotte (DFO) est créée au sein de l'Ifremer. Elle a pour mission le déploiement opérationnel. Elle définit et met en œuvre la programmation de la flotte océanographique française au service des diverses communautés utilisatrices. Elle a en charge le développement des moyens navals ainsi que leur optimisation. Elle assure le pilotage des structures en charge de l'armement de l'ensemble des navires de la flotte (notamment Genavir). Elle coordonne pour la France le développement d'accords internationaux relevant des flottes océanographiques. Cette direction comprend environ 73 personnes réparties entre un pôle opérations navales et deux unités d'ingénierie (unité navires et systèmes embarqués, et unité des systèmes sous-marins).

Un comité scientifique (CS) composé de douze personnalités qualifiées dont 8 issues de la communauté nationale, et 4 de la communauté internationale a pour objectif d'aider le comité directeur et la direction de la Flotte à maintenir la FOF au meilleur niveau international au regard des enjeux scientifiques et de l'évolution des flottes étrangères. Des commissions scientifiques : commission nationale de la flotte hauturière (CNFH) et la commission nationale de la flotte côtière (CNFC) évaluent les projets de campagnes en mer, leurs conditions de mise en œuvre, et leurs valorisations scientifiques post-campagne.

B - Des partenariats fructueux entre des acteurs relevant de tutelles ministérielles différentes : les TAAF et la Marine nationale

Les Terres australes et antarctiques françaises (TAAF) et l'IPEV ont décidé de mutualiser, lors de sa construction en 1995, le navire Marion Dufresne II. Par convention entre les parties,

le navire est affrété 120 jours par an par les TAAF pour la réalisation de ses missions logistiques et il est sous-affrété 217 jours par an à l'IPEV pour la réalisation de missions océanographiques. Depuis le 1er janvier 2018, c'est la DFO de l'Ifremer qui programme et pilote les campagnes océanographiques menées par le Marion Dufresne II à hauteur de 217 jours par an. Les TAAF sont toujours propriétaires du navire.

Conscients que les besoins d'hydrographie et d'océanographie de la Marine nationale et de la communauté scientifique concourent à des activités de même nature, des synergies entre les ministères de la recherche et de la défense ont été recherchées dès les années 2000 pour renouveler leurs moyens maritimes. Ainsi, par convention conclue le 12 avril 2011, la Marine nationale et l'Ifremer s'accordent pour faire construire deux bâtiments en commun :

- le Beautemps-Beaupré qui sera propriété de la Marine à hauteur de 95 % et de 5 % pour l'Ifremer lui donnant un droit d'accès de 10⁸² jours par an en moyenne pluriannuelle. En 2019, ce crédit sera utilisé et les droits d'utilisation remis à zéro ;
- le Pourquoi pas ? qui sera financé par l'Ifremer à hauteur de 55 % et de 45 % par la Marine, et qui sera propriété de l'Ifremer. La Marine bénéficie d'un droit d'accès de 150⁸³ jours par an.

Par accord du 28 juin 2011, la Marine nationale, le service hydrographique et océanographique de la Marine (SHOM) et l'Ifremer décident qu'en vue d'optimiser la gestion de leurs flottes, l'élargissement de l'utilisation des navires à L'Atalante, Thalassa, Le Suroît pour l'Ifremer et aux Laplace, Borda, La Pérouse pour la Marine en application d'une grille d'équivalence à l'autre partie. L'Ifremer va ouvrir l'utilisation du Nautille et du ROV Victor 6000⁸⁴ au SHOM, et ce dernier va lui permettre d'utiliser sa vedette hydrographique.

Grâce à ces deux partenariats, la TGIR FOF dispose au 31/12/2017 de 18 navires, engins sous-marins et équipements lourds.

1 - Une structure multiple composée de 18 navires au 31 décembre 2017 et d'engins embarqués

FOF est une infrastructure mobile avec un périmètre qui s'est modifié au fil des années. Ainsi, en 2016, le navire côtier Gwen Drez est sorti de la Flotte pour être déconstruit, l'Astrolabe a rejoint la TGIR Concordia, en 2017 le navire hauturier Le Suroît a été vendu par l'Ifremer. Chaque navire possède des équipements propres qui lui permettent de réaliser des missions spécifiques. La TGIR permet aux chercheurs français d'effectuer leurs programmes de recherche sur tous les océans.

⁸² Cependant, lors de la négociation en janvier 2018 de sa convention avec sa Marine, l'Ifremer a décidé de réduire son engagement à 5 jours par an pour réaliser des campagnes sur le Beautemps-Beaupré pour les 4 années à venir. Toutefois, son droit reste bien de 10 jours par ailleurs.

⁸³ Lors de la négociation de la dernière convention d'exploitation signée en janvier 2018 pour une durée de 4 ans, la Marine a souhaité diminuer sa contribution financière annuelle à un montant correspondant à 130 jours, sans pour autant renoncer à ses droits de 150 jours pour les années à venir.

⁸⁴ Ces deux engins font partie intégrante de la grille d'échange de l'Ifremer.

Carte n° 1 : Déploiement des navires de la FOF sur les différents océans

Source : Flotte océanographique

FOF, qui a le statut de TGIR depuis 2008, regroupe 18 navires appartenant à l'Ifremer, au CNRS, à l'IPEV et à l'IRD comme l'illustre le tableau ci-après :

Tableau n° 14 : les navires composant la TGIR FOF

Nom des navires	Propriétaire	Lancement	Armement	Activités	Zone d'activités
NAVIRES HAUTURIERS					
<i>Marion Dufresne 2</i>	GIE MDII	1995	Louis Dreyfus Armateurs		Tous océans hors zone polaire
<i>Pourquoi Pas ?</i>	Ifremer	2005	Genavir	Hydrographie, géoscience, océanographie physique, chimique et biologique	Outre-mer/ Atlantique/Méditerranée
<i>l'Atalante</i>	Ifremer	1990	Genavir	Géosciences marines, océanographie Physique, biologie marine	Outre-mer/ Atlantique/Méditerranée
<i>Thalassa</i>	Ifremer	1996	Genavir	Recherche halieutique, océanographie physique	Tous océans hors zone polaire
<i>Antéa</i>	IRD	1995	Genavir	missions en océanographiques physique, de biologie et des missions de plongée (étude de la biodiversité).	Outre-mer
<i>Alis</i>	IRD	1987	Genavir	missions océanographiques de physique, de biologie et bathymétrie, navire support pour des missions de plongée (étude de la biodiversité)	Outre-mer
NAVIRES COTIERS					
<i>L'Europe</i>	Ifremer	1993	Genavir	missions très diverses, liées en particulier à la recherche halieutique et à l'environnement littoral	Méditerranée
<i>Thalia</i>	Ifremer	1978	Genavir	campagnes d'environnement côtier et d'évaluation des ressources de pêche	Atlantique
<i>Côtes de la Manche</i>	CNRS-INSU	1997	INSU	géosciences marines, de l'océanographie physique et biologique, la bio-géochimie et la chimie des océans + missions d'observation à long terme de l'environnement marin et missions de recherches et d'essais dans les différents domaines de la technologie marine	Atlantique/Manche
<i>Tethys II</i>	CNRS-INSU	1993	INSU	géosciences marines, de l'océanographie physique et biologique, la bio-géochimie et la chimie des océans	Méditerranée
<i>Haliotis</i>	Ifremer	2008	Genavir	cartographie	Manche/Atlantique/ Méditerranée/Outre-mer
NAVIRES DE STATION					
<i>Antedon II</i>	CNRS-INSU	2003	INSU	observation, enseignement	Marseille
<i>Sepia II</i>	CNRS-INSU	1981	INSU	enseignement en biologie, écologie marine, biogéochimie et bio optiques + mesures de courantologie	Wimereux
<i>Nereis II</i>	CNRS-INSU	2001	INSU	missions de recherche, d'observation, d'enseignement, d'aquariologie mais aussi des missions de médiation scientifique et de technologie marine avec le pool de bouées instrumentées de l'Observatoire à maintenir	Port-Vendres
<i>Neomysis</i>	CNRS-INSU	2008	INSU	recherche et d'enseignement en biologie et écologie marine, biogéochimie et océanographie + collecte de matériel biologique destiné au Centre de Ressources Biologiques Marines	Roscoff
<i>Albert Lucas</i>	CNRS-INSU	2009	INSU	recherche et enseignement en biologie et écologie marine, biogéochimie et océanographie	Brest
<i>Planula iV</i>	CNRS-INSU	2005	INSU	recherche, enseignement, observation	Arcachon
<i>Sagitta III</i>	CNRS-INSU		INSU	observation, recherche et enseignement en biologie et écologie marine, bio géochimie, sismique et océanographie	Villefranche

Source : Cour des comptes

Au niveau européen, les deux pays dont la taille de flotte est comparable à la France sont la Grande Bretagne et l'Allemagne⁸⁵. Cependant, leurs flottes sont centrées sur la recherche, au contraire de la flotte française qui est multifonctionnelle.

2 - Missions

La Flotte a trois missions principales :

- effectuer des recherches scientifiques et des observations dans tous les domaines de l'océanographie appartenant principalement aux sciences de l'Univers et aux sciences de l'environnement, participer à la formation à la recherche en liaison avec les universités ;
- répondre à des besoins de surveillance, d'expertise ou de missions de service public pour le compte de l'État. Elle aborde alors les thèmes de l'hydrographie, de l'environnement côtier, des ressources halieutiques, de la délimitation de la ZEE, ainsi que les aléas sismiques, volcaniques et gravitaires ;
- elle est également sollicitée dans le cadre d'affrètements, de partenariats recherche-industrie avec le monde socio-économique, notamment dans le domaine des ressources minérales et énergétiques.

Au cours de l'année 2017, les 11 navires hauturiers et côtiers composant la TGIR ont rempli les missions indiquées par le tableau ci-après.

Tableau n° 15 : activités des navires hauturiers et côtiers programmées par la TGIR FOF (année 2017) en nombre de jours

<i>Navires</i>	Recherche scientifique	Service public (Hors marine)	Marine	Partenariats public-privé. Affrètements	Arrêts Techniques et Missions d'essais techniques	Désarmement
<i>Pourquoi pas ?</i>	161	64	95	0	13	32
<i>L'Atalante</i>	205	0	30	0	87	43
<i>Thalassa</i>	54	99	0	4	170	38
<i>Marion Dufresne 2 (1)</i>	154	39	0	0	32	0
<i>Navires hauturiers</i>	573	201	125	4	302	113
<i>Côtes de la Manche</i>	291	0	0	0	45	29
<i>Tethys</i>	204	0	0	0	2	159
<i>L'Europe</i>	84	69	0	0	32	180
<i>Thalia</i>	136	48	0	7	23	151
<i>Haliotis</i>	75	0	0	0	17	273
<i>Alis</i>	150	0	0	0	80	135
<i>Antea</i>	208	0	0	24	6	127
<i>Navires côtiers</i>	1148	117	0	31	205	1054

Source : Réponse au questionnaire de la Cour, bilan d'activité UMS Flotte 2017

(1) Le total des jours d'activités du Marion Dufresne n'est pas égal à 365 mais à 224 car ce navire n'est pas affecté pour la totalité de son temps d'activité à la TGIR

⁸⁵ Selon l'Ifremer, les autres flottes européennes sont de taille plus modeste (Pays-Bas), sous-utilisées (Italie et Espagne), ou principalement orientées vers la surveillance environnementale et la ressource halieutique (Norvège).

Les missions de service public effectuées par les navires de la TGIR FOF sont de trois ordres : il s'agit, premièrement, de missions pour la collecte de données halieutiques majoritairement pour le compte du ministère de l'écologie (DPMA⁸⁶) dans le cadre de la politique commune de la pêche européenne ; deuxièmement, de missions réalisées pour le compte du ministère de l'écologie (DEB)⁸⁷ dans le cadre de la déclinaison de la DCSMM⁸⁸ ; et enfin, troisièmement, de missions d'appui à la puissance publique dans le cadre des permis miniers détenus par l'Ifremer pour le compte de la France.

Si l'on exclut les périodes d'arrêts techniques et de désarmement, on constate que les navires hauturiers ont eu au cours de l'année 2017 une activité de recherche représentant plus de 63 % de leur temps en mer et que cette activité de recherche a été également la mission principale des navires côtiers (plus de 88 % du temps d'activité en mer). À côté des activités de recherche proprement dites, des missions d'enseignement sont également assurées sur les navires au profit d'étudiants en master et en formations d'ingénieurs⁸⁹. Ainsi, l'Ifremer a indiqué à la Cour que « *les navires de station contribuent à l'enseignement à hauteur d'environ 30 % de leur utilisation* », pour les navires côtiers CNRS cette activité d'enseignement s'est élevée à 93 jours/an sur 2011/2016. Les communautés scientifiques à bord des navires de la TGIR FOF assurent également des missions dédiées aux « services nationaux observation » (SNO). L'objectif de cette utilisation spécifique est de recueillir des données d'observations récurrentes pendant au moins plusieurs années.

La TGIR FOF est un outil de production scientifique majeur pour l'Ifremer, l'IRD, l'IPEV et le CNRS et plus largement pour la communauté française des sciences marines. En outre, elle a un rôle structurant sur la communauté scientifique nationale et internationale comme en atteste les publications de rang A qui sont co-signées par des membres de laboratoires français différents et/ou par des scientifiques étrangers⁹⁰.

Ainsi, l'impact de la Flotte en terme de publications a fait l'objet d'une étude bibliométrique sur la période 2000-2011 (Boudet et al., 2015). Dans cette étude qui ne concernait que les publications issues des navires hauturiers (c'est à dire 4 des 18 navires de la Flotte), 2641 publications de rang A rédigées par des équipes françaises et/ou étrangères faisant référence à des campagnes effectuées sur des navires français ont été répertoriées sur la période, soit une moyenne de 220 publications par an.

⁸⁶ Direction des pêches maritimes et de l'aquaculture (DPMA).

⁸⁷ Direction de l'Eau et de la Biodiversité.

⁸⁸ Directive Cadre Stratégie du Milieu Marin.

⁸⁹ On peut citer les universités et écoles suivantes : UPMC, Bordeaux, UBO, Lille, ULCO, AMU, Grenoble, Lyon, Nice, IPGP, Institut Lassalle Beauvais qui utilisent les navires de la TGIR.

⁹⁰ Sur la période 2000-2014, le rapport « Prospective Flotte Océanographique Française » coordonné par Mme Catherine Jeandel dénombre 65 laboratoires et 22 organismes de recherche et universités ayant co-signés de travaux issus de l'utilisation des navires hauturiers. Les collaborations les plus nombreuses étant enregistrées avec les États-Unis (829 publications), le Royaume-Uni (618 publications) puis l'Allemagne (549 publications).

De son côté le service SISMER⁹¹, pour la période 2000-2011, a recensé 3 872 publications⁹² soit une moyenne de 323 publications par an. Sur la période plus récente (2010-2017), 4 565 publications ont été recensées soit une moyenne de 571 publications par an.

Graphique n° 1 : nombre total de publications (rang A et autre littérature) faisant référence à la Flotte recensées par le SISMER par année sur la période 2010-2017



Source : Sismer. Les domaines de publications sont divers à l'image des sphères de recherche des utilisateurs de la TGIR.

3 - Les utilisateurs de la TGIR FOF

Les scientifiques français utilisateurs de la TGIR FOF sont environ 3 600, réparties principalement dans des laboratoires académiques mixtes (universités, CNRS, IRD, Ifremer, CEA, MNHN) ainsi que des unités propres Ifremer. Cette communauté de chercheurs se distribue entre plusieurs disciplines : les géosciences pour environ 25 %, la physique-chimie-bio-géochimie (cycles des océans) pour environ 35 % et la biologie-écologie-ressources halieutiques pour environ 40 %.

Toutefois, en fonction du navire utilisé et de ses équipements mais aussi de la zone de la campagne en mer, la discipline étudiée sera différente. Si l'Europe et le Thalia connaissent une forte demande de missions en mer de la part de la communauté scientifique halieutique, ce n'est pas le cas pour l'Alis et le Téthys.

4 - Sélection des demandes de campagne en mer

La programmation des moyens de la TGIR repose sur plusieurs types de demandes en fonction des missions dévolues à la TGIR.

⁹¹ Systèmes d'Informations Scientifiques pour la Mer (SISMER) est le portail des données marines : <http://www.flotteoceanographique.fr/Documentation/Base-de-donnees-des-publications>.

⁹² Les publications recensées sont plus nombreuses car elles prennent en compte des publications non limitées aux publications de rang A (rang A, rapport, thèses...) issues de l'ensemble des navires de la flotte.

Trois appels d'offres distincts sont réalisés qui concernent les navires hauturiers, côtiers et de station. Concernant les navires hauturiers, les appels d'offres sont annuels, tous océans, et lancés en année N-2 par rapport à l'année de programmation (année N). Pour les navires côtiers (< 36m) métropolitains, et le Pacifique Ouest, les appels d'offres sont annuels et lancés en année N-1. L'utilisation des navires de station fait, quant à elle, l'objet d'une programmation semestrielle.

Les différentes demandes déposées sont ensuite évaluées par la CNFH ou par la CNFC qui les classent par priorité. Priorité P1 : demande prioritaire et conservée pour une durée de trois ans ; priorité P2 : demande non prioritaire et conservée pendant un an, non retenue. Les campagnes récurrentes (observatoires aux niveaux national ou européen, enseignement) sont évaluées lors de leur première année de labellisation et gardent leur classement pour l'ensemble de la durée de leur labellisation avec une évaluation annuelle simplifiée. Par ailleurs, la programmation proposée par la DFO au comité directeur doit respecter le cahier des charges suivants : 450 jours minimum de jours de recherche pour l'ensemble des quatre navires hauturiers, 960 jours de recherche-enseignement pour les navires côtiers.

Les dossiers, soumis à l'évaluation de la CNFH et de la CNFC, ont déjà été relus, expertisés et validés au sein des différentes communautés scientifiques. Ils sont sélectionnés en amont, pour leur financement, par différents comités scientifiques. Leur taux de sélection est relativement important avec 20 % des dossiers non retenus pour les navires hauturiers et 13% des demandes qui sont considérées comme non prioritaires.

Tableau n° 16 : taux de sélection (%) des demandes de campagnes sur les navires hauturiers de la flotte océanographique pour les années 2015 à 2017 et moyenne des taux de sélection 2015-2017

<i>CNPH</i>	2015	2016	2017	<i>Moyenne</i>
<i>P1</i>	36	49	53	<i>46</i>
<i>P2</i>	12	13	16	<i>13</i>
<i>Non retenue</i>	24	18	18	<i>20</i>
<i>Observatoires</i>	28	21	13	<i>21</i>
<i>TOTAL</i>	100	101	100	<i>100</i>

Source : DFO, Ifremer

Tableau n° 17 : taux de sélection (%) des demandes de campagnes sur les navires côtiers de la flotte océanographique pour les années 2015 à 2017 et moyenne des taux de sélection 2015-2017

<i>CNFC</i>	2015	2016	2017	<i>Moyenne</i>
<i>P1</i>	58	57	57	<i>57</i>
<i>P2</i>	6	11	7	<i>8</i>
<i>Non retenue</i>	6	0	5	<i>4</i>
<i>Observatoires</i>	4	6	4	<i>4</i>
<i>Enseignement</i>	27	26	27	<i>27</i>

Source : DFO, Ifremer

Tableau n° 18 : taux de sélection (%) des demandes de campagnes sur les navires de station de la flotte océanographique pour les années 2015 à 2017 et moyenne des taux de sélection 2015-2017

<i>CLEs</i>	2015	2016	2017	<i>Moyenne</i>
<i>P1</i>	37	32	26	<i>31</i>
<i>P2</i>	9	19	14	<i>14</i>
<i>Non retenue</i>	1	2	6	<i>3</i>
<i>Observatoires</i>	26	19	23	<i>23</i>
<i>Enseignement</i>	26	27	31	<i>28</i>

Source : DFO, Ifremer

En parallèle des navires de la TGIR, les scientifiques français peuvent avoir accès aux navires d'autres états européens.

FOF au service des flottes européennes ?

S'il n'existe pas d'infrastructure de recherche « flotte européenne »⁹³, deux initiatives de mutualisation des navires ont été mises en œuvre. La première, datant de 1996, vise à optimiser le positionnement et l'usage des navires. L'OFEG (*Ocean Facilities Exchange Group*) est issu d'un accord tripartite signé en 1996 entre l'Ifremer, le NERC (*Natural Environment Research Council*) pour la Grande-Bretagne, le BMBF (*Bundesministerium für Bildung und Forschung*) pour l'Allemagne fédérale, afin de faciliter les échanges de grands équipements océanographiques (navires, Rovs, prêts de matériels...) en Europe (on parle d'échanges de temps-navire). Cet accord a été transformé depuis en OFEG (*Ocean Facilities Exchange Group*) avec l'adhésion des Pays-Bas, de la Norvège et de l'Espagne. Dans le cadre de cet accord, chaque navire et chaque équipement lourd se voit attribuer un nombre de point qui traduit à la fois son coût journalier et ses capacités opérationnelles. Deux réunions formelles par an permettent de se présenter mutuellement les calendriers et d'exprimer le besoin de réaliser une ou plusieurs campagnes dans des zones où l'on ne dispose pas de moyens. Un pays peut accepter de réaliser une campagne pour un autre pays, ce qui lui ouvre un crédit de points en fonction du nombre de points journaliers du navire en question et du nombre de jours que représente la campagne. Le pays débiteur « rendra » les points ultérieurement, parfois plusieurs années après ; il n'y a aucun flux financier. Ce système fondé sur la réciprocité fonctionne sans difficultés.

⁹³ Il n'existe pas de pavillon maritime européen, donc tout navire est nécessairement sous un pavillon national.

La seconde initiative a vu le jour en 2009, portée par l'Ifremer qui en a été le coordinateur. Il s'agit des projets européens de type I3 (*Integrated Infrastructure Initiative*) EUROFLEETS I (2009 – 2013 ; 24 institutions de 16 pays), puis EUROFLEETS II (2013 – 2017 ; 31 partenaires de 20 pays européens). Ces projets comportent trois volets : un volet mise en réseau des acteurs (NA), un volet accès transnational aux infrastructures (TNA) et un volet R&D partagée. Le volet NA est important sachant que seuls les membres de l'OFEG avaient initialement une connaissance mutuelle et réciproque alors que les autres opérateurs de navires côtiers ou régionaux qui ont rejoint Eurofleets ne se connaissaient la plupart du temps pas entre eux. Le sujet TNA a permis par exemple de retenir et de financer 18 campagnes grâce à une contribution de l'ordre de 2,7 M€ de la Commission européenne (77 jours à bord de cinq navires de classe Globale et 93 jours à bord de 10 navires de classe Régionale) durant EUROFLEETS I. Mais le système de *Transnational Access* qui est désormais bien rodé n'a pas trouvé de relais pérenne permettant aux pays ne disposant pas de navires adaptés d'avoir accès aux navires des autres, faute de volonté réelle des pays à financer un tel budget sur leurs fonds propres. L'Ifremer est partenaire d'une nouvelle proposition EUROFLEETS+, présentée à l'appel à projets H2020-INFRAIA2018 portée par le Marine Institute (Irlande), qui vient d'être validée par la Commission.

Enfin, l'Ifremer co-anime le groupe de travail du *European Marine Board* (EMB) relatif aux flottes de recherche européennes dont le livrable attendu en 2019 est un nouveau document se substituant au document de position datant de 2007 dont les propositions avaient été pour partie retenues à travers la mise en place des projets EUROFLEETS.

Tableau n° 19 : les ressources de la TGIR FOF (en M€)

En M€ RESSOURCES (réalisé)		FOF 2012	FOF 2013	FOF 2014	FOF 2015	FOF 2016	FOF 2017	FOF 2018 (prévision)	
Financement sur le budget général de l'État	Programme 172	CNRS (cash)	1,164	1,164	1,322	1,306	1,323	1,323	
		CNRS (personnel)	2,917	2,754	2,964	3,300	3,680	3,295	
		TOTAL CNRS	4,081	3,918	4,286	4,606	5,003	4,618	
		Ifremer	0	0	0	42,287	40,761	40,744	
		IRD	3,948	3,817	5,02	4,8	4,567	5,119	
		TAAF							
		IPEV	9,342	9,342	9,218	8,481	6,762	7,703	
		TOTAL P 172	17,371	17,077	18,524	60,174	57,093	58,184	
		Universités	0,004	0,141	0	0,003	0,121	0	
	Total P 150	0,004	0,141	0	0,003	0,121	0		
	Programme 190	CEA							
	Programme 187	Ifremer	41,234	41,734	42,287	0	0	0	
	Investissements d'avenir	ANR					0,763	7,000	
Equipex		0	0	0	12,997	0	0		
Autres	Marine nationale	3,76	4,41	3,84	4,8	3,817	3,75	4,36875	
TOTAL Financement État		62,369	63,362	64,651	77,974	61,794	68,934	4,369	
Financements européens	Contrats Européens	1,37	1,27	1,79	0,00	2,45	1,96	1,96	
	FEDER	0,00	0,00	0,22	0,00	0,40	4,55	5,15	
	PCRD (H2020...)	0	0	0	0,6	0,43	0	0	
	Total Contrats européens	1,37	1,27	2,00	0,60	3,28	6,51	7,11	
Financements de collectivités territoriales	Régions	0,25	0,06	0,00	0,63	0,46	0,77	0,83	
Autres		6,14	2,26	8,50	4,04	5,73	1,35	0,43	
TOTAL RESSOURCES		70,120	66,948	75,157	83,239	71,266	77,565	12,741	

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

II - Les autres TGIR et OI du domaine « système Terre et environnement »

En complément de la TGIR FOF, des stations d'observation sont nécessaires pour comprendre le fonctionnement de la terre, les changements climatiques mais également des supercalculateurs pour analyser des données météorologiques. Les six structures du domaine Sciences du système Terre et de l'environnement sont diverses mais complémentaires. L'alliance Allenvi assure la cohérence de l'ensemble face aux besoins des scientifiques.

A - Organisation internationale : le CEPMMT

À côté des cinq TGIR du domaine système Terre, la stratégie nationale des infrastructures de recherche recense une seule organisation internationale. Le centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT) est une organisation intergouvernementale indépendante créée en 1975 et financée par 34 États (22 pays européens et 12 autres pays associés).

Il s'agit d'une structure atypique car elle est à la fois un institut de recherche et un service opérationnel. Ses principaux objectifs sont :

- le développement de méthodes numériques pour la prévision météorologique à moyen terme ;
- l'élaboration régulière de prévisions à moyen terme sur l'Europe et la mise à disposition de ces prévisions aux services météorologiques des États-membres ;
- la recherche scientifique et technique dans le but d'améliorer ces prévisions ;
- la collecte et l'archivage de données météorologiques.

Pour fournir des prévisions à l'échelle synoptique jusqu'à une échéance de 10 jours, il doit nécessairement intégrer les améliorations les plus récentes auxquelles peuvent recouvrir l'analyse objective et la prévision dans un environnement informatique très puissant, et notamment l'assimilation variationnelle quadridimensionnelle (avec inclusion de données satellitaires), la prévision d'ensemble et les méthodes modernes de paramétrisation.

Ainsi, le CEPMMT coordonne et met en œuvre les services atmosphère (chimie de l'atmosphère, qualité de l'air) et changement climatique (réanalyses, prévisions climatiques, indicateurs de changement du climat) du programme européen Copernicus de surveillance de l'environnement.

Pour pouvoir remplir les objectifs qui sont les siens, le CEPMMT nécessite des moyens financiers importants qui ne sont envisageables que dans le cadre d'une mutualisation des ressources entre de nombreux États.

B - TGIR ICOS France

La TGIR ICOS France (structure labellisée ESFRI)

« Les émissions mondiales de gaz à effet de serre ont augmenté jusqu'à atteindre en 2017 des niveaux sans précédent, plus de 400 ppm en CO₂. Elles ont progressé plus rapidement entre 2000 et 2010 (+2,2 % par an) qu'au cours des trois décennies précédentes. Maintenir un réchauffement inférieur à +2°C de température moyenne, comme le stipulent les engagements pris lors de la conférence de Paris, nécessite de réduire les émissions mondiales de GES de 40 à 70 %. Mais comment mesurer les échanges de gaz à effet de serre, et vérifier les impacts des politiques de réduction adoptées sur l'atmosphère et le climat ?

L'infrastructure européenne ICOS répond à cette attente : elle est constituée de réseaux organisés de mesure du cycle du gaz à effet de serre dans l'atmosphère, les continents et les océans. ICOS est spécifiquement dédiée à la mesure des flux et des concentrations en dioxyde de carbone (écosystèmes, fuels fossiles et cimenteries), méthane (gaz naturel, agriculture et élevage), et oxyde nitreux (agriculture, fuels fossiles et feux) de 2016 à 2035.

L'infrastructure ICOS mobilise plus de 500 chercheurs et ingénieurs de 17 pays européens ; c'est un élément clé de la feuille de route européenne des infrastructures de recherche (ESFRI) et elle constitue un Très Grand Instrument de Recherche (TGIR) de la stratégie nationale de recherche française ».

Source : site internet ICOS France

Tableau n° 20 : les ressources de la TGIR ICOS (en M€)

En M€ RESSOURCES (réalisé)		ICOS 2012	ICOS 2013	ICOS 2014	ICOS 2015	ICOS 2016	ICOS 2017	ICOS 2018 (prév.)	
Financement sur le budget général de l'État	Programme 172	CEA (cash)	0,195	0,507	0,000	0,232	0,902	1,081	1,124
		CEA (personnel)	0,786	0,913	0,628	0,911	0,620	0,604	0,653
		Total CEA	0,981	1,420	0,628	1,143	1,522	1,685	1,777
		CNRS (cash)	0,488	0,560	0,480	0,577	0,408	0,523	0,644
		CNRS (personnel)	0,726	0,186	0,297	0,486	0,692	0,692	0,692
		TOTAL CNRS	1,214	0,746	0,777	1,063	1,100	1,215	1,336
		TOTAL P 172	2,195	2,166	1,405	2,206	2,622	2,900	3,113
	Universités	0,036	0,039	0,496	0,460	0,410	0,400	0,400	
	Total P 150	0,036	0,039	0,496	0,460	0,410	0,400	0,400	
	Investissements d'avenir	ANR	0,045	0,150	0,000				0,000
Equipex				0,030	0,050	0,050	0,020	0,020	
TOTAL Financement État		2,276	2,355	1,931	2,716	3,082	3,320	3,533	
Financements européens	Contrats Européens	0,006	0,191	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	
	Total Contrats européens	0,006	0,191	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	
Financements des collectivités territoriales	Régions	0,000	0,060	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	
Autres		0,316	0,293	0,169	0,115	0,230	0,272	0,280	
TOTAL RESSOURCES		2,598	2,899	2,174	2,905	3,386	3,666	3,887	

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

C - TGIR ECORD/IODP

Les organismes de recherche de la quinzaine de pays européens ayant participé au programme international ODP (*Ocean Drilling Program*) ont décidé de rejoindre IODP (*International Ocean Discovery Program*) sous la forme d'un consortium unique, ECORD (*European Consortium for Ocean Research Drilling*), pour accroître la visibilité européenne. L'ECORD regroupe en 2018, 23 pays partenaires.

Le rôle de ce consortium est d'étendre la capacité du programme IODP en mettant en œuvre les plates-formes de forage spécifiques (MSP – *Mission Specific Platforms*). Ces plates-formes permettent d'atteindre des cibles particulières, telles que les régions englacées ou les zones sous faibles profondeur d'eau, inaccessibles aux navires de forage américain (JOIDES Resolution) et japonais (Chikyu).

Grâce à ces forages, la communauté scientifique recueille des données qui lui permettent de comprendre et de prédire le fonctionnement du système Terre. Cette TGIR aborde quatre grands thèmes scientifiques que sont : les changements climatiques et environnementaux, la biosphère (vie en subsurface océanique, biodiversité et forçage environnemental des écosystèmes), les processus profonds et l'impact sur les environnements superficiels, la terre en mouvement.

En complément des données issues des forages, la connaissance du système terre nécessite la collecte de mesures réalisées sur le continent antarctique.

Tableau n° 21 : les ressources de la TGIR IODP/ECORD (en M€)

<i>En M€ RESSOURCES (réalisé)</i>		IODP/ECO RD 2012	IODP/ECO RD 2013	IODP/ECO RD 2014	IODP/ECO RD 2015	IODP/ECO RD 2016	IODP/ECO RD 2017	IODP/ECO RD 2018 (prévision)
<i>État</i>	CNRS (cash)	4,218	4,218	4,185	4,144	4,288	4,288	4,288
	CNRS (personnel)	0,158	0,176	0,176	0,176	0,242	0,242	0,300
	TOTAL CNRS	4,376	4,394	4,361	4,320	4,530	4,530	4,588
	TOTAL P 172	4,376	4,394	4,361	4,320	4,530	4,530	4,588
<i>Financements d'autres États</i>		95,71	127,785	134,894	133,561	134,143	135,043	135,943
TOTAL RESSOURCES		100,086	132,179	139,255	137,881	138,673	139,573	140,531

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

D - TGIR Concordia

Station de recherche polaire franco-italienne située en Antarctique, la TGIR Concordia permet d'accueillir jusqu'à 70 scientifiques en été et 14 en hiver sur le haut plateau antarctique. La situation géographique de la station permet de conduire des recherches et des observations uniques dans de nombreux domaines scientifiques et technologiques (glaciologie, physique et chimie de l'atmosphère, astronomie, géophysique...)

Outre l'aspect scientifique, Concordia, l'une des trois stations antarctiques continentales, établie sur un secteur de l'Antarctique revendiqué par l'Australie, joue un rôle géopolitique essentiel. En effet, le maintien d'une présence française et d'une activité scientifique de premier plan est un atout majeur pour les négociations lors des réunions consultatives du traité sur l'Antarctique. Le directeur de l'IPEV est d'ailleurs membre de la délégation française, à la demande du MEAE.

Si les mesures effectuées sur le continent antarctique sont essentielles, les chercheurs ont également besoin d'effectuer des relevés complémentaires réalisés en temps réel sur tous les océans grâce à des flotteurs qui « dérivent » sur les différents océans en pratiquant des mesures programmées.

Tableau n° 22 : les ressources de la TGIR Concordia (en M€)

<i>En M€ RESSOURCES (réalisé)</i>		Concordia 2012	Concordia 2013	Concordia 2014	Concordia 2015	Concordia 2016	Concordia 2017	Concordia 2018 (prévision)
<i>État</i>	MESRI	4,089	4,089	4,204	4,556	5,290	5,487	5,384
	TOTAL P 172	4,089	4,089	4,204	4,556	5,290	5,487	5,384
<i>TOTAL Financement État</i>		4,089	4,089	4,204	4,556	5,290	5,487	5,384
<i>Autres</i>		0,322	0,221			0,387		0,965
<i>TOTAL RESSOURCES</i>		4,411	4,31	4,204	4,556	5,677	5,487	6,349

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

E - TGIR EURO-ARGO (structure labellisée ESFRI)

Le programme international Argo a mis en place un réseau de près de 4 000 flotteurs profilants mesurant en temps réel la température et la salinité des océans de la surface à 2 000 m de profondeur. La TGIR est un élément essentiel du système d'observation des océans mis en place pour suivre, comprendre et prévoir le rôle de l'océan sur le climat. Euro-Argo est la contribution européenne au réseau international Argo. Argo France inclut les activités de coordination, achat et déploiement de flotteurs, traitement des données et interfaces avec la communauté utilisatrice. Les objectifs principaux d'Argo sont maintenant de consolider et pérenniser le réseau actuel (et son infrastructure de traitement et d'analyse de données) sur les 10 à 20 prochaines années. La caractérisation du réchauffement climatique et du rôle de l'océan ne peut se faire qu'à partir d'observations obtenues dans la durée. Des évolutions seront progressivement apportées : couverture des zones polaires et des mers marginales, amélioration de la technologie (télécommunication, extension aux plus grandes profondeurs) et ajout de capteurs bio-optiques et biogéochimiques (par exemple, oxygène, chlorophylle-a, carbone organique particulaire, nitrate, pH, radiométrie). La France est active sur tous ces domaines et notamment le volet flotteurs Argo biogéochimiques (LOV/UPMC, LPO/IUEM/UBO).

Une nouvelle phase (phase II : 2018-2023) du programme est en cours d'implémentation⁹⁴. Elle inclut une extension aux plus grandes profondeurs et le développement d'un réseau de flotteurs avec capteurs oxygène et biogéochimiques. La nouvelle phase d'Argo (Phase II) est associée à de forts enjeux scientifiques sur l'étude de l'évolution de l'océan et du changement climatique avec en particulier les questions posées sur le rôle de l'océan profond sur le bilan énergétique de la planète, la désoxygénation des océans, l'acidification des océans et son impact sur les écosystèmes, le cycle du carbone et les couplages entre physique et biogéochimie (par exemple la pompe biologique du carbone). Cette nouvelle phase d'Argo est également essentielle pour le Service Marin du programme Européen Copernicus et ses applications.

Tableau n° 23 : les ressources de la TGIR Euro-Argo (en M€)

<i>En M€ RESSOURCES (réalisé)</i>		Euro-Argo 2012	Euro - Argo 2013	Euro-Argo 2014	Euro-Argo 2015	Euro-Argo 2016	Euro-Argo 2017	Euro-Argo 2018 (prévision)
<i>État</i>	Ifremer				1,655	1,759	1,750	1,665
	TOTAL P 172	0	0	0	1,655	1,759	1,75	1,665
	Programme 187	1,307	1,523	1,430				
	Equipe x Naos	0,163	0,163	0,163	0,220	0,220		
<i>TOTAL Financement État</i>		1,470	1,686	1,593	1,875	1,979	1,750	1,665
<i>Financements européens</i>	Contrats Européens	0,096			0,026			
	Total Contrats européens	0,096			0,026	-	-	-
<i>Financements de collectivités territoriales</i>	Régions	0,087		0,478	0,250	0,455	0,550	0,550
<i>TOTAL RESSOURCES</i>		1,653	1,686	2,071	2,151	2,434	2,300	2,215

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

⁹⁴ Le CNRS a précisé à la Cour qu'à ce jour (mars 2019), cette phase n'est pas encore financée.

Chapitre V

Les TGIR du domaine

« Sciences humaines et sociales » : de « petites »

TGIR au caractère structurant

Au-delà du renouvellement des problématiques d'accès au document scientifique (sources et documents édités), les infrastructures de recherche en SHS doivent permettre de constituer et de manipuler des corpus volumineux et très hétérogènes, de nature qualitative ou quantitative, susceptibles d'ouvrir de nouvelles voies de recherche et de favoriser l'interdisciplinarité. Inscrits dans un espace social largement ouvert au monde, ces instruments contribuent par ailleurs à une meilleure valorisation d'un patrimoine scientifique et culturel.

L'extension des usages du numérique pour la recherche est un deuxième défi dans une communauté scientifique SHS nationale, aussi nombreuse que dispersée (entre établissements et entre disciplines). À l'échelle mondiale, la numérisation accompagne la transformation profonde du travail scientifique, d'un stade local à un travail collaboratif sans frontières avec des résultats (bases de données, ouvrages,...) pouvant impliquer un très grand nombre de chercheurs, distribués géographiquement.

Pour répondre à ces défis, une construction progressive a conduit à la création de plusieurs infrastructures de recherche inscrites dans la feuille de route 2012 : deux très grandes infrastructures de recherche (TGIR) qui répondent aux défis numériques et deux infrastructures de structuration territoriale, interdisciplinaire et internationale.

Les SHS représentent 1,05 % du volume total des ressources perçues par les TGIR et 2,39 % des crédits versés par l'État en 2017, ce qui place le domaine en sixième et dernière position. Sur la période 2012-2017, les crédits consacrés à ce domaine ont augmenté de plus de 140 % passant de 3,735 M€ en 2012 à 8,965 M€ en 2017, principalement du fait de l'augmentation des financements apportés par l'État. La part du financement par le budget de l'État est dans la même période passée de 86,67 % (3,237 M€) à 95,07 % (8,523 M€), avec une forte augmentation des crédits provenant du programme 150, passant de 0,797 M€ en 2012 à 1,887 M€ en 2017 quasi-exclusivement pour la TGIR ProGeDo. Les deux TGIR du domaine reçoivent, en outre, depuis 2016 des crédits européens (à hauteur de 0,3 M€ par an) sur des contrats.

**Tableau n° 24 : les ressources des TGIR du domaine des sciences humaines et sociales
(en M€)**

En M€ RESSOURCES (réalisé)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total 2012- 2017
<i>Financement État</i>	3,237	3,548	3,513	5,256	7,161	8,523	31,238
<i>dont P 172</i>	2,44	2,85	2,869	3,718	3,529	3,616	19,022
<i>dont P 150</i>	0,797	0,698	0,644	0,949	1,304	1,887	6,279
<i>dont PIA</i>	0	0	0	0,489	1,828	2,92	5,237
<i>Fonds européens</i>	0	0	0	0	0,321	0,37	0,691
<i>Financement collectivités locales</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Financement autres États</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ressources propres</i>	0,008	0	0	0	0	0,072	0,08
<i>Autres ressources</i>	0,49	0,06	0	0	0	0	0,55
TOTAL GENERAL	3,735	3,608	3,513	5,256	7,482	8,965	32,559

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

I - Huma-Num : une offre de service largement accessible mais dont l'originalité reste peu visible, des services performants avec un risque d'engorgement et de réponses uniquement technologiques

A - Éléments de contexte

À côté des institutions patrimoniales, engagées dans la réflexion sur l'avenir des ressources numériques, se sont constitués de véritables centres entièrement consacrés à la production numérique au sein des universités américaines. Ces centres de recherche d'un nouveau genre portent le nom de *Digital Humanities Centers*. Ces nouveaux pôles de rassemblement de compétences disciplinaires et technologiques se distinguent des services informatiques traditionnels dont la vocation essentielle est de gérer le parc informatique et le réseau. Ces centres, nés d'autant d'initiatives isolées, offrent de nombreux services pour accompagner les chercheurs en sciences humaines qui travaillent avec des textes numériques, images fixes et animées, et autres matériaux numériques. Il s'agit aussi de concevoir les nouveaux modes d'édition scientifique numérique dotés d'outils d'exploitation, d'appropriation et de collaboration en ligne.

Si beaucoup de ces centres sont basés aux États-Unis, plusieurs existent cependant en Europe (Royaume-Uni, Allemagne, Norvège...). La France a choisi de répondre à la demande par une infrastructure distribuée : Huma-Num. Cette TGIR a pour objectif de proposer des outils et services de stockage, de traitement, de diffusion, d'exposition, de signalisation et d'archivage de données numériques des SHS en y incluant les aspects de sédimentation des connaissances propres aux SHS et les besoins spécifiques en matière d'accès à ces dernières.

B - Missions de la TGIR

Huma-Num⁹⁵ est le produit de la fusion au 1er mars 2013 de deux infrastructures : le très grand équipement Adonis (TGE du CNRS lancée en 2007) et l'infrastructure de recherche Corpus (IR lancée par le ministère de la recherche en 2011). Sa principale mission est de construire, avec les communautés SHS et à partir d'un réseau d'expertise, une infrastructure numérique permettant une structuration nationale et internationale.

La TGIR Huma-Num est portée par l'unité mixte de services 3598 « Humanités numériques » ayant pour tutelles le CNRS, l'Université Aix-Marseille et le Campus Condorcet. À ce titre l'unité est dotée d'une convention de création d'unité 2013-2017 dont la prolongation jusqu'à fin 2018 a fait l'objet d'un avenant. La TGIR ayant été reconduite sur la feuille de route des infrastructures 2018-2020, le mandat de l'unité support doit être renouvelé pour 5 ans à compter du 1er janvier 2019.

Huma-Num structure, par l'intermédiaire de consortiums regroupant des acteurs des communautés scientifiques et d'un réseau de points de présence dans les maisons des sciences de l'Homme (MSH), l'accompagnement des communautés scientifiques SHS en matière d'infrastructure numérique pour les données de la recherche : bases de données scientifiques, corpus de sources primaires et secondaires, bases documentaires. Elle place son activité principale dans le cadre du développement des humanités numériques. Elle met ainsi en œuvre une infrastructure numérique permettant aux communautés SHS de développer, de réaliser et de préserver sur le long terme les programmes de recherche - leurs données et outils - dans un contexte de science ouverte et de partage des données. L'ensemble de l'infrastructure s'inscrit dans le cadre des principes dits « FAIR » qui favorisent, outre l'ouverture des données, leur mise à disposition avec un triple objectif de qualité des données et des métadonnées, d'inscription dans un cycle de vie maîtrisé par les scientifiques et de pérennité des données sur le long terme.

À cette mission principale, s'ajoute une mission de prospective sur l'évolution des besoins technologiques et documentaires des activités de recherche en SHS. La TGIR Huma-Num propose, en outre, des guides de bonnes pratiques technologiques à destination des chercheurs. Elle peut également mener ponctuellement des actions d'expertise et de formation.

Enfin, elle accompagne l'internationalisation de la recherche en SHS, notamment par sa participation aux ERIC DARIAH et CLARIN.

⁹⁵ L'équipe de la TGIR est localisée sur deux sites : l'antenne parisienne est hébergée à titre gratuit par la Fondation des Maisons des Sciences de l'Homme (FMSH) à laquelle elle verse une participation financière au titre des frais d'infrastructure ; l'infrastructure numérique est quant à elle installée à Villeurbanne au sein du Centre de calcul de l'IN2P3 avec lequel une convention d'hébergement a été mise en place.

Huma-Num et les ERIC

La TGIR Huma-Num porte la participation française dans l'ERIC DARIAH et instruit la participation de la France dans l'ERIC CLARIN avec un statut d'observateur. Le projet DARIAH (*Digital Research Infrastructure for Arts and Humanities*) a pour objectif de bâtir une infrastructure numérique pan-européenne rassemblant les différentes initiatives en matière d'humanités numériques. Il a été cofondé par l'Allemagne, les Pays-Bas et la France via le CNRS et la TGIR Huma-Num. Actuellement, 18 pays sont associés à l'ERIC DARIAH qui en fait la structure de ce type la plus importante. Il a été créé formellement en 2014. La France a été désignée pour héberger le siège social de l'ERIC, mais sa structure de coordination est à Berlin. C'est la TGIR Huma-Num qui coordonne l'ensemble de la participation française dans l'ERIC DARIAH.

L'ERIC CLARIN (*Common Language Resources and Technology Infrastructure*) a pour objectif de créer une infrastructure rendant accessibles des technologies et ressources langagières pour l'ensemble des disciplines des SHS. CLARIN participe à la création et la gestion de composants langagiers (ressources et outils) librement disponibles à travers un réseau européen de dépôt et de gestion, qui s'appuie sur des centres nationaux pérennes offrant des services disponibles via des systèmes informatisés sécurisés.

À ce titre Huma-Num participe :

- au projet H2020 PARTHENOS (2015-2019) qui vise à promouvoir la définition et l'utilisation de normes communes, à initier des activités en commun, à définir et mettre en œuvre des politiques concertées (cycle de vie des données, notamment dans une optique de réutilisation réelle des données, qualité et de la gestion des DPI, *dots per inch* ou points par pouce), et à développer des services mutualisés et des solutions partagées dans le domaine des humanités numériques, particulièrement dans les disciplines dont l'objet a un caractère patrimonial ;
- au projet H2020 *Humanities At Scale* (2015-2017) qui vise à soutenir la phase de consolidation de l'ERIC DARIAH. Ses différents *work packages* comportent des activités spécifiques destinées à accompagner le développement de DARIAH.

La TGIR a également engagé son internationalisation en proposant des partenariats. Le programme le plus avancé, qui doit être développé dans les années qui viennent, est réalisé avec le Canada⁹⁶ dans le cadre d'échanges réguliers avec la cyberinfrastructure ouverte pour les sciences humaines et sociales (CO.SHS). D'autres échanges ont été initiés, depuis 2017, avec les pays d'Amérique du sud, qu'elle souhaite étendre au niveau du réseau des IFRE et écoles Françaises à l'étranger, et avec l'aide de l'AUF vers les pays d'Afrique.

La TGIR Huma-Num est non seulement ouverte aux chercheurs, mais aussi utilisée par un public plus large (enseignants du secondaire, journalistes, associations,...) grâce au moteur de recherche ISIDORE qu'elle propose sans limitation d'accès.

C - Les principales réalisations de la TGIR

En cinq ans, la TGIR Huma-Num a pu mettre en œuvre, consolider et stabiliser l'exploitation d'une infrastructure de recherche de rang international qui valorise désormais ses

⁹⁶ Depuis 2015, la TGIR Huma-Num, dans le cadre des partenariats France-Québec, travaille en collaboration avec la CO.SHS autour de la mise à disposition d'ISIDORE et de NAKALA pour le Canada.

services et l'expertise des communautés nationales SHS au niveau européen et progressivement au niveau international. Ses principales réalisations sont au nombre de cinq :

1 - Les consortiums

La TGIR s'appuie tout d'abord sur l'activité de consortiums disciplinaires ou multidisciplinaires, qu'elle labellise, finance et soutient, afin de développer son infrastructure. Ces consortiums⁹⁷ construisent ainsi une pratique commune d'utilisation de normes adaptées dans la constitution et la réutilisation des corpus. Dans ce cadre la TGIR Huma-Num travaille en étroite collaboration avec les vingt-trois MSH du territoire national afin de mutualiser compétences et moyens technologiques pour diffuser, promouvoir et conserver les données : identification, traitement, interopérabilité, stockage et archivage à long terme. Cela forme un réseau d'expertise à la fois disciplinaire et géographique. Il s'agit de conseiller et d'orienter les porteurs de projet, et de leur proposer une mise en relation avec les consortiums et un partenariat technologique dans le cadre du dispositif de la TGIR.

2 - La grille de service

Une grille des services numériques est constituée d'un ensemble de services et d'outils mutualisés pour traiter, diffuser, visualiser et stocker des données de nature hétérogène : textuelles, orales, iconographiques, audiovisuelles, tridimensionnelles. À la différence des services d'hébergement généralistes, la grille Huma-Num offre des services propres aux SHS.

En raison de la spécificité SHS de ces services, les nouveaux projets scientifiques accueillis sur la grille sont encouragés à intégrer une stratégie de mise à disposition des métadonnées/données pour Isidore ou tout autre portail utilisant les standards internationaux ouverts (OAI-PMH, RDF,...). Ces données pourront également s'insérer dans le dispositif d'archivage à long terme.

3 - L'archivage

La préservation et l'archivage à long terme des données de la recherche en SHS est réalisé en partenariat avec le centre informatique de l'enseignement supérieur (CINES) qui a adapté sa plateforme aux spécificités des données des SHS, en concertation avec le service interministériel des Archives de France (SIAF). Il permet l'archivage définitif aux Archives Nationales pour les données qui ont vocation réglementairement à y aller. L'archivage et la préservation de données numériques est une question centrale dans la patrimonialisation des données numériques⁹⁸.

⁹⁷ Les consortiums de la TGIR Huma-Num, labellisés par son comité de pilotage, sur avis de son conseil scientifique, n'ont pas d'existence juridique propre. Ils sont donc adossés à des unités mixtes ou propres, de recherche ou de service ayant le CNRS comme l'une des tutelles.

⁹⁸ À titre d'exemple, la TGIR conserve la documentation de sites archéologiques aujourd'hui en zone de guerre (temple de Bel en Syrie), documentation iconographique et 3D (photogrammétrie) qui permettra peut-être un jour de reconstruire ces sites aujourd'hui détruits. Ainsi la TGIR Huma-Num assure, pour partie, la conservation du patrimoine mondial archéologique mais également de données patrimoniales françaises (Manuscrits IRHT et photos de l'EFEO).

4 - ISIDORE

La plateforme ISIDORE collecte, enrichit et offre un signalement et un accès unifié aux documents et données numériques des sciences humaines et sociales. Lancé en 2010, ISIDORE contient en 2018, plus de 5 millions de ressources en accès libre, issues de plus de 6 000 sources de données de la recherche : les principales plateformes d'édition électronique internationales en libre accès, un très grand nombre de bibliothèques (de recherche, universitaires, municipales) mais aussi de nombreuses bases de données des SHS.

Une fois « moissonnées » ces informations sont enrichies en anglais, espagnol et français, par croisement avec des référentiels scientifiques (thésaurus, taxonomies, vocabulaires). Utilisant les méthodes et principes du web de données (modèle RDF) et du *linked data* (URIs), ISIDORE est le plus gros projet d'*open data* scientifique en France dans son domaine.

ISIDORE est inscrit en 2018 au plan « Science Ouverte » du ministère de la recherche, de l'enseignement supérieur et de l'innovation et en 2017 au « plan d'action national pour une action publique transparente et collaborative » porté par Etalab.

Les utilisateurs d'ISIDORE sont nombreux et le moteur de recherche offre une visibilité internationale aux données (par les enrichissements sémantiques en 3 langues). ISIDORE regroupe 5,5 millions de documents, dont près de 90 % en texte intégral. Il est alimenté par plus de 6000 « sources » de données (bases de données, plateformes, programmes de recherche, archives, musées, bibliothèques de recherche).

Graphique n° 2 : nombre de visiteurs dans ISIDORE



La baisse enregistrée en 2017 résulte d'une modification de la politique d'exposition des résultats lors de requêtes par Google. Un paramétrage précis a permis de pallier cette difficulté dès le début 2018.

Tableau n° 25 : les ressources de la TGIR Huma-Num (en M€)

<i>En M€ RESSOURCES (réalisé)</i>			Huma-Num 2012	Huma-Num 2013	Huma-Num 2014	Huma-Num 2015	Huma-Num 2016	Huma-Num 2017	Huma-Num 2018 (prév.)
	Programme 172	CNRS (cash)	1,138	1,211	1,314	1,483	1,451	1,565	1,453
		CNRS (personnel)	0,961	0,772	0,763	0,818	0,72	0,726	0,726
		TOTAL CNRS	2,099	1,983	2,077	2,301	2,171	2,291	2,179
		TOTAL P 172	2,099	1,983	2,077	2,301	2,171	2,291	2,179
	Programme 150	Universités	0,063	0,071	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
		MESRI							
		Total P 150	0,063	0,071	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
	Investissements d'avenir	ANR							0,023
<i>TOTAL Financement État</i>			2,162	2,054	2,082	2,306	2,176	2,296	2,207
<i>Financements européens</i>	Contrats Européens						0,175	0,238	0,158
	Total Contrats européens					-	0,175	0,238	0,158
<i>Ressources propres de la TGIR</i>	Facturation/Valorisation/autres							0,072	0,110
	Autre		0,008						
<i>TOTAL RESSOURCES</i>			2,170	2,054	2,082	2,306	2,351	2,606	2,475

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

D - Les perspectives

Depuis sa création, les demandes d'utilisation des services de la TGIR Huma-Num ont été en forte augmentation entraînant ainsi une très grande hétérogénéité dans les réponses apportées. Ce foisonnement a pu être canalisé en clarifiant l'offre des services, en stabilisant en moyens humains et en rationalisant les méthodes et outils des couches les plus basses de la TGIR. Cependant, il convient d'aller plus loin afin d'augmenter la qualité des données, et par là même, celle des projets de recherche. Cette étape est centrale dans un contexte d'ouverture des données de la recherche. Cela passe par une analyse plus fine des demandes à l'aide d'expertises « métiers ». Pour répondre à cet objectif, la TGIR Huma-Num manque de ressources humaines que ce soit pour accompagner directement les projets ou pour travailler avec les MSH qui peuvent proposer des « postes avancés sur site » de la TGIR Huma-Num. Pour cela la TGIR doit « former des formateurs » afin d'accompagner au mieux les projets sur les aspects documentaires, juridiques, méthodologiques et scientifiques.

La TGIR Huma-Num héberge un très grand nombre d'outils - systèmes de gestion des contenus, bases de données, outils d'analyses et de traitement des données,...- dont la maintenance à long terme est impossible à la fois par les équipes de recherche - en raison de financements ponctuels : ANR, H2020, ERC,... - et par l'équipe d'Huma-Num tant la diversité des systèmes est importante. La TGIR doit, dans ce contexte, mieux accompagner les enseignants-chercheurs dans l'anticipation de ces « ruptures de charge » qu'entraîne le financement sur projets.

Pour répondre à ces contraintes, la TGIR envisage de poursuivre la rationalisation de certains de ses services. Ainsi l'hébergement de sites Web de programmes de recherche, doit se faire parallèlement à l'appropriation de meilleures pratiques documentaires (identifiants pérennes, usages de référentiels, structuration des métadonnées) et scientifiques (contextualisation et normalisation des données) permettant une meilleure diffusion, une réutilisation optimale par leur interopérabilité et une pérennisation des données.

L'ensemble de ces éléments entraîne un risque d'engorgement des services en raison du temps de réponse lié à l'étude des dossiers de demande et de la difficulté d'appropriation et d'utilisation des outils.

La TGIR a identifié plusieurs axes forts de développement pour les prochaines années.

1 - Stabiliser et maintenir une infrastructure de haute fiabilité en appui à la recherche

Il s'agira, dans la prochaine phase d'accroître cette fiabilité et de proposer des services au bon niveau par rapport à la demande. L'enjeu est de co-construire avec les communautés la réponse à leurs besoins, projet par projet. Pour cela, la TGIR Huma-Num doit maintenir le développement d'une infrastructure de recherche de très haute fiabilité ayant pour mission d'accompagner les programmes de recherche collectifs en matière de stockage, de traitements et de partage des données de recherche en SHS.

Dans ce contexte elle doit favoriser la concertation entre les acteurs par l'intermédiaire des consortiums, des MSH et des autres infrastructures des SHS en accompagnant les chercheurs et les enseignants-chercheurs dans leur définition et leur appropriation des services numériques de la TGIR et plus largement dans celui des outils et dispositifs de traitement des données en SHS. Elle doit également renforcer son expérience et ses services sur les questions de stockage et d'accès aux données à valeurs ajoutées, la pérennisation à long terme des données de la recherche SHS et la diffusion en ligne des programmes de recherche qu'elle héberge. Elle doit enfin prioritairement rendre des services qui ne sont pas assurés par d'autres structures.

2 - Accompagner le tournant méthodologique : développer la qualité des données

La TGIR Huma-Num doit s'engager⁹⁹ dans une mise en conformité vis à vis des FAIR principales et orienter ses services afin de répondre aux exigences de l'ouverture des données en maintenant une forte expertise sur la qualité des données. Il s'agit de mettre en œuvre une montée en compétence des communautés afin qu'elle produise — grâce à Huma-Num, plus de données réutilisables et référencées dans les grands moteurs de recherche disciplinaires et grand public. Concrètement, il s'agit de proposer un accompagnement immédiat (hébergement web, stockage, machines virtuelles) puis un ensemble de services numériques urbanisés permettant d'améliorer la qualité des données et utilisant les services à valeur ajoutée tel que NAKALA et ISIDORE.

Les enjeux autour des questions méthodologiques et organisationnelles pour la préservation à long terme des données de la recherche sont au cœur de la TGIR Huma-Num. Le projet pilote lancé en 2009 avec le service interministériel des Archives de France (SIAF) et le centre informatique de l'enseignement supérieur (CINES), a permis de mettre en œuvre et de développer un service d'archivage intermédiaire des données numériques de la recherche adaptées pour les disciplines des SHS. L'utilisation de ce dispositif devra être plus systématique à l'avenir et précédé d'un dispositif de préparation des données incluant la prise en compte des *data management plan* qui se généralisent. Ainsi, en amont du service de préservation intermédiaire opéré avec le CINES et le SIAF, un environnement d'interface de préparation des données par les communautés SHS devra être mis en place et la TGIR Huma-Num accompagnera au mieux les communautés qui souhaitent préserver leurs données numériques. Dans ce contexte, la mise en place d'un poste en mobilité (2018) a permis de lancer cette initiative.

3 - Développer l'appropriation des services et les relations avec les utilisateurs

Dans un premier temps, il s'agit d'accroître la lisibilité du panorama national des infrastructures, en particulier les collaborations avec les autres infrastructures du territoire et celles pan-européennes. Au niveau régional et national, l'articulation entre les MSH et la TGIR Huma-Num est en cours d'organisation avec notamment la mise en place des correspondants Huma-Num dans les MSH sous la forme de points de présence de déploiement du service Huma-Num Box dans les MSH de formation et d'accompagnement de projets. Ainsi, il est nécessaire de créer, au sein de la TGIR, un secteur « animation et accompagnement des communautés SHS » qui s'occupera notamment de la coordination de ce réseau de points de présence dans les MSH et de l'articulation avec les consortiums de la TGIR, mais aussi de l'ensemble des relations avec les utilisateurs.

⁹⁹ L'engagement de la TGIR Huma-Num dans l'utilisation des méthodes et techniques du *linked open data* (LOD) permet aujourd'hui de proposer un écosystème stable et innovant pour les données SHS. Cet écosystème doit permettre, à court terme, de proposer un dispositif complet pour la publication des données. Dans ce contexte, Huma-Num souhaite s'associer avec *OpenEdition* afin de permettre une publication des données de recherche SHS dans les supports (revues, carnets, livres) de transmission des savoirs. Ainsi, il est important de faire évoluer les services de la TGIR en maintenant un lien fort avec les pratiques et méthodes d'analyses des données des communautés SHS afin d'offrir un écosystème numérique de données et d'outils pouvant être utilisés par les communautés SHS.

Le renfort des dispositifs permettant une meilleure appropriation de ses services numériques, et par là même, des méthodes et techniques permettant de mieux gérer le cycle de vie des données numériques doit s'accompagner de la mise en œuvre d'une réflexion sur les interfaces et les besoins des utilisateurs. En effet, l'amélioration du niveau d'appropriation nécessite de tenir compte de grandes différences de culture numérique des enseignants-chercheurs, chercheurs, ingénieurs et étudiants en SHS

L'un des points de vigilance dans ce domaine doit être d'éviter l'effet « club d'initiés » sur un outil ou un service numérique, ce qui freine voire bloque leur usage par le plus grand nombre. Plus largement c'est l'un des risques majeurs dans le processus de mise à disposition d'outils dans le domaine des humanités numériques.

Pour remplir ces objectifs et arriver à un rythme de croisière, la TGIR estime nécessaire de porter ses effectifs à 20 ETP (contre 12 actuellement issus du CNRS) afin notamment de doubler les postes techniques. Le CNRS s'est engagé dans un soutien à la structure à hauteur de + 1 ETP par an.

II - ProGeDo : une TGIR à consolider

A - Présentation de la TGIR

Les statistiques publiques, les grandes enquêtes scientifiques, les données de gestion ou les données de sondage représentent une source de connaissance essentielle pour les sciences sociales. La construction d'enquêtes longitudinales (ou indicateurs) européennes sur la société est un enjeu de niveau national, européen et international.

Cependant leur exploitation suppose que soit réunies certaines conditions :

- les données quantitatives doivent être produites de façon fiable et adaptée, les enquêtes doivent être régulièrement renouvelées et les fichiers sauvegardés et protégés dans des formats utilisables ;
- les données individuelles doivent être accessibles aux chercheurs dans des conditions de sécurité garantissant une utilisation des informations à des fins de recherche et dans le respect du droit ;
- l'exploitation des données suppose la réunion de compétences scientifiques et statistiques et la disposition d'une documentation détaillée sur la constitution de données ;
- l'organisation et le traitement des données doivent favoriser les comparaisons entre les situations nationales. Les données doivent pouvoir être échangées, traduites et confrontées.

La France a choisi d'organiser l'ensemble de ces services à l'intérieur d'une TGIR appelée ProGeDo. Celle-ci a donc pour mission générale de produire et gérer des données quantitatives pour la recherche en SHS. Comme pour la TGIR Huma-Num, il s'agit ici aussi d'une infrastructure distribuée qui repose sur les Plateformes Universitaires de Données basées dans les MSH.

ProGeDo a été validée par la feuille de route de 2012. Elle participe au financement de la production de données quantitatives adaptées à la recherche en SHS, s'assure du respect des normes internationales et de la fiabilité des méthodes de collecte et de documentation, organise l'information et l'accessibilité des données pour les chercheurs dans des conditions de sécurité et le respect du droit des personnes et des entreprises. Elle encourage la sauvegarde et la préservation des données, s'assure que les conditions de réutilisation de données sont respectées, appuie le développement d'équipements permettant l'appariement de fichiers d'origines diverses et les comparaisons temporelles et internationales. Elle s'est structurée en départements correspondant à ces tâches et à trois niveaux : européen, national, local.

ProGeDo est une infrastructure distribuée s'appuyant sur des fournisseurs de services du CNRS, de l'INED, de Sciences-Po, du GENES, des plateformes universitaires (11, dont 5 en cours de création) et sur des départements correspondant à trois consortiums européens : CESSDA (archives de données), ESS100 et SHARE101. L'infrastructure d'enquête GGP¹⁰² qui avait été validée par le HC-TGIR en 2015 en vue de la feuille de route ESFRI, devrait former un nouveau département de la TGIR ProGeDo.

Quatre départements existent aujourd'hui au sein de cette TGIR : CESSDA-France, tête de réseau nationale, est le fournisseur de services français de CESSDA-ERIC et a pour mission la diffusion des données quantitatives en sciences humaines et sociales ; les départements ESS-France-Enquêtes d'opinion, SHARE-France et GGP, miroirs des ERIC, consortiums européens quant à eux, contribuent à la production d'enquêtes européennes ou internationales comme ESS, SHARE, GGP, ISSP et EVS et à l'animation scientifique autour des communautés utilisatrices de données.

Une UMS du CNRS (ProGeDo) assure depuis 2016, le support de la TGIR. L'UMS est transformée en USR sous tutelle CNRS et EHESS.

Le conseil scientifique de ProGeDo se réunit deux fois par an pour faire le point sur les questions centrales dans la politique de l'infrastructure et donner un avis consultatif sur les chantiers à mener. Ses membres ont un mandat de quatre ans et sa composition est renouvelable à l'issue de chaque mandat.

Les utilisateurs de cette TGIR viennent exclusivement du domaine de l'enseignement supérieur et de la recherche. Ce sont des enseignants-chercheurs, des chercheurs, des doctorants, voire des étudiants encadrés, potentiellement issus de toutes les disciplines du secteur sciences humaines et sociales.

L'une des actions majeures de la TGIR pour développer la culture des données a été la création de plates-formes universitaires de données (PUD) pour aller au-devant de nouveaux publics et pour élargir le socle des utilisateurs de données. Elles étaient 5 en 2016 : Lille, Lyon, Caen, Dijon, Nantes. Elles sont implantées dans les MSH pour éviter le cloisonnement et jouer la mutualisation le plus possible. La politique de déploiement des PUD se poursuit pour mailler le territoire et aller vers les utilisateurs potentiels de données. Ont été ouvertes depuis : Strasbourg, Aix-Marseille, Grenoble, Toulouse, Saclay.

¹⁰⁰ *European social Survey*, enquête paneuropéenne menée depuis 2001 et ERIC depuis 2013.

¹⁰¹ *Survey of Health, Ageing and Retirement in Europe*, ERIC depuis 2011.

¹⁰² *Generation and Gender Program*, portée par l'INED.

En 2015 et 2016 ont également été finalisées les participations et adhésions aux ERIC, SHARE, ESS et CESSDA dans lesquels la France n'était pas toujours en capacité en termes de droits de vote et de décision. Il y a maintenant adéquation entre la situation de contributeur et de participant aux décisions. L'enjeu pour ProGeDo est de donner à la France la possibilité de prendre une part active à la construction de ces indicateurs de la société européenne, elle est aussi de permettre aux chercheurs français de pouvoir ancrer leur recherche sur des données des grandes enquêtes qui sont produites.

Tableau n° 26 : les ressources de la TGIR ProGeDo (en M€)

En M€ RESSOURCES (réalisé)		ProGeDo 2012	ProGeDo 2013	ProGeDo 2014	ProGeDo 2015	ProGeDo 2016	ProGeDo 2017	ProGeDo 2018 (prév.)	
État	Programme 172	CNRS (cash)	0,334	0,628	0,627	0,736	0,677	0,644	0,644
		CNRS (personnel)	0,007	0,239	0,165	0,681	0,681	0,681	0,621
		TOTAL CNRS	0,341	0,867	0,792	1,417	1,358	1,325	1,265
		TOTAL P 172	0,341	0,867	0,792	1,417	1,358	1,325	1,265
	Programme 150	MESRI	0	0	0,584	0,739	1,034	1,557	0,950
		EHESS				0,084	0,084	0,084	0,084
		Universités	0,734	0,627	0,055	0,121	0,181	0,241	0,301
		Total P 150	0,734	0,627	0,639	0,944	1,299	1,882	1,335
	CNAV/CNSA					0,100	0,500	0,100	0,100
	Investissements d'avenir	ANR							
		Equipex				0,489	1,828	2,920	1,070
	TOTAL Financement État		1,075	1,494	1,431	2,950	4,985	6,227	3,770
Financements européens	Contrats Européens (CESSDA)					0,146	0,132		
	Total Contrats européens	-	-	-	-	0,146	0,132	-	
Autres		0,490	0,060						
TOTAL RESSOURCES		1,565	1,554	1,431	2,950	5,131	6,359	3,770	

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

B - Les défis

La stratégie de forte coordination et de mise en synergie via la TGIR ProGeDo vise à donner à la France une place importante dans la définition des standards méthodologiques et des indicateurs européens. Plusieurs des Equipex en SHS ont déjà des liens avec ProGeDo, qui devrait jouer un rôle dans leur pérennisation et la coordination entre eux (compatibilité des formats de données,...). C'est le cas notamment du CASD (centre d'accès sécurisé aux données), de DIME-SHS (collecte, enrichissement et diffusion de données), de D-FIH (données

financières historiques) et de RE-CO-NAI (cohorte d'enfants ELFE). Ce pourrait aussi être le cas de BEDOFIH (données financières haute-fréquence), voire du projet RISIS¹⁰³.

Parmi les défis importants que doit relever ProGeDo dans les années à venir, doivent être mentionnés :

- la stabilisation de son personnel et de sa gouvernance ;
- le développement de la culture de données chez les chercheurs et dans les parcours de formation. En dehors du cercle des économistes, l'usage de ces données est encore souvent trop marginal. C'est l'objectif scientifique majeur des années à venir ;
- la réaffirmation du rôle national de ProGeDo comme pilote des dispositifs de mise à disposition des données dans le cadre de la politique d'« *Open Access* » défendu par le MESRI. Cela passe notamment par la création d'un portail unique d'accès aux données de sciences sociales dont le financement n'est pas encore assuré et qui devra regrouper l'ensemble de ces données quelle que soit leur origine. Il convient de signaler que le CASD, service du GENES qui porte l'Equipex du même nom, a été transformé en GIP au 1^{er} janvier 2019¹⁰⁴. Cette nouvelle structuration doit permettre à la fois la continuité de l'accès des chercheurs aux données et la commercialisation par le GENES de sa technologie de « box » d'accès sécurisé auprès de tiers, tout en restant pleinement inscrit dans le dispositif national ProGeDo.

Au total, les deux TGIR de SHS paraissent, à bien des égards, « petites », aussi bien en termes d'investissement financier que de nombre d'agents affectés. Elles sont également très différentes, dans leur forme et leur organisation, des infrastructures de recherche habituelles telles que les grands instruments de physique par exemple.

Pourtant les deux TGIR Huma-Num et ProGeDo sont bien des dispositifs structurants de services pour les communautés de recherche et les laboratoires SHS dans les universités et au CNRS. Elles offrent toutes les deux aux chercheurs des plateformes d'accès aux données ou des outils de traitement numérique de ces données, données en humanités numériques pour Huma-Num, données en sciences sociales pour ProGeDo. Elles participent toutes les deux à la transformation des façons de faire de la recherche en SHS en implémentant le numérique dans les pratiques de recherche en humanités pour Huma-Num, en développant, pour ProGeDo, la culture des données (quantitatives notamment) dans les communautés SHS qui, pour une partie d'entre elles, s'en sont éloignées depuis une trentaine d'années à la différence d'autres pays, anglo-saxons notamment. Elles sont, enfin, toutes les deux les points d'accès et les « briques » françaises des infrastructures européennes (ERIC) qui se mettent parallèlement en place.

Dans leur organisation les deux TGIR SHS partagent trois points communs :

- leur pilotage confié au CNRS est porté par des structures opérationnelles de recherche (SOR) classiques de l'opérateur qui permettent d'y affecter personnels et moyens du CNRS et des établissements universitaires partenaires en sus du financement TGIR du MESRI. Mais l'enseignement supérieur et la recherche dans son ensemble participe à sa gouvernance via la présence dans leur comité de pilotage de représentants de la DGRI du MESRI ou de l'Alliance Athéna pour les sciences humaines et sociales ;

¹⁰³ *Research infrastructure for science and innovation policy studies.*

¹⁰⁴ L'Insee étant le représentant de l'État, avec la participation du GENES, du CNRS, de HEC et de Polytechnique.

- il s'agit, dans les deux cas, de structures légères et pour partie distribuées. Il a été fait le choix de développer des infrastructures qui ne soient pas des « outils d'ingénieurs » mais bien des dispositifs co-construits entre ingénieurs, d'une part, et chercheurs et enseignants-chercheurs (EC), d'autre part. A l'inverse de l'Allemagne ou de la grande Bretagne qui ont mis en place des services d'archives numériques ou de données de sciences sociales qui réunissent parfois près d'une centaine d'ingénieurs, les deux TGIR fonctionnent avec un nombre beaucoup plus limité de personnels (une quinzaine pour Huma-Num, une demi-douzaine pour ProGeDo). Ce choix est à la fois conforme aux moyens financiers mis à disposition par le MESRI pour développer cette politique et à la conviction que le succès de ces TGIR ne repose pas seulement sur leur capacité à construire des plateformes et des services mais aussi sur leur capacité à implémenter de nouvelles pratiques de recherches dans les communautés et à faire que les chercheurs s'approprient totalement ces outils et ainsi renouvellent leurs approches scientifiques ;
- cela se traduit dans les deux cas par une organisation distribuée favorisant les interactions avec les chercheurs. Cela passe, pour Huma-Num, par l'animation de « consortiums » disciplinaires autour du développement de certains de ses outils. Chacun d'entre eux rassemblent plusieurs dizaines de laboratoires et des centaines de chercheurs. Pour ProGeGo cela se traduit depuis deux ans par la mise en place de PUD (Plateformes universitaires de données) qui sont des relais locaux de son action. Cela passe également dans les deux cas par une forte articulation avec les 23 MSH qui sont des point d'accès locaux à une série de plateformes SHS et notamment aux services des TGIR Huma-Num et ProGeDo.

La création d'un campus consacré aux SHS sur le site Condorcet à la porte d'Aubervilliers avec la présence du CNRS, des universités Paris I et Paris 10, de l'EPHE et de l'EHSS constituent pour ces deux TGIR une opportunité dans leur positionnement et leur développement, tout en gardant bien comme horizon la structuration nationale et l'objectif d'être au service de l'ensemble des SHS de France.

Chapitre VI

Les TGIR du domaine « Astronomie et Astrophysique » : des instruments coûteux largement mutualisés au niveau européen et international

L'astronomie et l'astrophysique¹⁰⁵ se sont considérablement développées depuis une vingtaine d'années grâce à de nouvelles grandes infrastructures, des grands télescopes et radiotélescopes au sol, des observatoires dans l'espace permettant l'accès à tout le spectre électromagnétique, et l'accès au calcul à haute performance pour des simulations numériques. On assiste également à un élargissement des recherches, sous l'impulsion de physiciens, principalement des physiciens des particules, mais aussi des physiciens théoriciens, vers des problèmes de physique fondamentale et de physique des hautes énergies, qui utilisent l'univers comme un laboratoire. Les astrophysiciens ont mis en place depuis longtemps un processus d'analyse stratégique et de priorités pour l'astronomie au sol, à l'échelle européenne ou même mondiale, puis à l'échelle de la France.

Au niveau européen, la discipline est principalement organisée, pour les projets au sol, autour d'une organisation internationale, l'Observatoire européen austral, plus communément nommée par son acronyme anglais, ESO.

La partie spatiale du domaine, qui ne fait pas partie de la feuille de route des infrastructures de recherche, est également organisée au niveau européen autour de l'Agence spatiale européenne (ESA) et au niveau français par le CNES. La stratégie du secteur en matière d'infrastructures de recherche s'appuie sur la réflexion menée lors des exercices de prospective scientifique organisés tous les cinq ans par le CNRS-INSU, qui élaborent les priorités d'évolution des moyens avec l'ensemble des acteurs institutionnels et la communauté

¹⁰⁵ L'astrophysique s'intéresse à l'histoire de l'univers et de ses constituants, depuis son état primordial dominé par des phénomènes physiques fondamentaux encore mal appréhendés, jusqu'à l'apparition de la vie, en passant par des étapes de complexification croissante avec la formation et l'évolution des galaxies, des étoiles et des systèmes planétaires. Au-delà de l'observation classique dans le domaine optique, l'observation en astronomie s'est progressivement élargie à tout le spectre électromagnétique et s'ouvre maintenant à de nouveaux messagers (ondes gravitationnelles, neutrinos).

scientifique ; elle prend en compte les stratégies européennes et internationales au sol et dans l'espace, les interfaces avec d'autres disciplines et les recommandations issues des séminaires de prospective scientifique organisés également tous les 5 ans par le CNES pour le volet spatial. La prospective nationale est cohérente avec la stratégie européenne. La feuille de route européenne ESFRI et le programme *Cosmic Vision* de l'ESA jouent également un rôle structurant.

Enfin, la radioastronomie à basse fréquence connaît, depuis plusieurs années, un grand regain d'intérêt en Europe et dans le monde. La perspective du projet mondial *Square Kilometer Array* (SKA) en est la plus claire démonstration. Scientifiquement SKA permettra, à terme, d'aborder quelques-unes des grandes questions d'astronomie liées à la cosmologie et à la physique fondamentale¹⁰⁶.

I - Vers des utilisations communes d'IR

Ces évolutions convergent vers des développements et/ou exploitation de concert de certaines infrastructures de recherche entre les deux domaines précités.

La communauté astrophysique nationale, qui a joué un rôle pionnier dans la mise en valeur et l'accessibilité des données via des services avancés¹⁰⁷, est aussi utilisatrice des moyens de calcul et d'archivage nationaux tels que le centre de calcul du CNRS-IN2P3 et GENCI ou internationaux (PRACE) afin de réaliser les modélisations théoriques, les simulations numériques et le traitement massif de données. De futurs grands projets tels que SKA vont recevoir, traiter et archiver de très grands volumes de données supérieurs de plusieurs ordres de grandeur à ce que l'on connaît aujourd'hui. Au niveau international, l'astrophysique de laboratoire est également utilisatrice d'autres infrastructures de recherche telles que le synchrotron SOLEIL.

Le domaine « Astronomie et Astrophysique » est composé d'une dizaine d'infrastructures de recherche réparties comme suit :

Tableau n° 27 : répartition des infrastructures de recherche en astrophysique

SNIR	OI	TGIR	IR	Projets	Total
2008	La feuille de route dénombre 7 TGIR existantes, 2 TGIR hautement prioritaires et 3 TGIR prioritaires	12			
2012	4	2	3	1	10
2016	1	2	4	1	8
2018	2	4	5	1	12

Source : Cour des comptes à partir des données DGRI

¹⁰⁶ Voir rapport, chapitre 3.

¹⁰⁷ Au travers du Centre de données de Strasbourg (CDS).

II - ESO et ALMA

A - ESO

L'organisation internationale ESO est l'une des plus importantes organisations scientifiques et techniques intergouvernementales¹⁰⁸. Quinze pays européens en sont membres et contribuent en proportion de leur PIB. Un accord de partenariat avec l'Australie a été signé en 2017. Le Chili, pays hôte, n'est pas membre d'ESO mais bénéficie de 10 % du temps d'observation. L'organisation Internationale de l'ESO est au centre de l'astrophysique observationnelle en France, comme en Europe. De par sa diversité, et sa qualité, le parc de télescopes et d'antennes offert à la communauté française et européenne par l'ESO est unique au monde. Il permet à cette communauté d'être au meilleur niveau mondial. Dans le mode de fonctionnement de l'ESO, les instruments des télescopes sont financés en partie par les agences nationales qui reçoivent en retour du temps d'observation garanti.

Elle conduit un ambitieux programme basé sur la conception, la construction et la gestion d'équipements d'observation au sol pour l'astronomie permettant d'importantes découvertes scientifiques. ESO joue également un rôle moteur dans la promotion et l'organisation de la coopération de la recherche en astronomie.

ESO

ESO gère trois sites uniques d'observation de classe internationale répartis dans la région chilienne du désert d'Atacama : la Silla, Paranal et Chajnantor.

Le premier site de l'ESO est celui de La Silla, situé à 2 400 mètres d'altitude à 600 km au nord de Santiago du Chili. Ce site est équipé de plusieurs télescopes observant dans le visible et dont le diamètre des miroirs va jusqu'à 3,60 mètres. Le télescope NTT (*New Technology Telescope*) de 3,50 mètres a été une véritable innovation en matière de conception et d'ingénierie pour les télescopes. Ce fut le premier télescope au monde à avoir un miroir primaire contrôlé par ordinateur (optique active), une technologie développée par l'ESO et maintenant utilisée sur la plupart des autres grands télescopes au monde. Le télescope de 3,60 mètres d'ESO est actuellement équipé de l'instrument le plus performant au monde pour détecter des planètes extrasolaires : HARPS (*High Accuracy Radial Velocity Planet Searcher*), un spectrographe d'une précision inégalée.

Alors que La Silla reste au premier plan de l'astronomie et occupe toujours la seconde place des observatoires astronomiques au sol en termes de production scientifique, le site de Paranal, à 2 600 mètres d'altitude, avec son réseau de très grands télescopes (VLT), est l'installation maîtresse de l'astronomie européenne. Paranal est situé à environ 130 km au sud d'Antofagasta au Chili, à 12 km de la côte pacifique, dans une des zones les plus arides sur Terre. Les activités scientifiques y ont débuté en 1999 et ont débouché sur de nombreux programmes de recherche couronnés de succès.

¹⁰⁸ Son siège est basé à Garching, en Allemagne, près de Munich.

Le VLT est un télescope basé sur les dernières technologies. En fait, il ne s'agit pas d'un télescope, mais d'un réseau de quatre télescopes, chacun équipé d'un miroir primaire de 8,20 mètres de diamètre. Avec un seul de ces télescopes, il est possible d'obtenir avec une pose d'une heure, des images d'objets célestes très peu lumineux, jusqu'à la magnitude 30. Cela correspond à des objets qui sont quatre milliards de fois moins lumineux que ce qui peut être vu à l'œil nu.

Le VLT a également quatre Télescopes Auxiliaires mobiles complémentaires de 1,8 mètre. La possibilité d'utiliser le VLT comme un interféromètre géant (VLT Interferometer ou VLTI) en combinant la lumière de plusieurs de ses Télescopes ou des Télescopes Auxiliaires, est une des caractéristiques les plus sensationnelles du VLT. Dans une telle configuration, le télescope a une vision aussi précise qu'un télescope dont la taille correspondrait à la distance entre les miroirs les plus éloignés, soit jusqu'à 200 mètres dans le cas du VLTI avec les Télescopes Auxiliaires.

La prochaine étape après le VLT est de construire le télescope géant (ELT) observant dans le visible et l'infrarouge avec un miroir primaire de 39 mètres de diamètre. L'ELT sera « l'œil le plus grand du monde tourné vers le ciel » - le plus grand télescope dans le visible et le proche infrarouge au monde. L'ELT tentera de répondre aux questions les plus brûlantes de l'astronomie actuellement sans réponse. Il révolutionnera peut-être même notre perception de l'Univers, comme l'a fait la lunette de Galilée il y a 400 ans. Le feu vert pour la construction de l'ELT a été donné fin 2014 avec une première lumière prévue pour 2024.

Chaque année, environ 2000 demandes sont déposées pour utiliser les télescopes d'ESO, ce qui impliquerait de pouvoir disposer de quatre à six fois plus de nuits que ce qui est disponible actuellement. L'ESO est l'observatoire astronomique le plus productif au monde et permet chaque année des publications scientifiques de haut niveau (dans des revues à référés) : sur la seule année 2013, plus de 840 articles référencés, réalisés à partir des données d'ESO, ont été publiés. De plus, les articles de recherche réalisés à partir de données du VLT sont globalement cités deux fois plus souvent que la moyenne. La très grande efficacité des « machines scientifiques » d'ESO génère désormais d'énormes quantités de données à une vitesse très élevée. Elles sont stockées dans les archives permanentes au siège d'ESO. Les archives contiennent maintenant plus de 10 millions d'images ou spectres avec un volume total d'environ 200 téraoctets (200 000 000 000 000 bytes) de données.

B - ALMA

L'ESO est responsable de la contribution européenne au projet mondial ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array), regroupant l'Europe, les Etats-Unis, le Canada, le Japon, et Taïwan. Ce projet de radio-télescopes fonctionnant dans le domaine des ondes millimétriques et submillimétriques, est un succès scientifique et technique remarquable, dont les objectifs principaux sont l'étude du gaz moléculaire et de la poussière dans l'univers. ALMA se distingue surtout pour les études portant sur la formation des étoiles et des planètes.

ALMA

ALMA est un réseau de 66 antennes géantes (dont 50 antennes de 12 mètres de diamètre pour l'interférométrie, 4 antennes de 12 mètres pour des observations en puissance totale et 12 antennes de 7 mètres de diamètre observant dans les longueurs d'ondes millimétrique et submillimétrique). ALMA a commencé les observations scientifiques en 2011 et a été inauguré en 2013. ALMA est installé sur le haut plateau de Chajnantor, à 5000 mètres d'altitude, l'un des sites les plus hauts du monde pour un observatoire astronomique. ALMA est un partenariat entre l'ESO (représentant ses États Membres), le NSF (États-Unis) et le NINS (Japon) avec le NRC (Canada) et le NSC et l'ASIAA (Taiwan) et le KASI (Corée du sud) en collaboration avec la République du Chili. L'Observatoire commun ALMA (JAO pour Joint ALMA Observatory) est géré par l'ESO, l'AUI/NRAO et le NAOJ. Chajnantor accueille également le télescope millimétrique et submillimétrique de 12 mètres de diamètre APEX exploité par l'ESO pour le compte de l'Observatoire Spatial d'Onsala (OSO), de l'Institut Max Planck pour la radioastronomie et d'ESO lui-même.

Le temps d'observation est attribué sur appels d'offres ouverts à l'ensemble de la communauté internationale. Les propositions sont évaluées par un comité unique d'allocation du temps de télescope. Le temps d'observation est ensuite attribué de façon à ce que chaque partenaire ait un retour proportionnel à son investissement.

III - La stratégie française

La stratégie française est fondée sur le choix de privilégier des instruments internationaux au meilleur niveau pour maintenir les capacités nationales. Les priorités scientifiques sont centrées sur :

- l'origine et l'évolution de l'Univers (matière et énergie noires, formation des premières structures) ;
- l'origine et l'évolution du système solaire, et de systèmes équivalents avec la caractérisation des atmosphères et ultimement la recherche de marqueurs biologiques ;
- les phénomènes de très haute énergie (utilisation de l'Univers comme laboratoire de physique et recherche de traceurs dans les régions les plus reculées de l'Univers).

La feuille de route française des infrastructures de recherche s'articule autour de trois TGIR : CFHT dans le domaine spectral du visible et de l'IR (CFHT) ; IRAM dans le domaine millimétrique et submillimétrique (IRAM) ; CTA pour les instruments d'étude des très hautes énergies.

Les TGIR de ce secteur représentent 4,20 % du volume total des ressources perçues par les TGIR et 3,20 % des crédits versés par l'État en 2017, ce qui place le domaine en cinquième position à la fois en termes de ressources globales et de financements par l'État. Sur la période 2012-2017, le financement par l'État (16,5 M€ en 2012 et 11,394 M€ en 2017) ainsi que sa part dans les ressources totales (48,08 % en 2012 et 31,9 % en 2017) des TGIR du domaine ont diminué. La part de ressources propres dans les ressources des TGIR du domaine place celui-ci en deuxième position avec 12,33 % en 2017. Le tableau ci-après récapitule les ressources des TGIR du domaine.

**Tableau n° 28 : les ressources des TGIR du domaine de l'astronomie
et de l'astrophysique (en M€)**

<i>En M€</i> RESSOURCES (réalisé)	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total 2012-2017
<i>Financement État</i>	16,5	11,204	10,812	10,563	9,711	11,394	70,184
<i>dont P 172</i>	10	9,52	10,812	9,563	9,711	11,394	61
<i>dont PIA</i>	6,5	1,684	0	1	0		9,184
<i>Fonds européens</i>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,304	0,304
<i>Financement collectivités locales</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Financement autres États</i>	9,532	10,471	14,217	19,847	19,039	19,616	92,722
<i>Ressources propres</i>	2,882	2,01	1,895	2,565	1,895	4,406	15,653
<i>Autres ressources</i>	5,405	0	0	0	0	0	5,405
TOTAL GENERAL	34,319	23,685	26,924	32,975	30,645	35,720	184,268

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

IV - Le CFHT : télescope international (France, Canada, États-Unis)

Créé en 1974 et mis en exploitation en 1979, le CFHT, spécialisé dans le domaine de l'optique, est un observatoire astronomique international au sommet (4 200 m) du volcan Mauna Kea, sur la grande île d'Hawaï. Il collecte avec une excellente qualité d'image la lumière visible et infrarouge émise par les galaxies, les étoiles, les planètes. Tous les domaines de l'astronomie, y compris la planétologie et la cosmologie, sont concernés.

Le CFHT est inscrit sur la feuille de route en tant que TGIR depuis 2008. Le CFHT est une société à but non lucratif de droit américain. Dotée de 42 ETPT la TGIR dispose d'un budget d'un peu plus de 3 M€ par an. Le CFHT est une infrastructure monosite.

L'infrastructure est composée d'un télescope de 3,6 m et mis en fonction en 1979 et d'une suite d'instruments très performants associés : MEGACAM¹⁰⁹ (imagerie grand champ dans le domaine visible), WIRCAM (imagerie dans le domaine infrarouge), ESPaDOnS (spectropolarimètre pour l'étude de la vie magnétique des étoiles), Sitelle (un spectromètre transformé de Fourier dans le domaine visible) et, à l'automne 2018, SPIRou (un spectro-

¹⁰⁹ Qui a permis des avancées importantes en Cosmologie Observationnelle (deux médailles d'argent du CNRS découlent de ces observations)

polarimètre infrarouge ultra stable)¹¹⁰ en partie financé par des contributions des régions Ile de France, PACA, et Midi-Pyrénées. Avec ce nouvel instrument, le CFHT restera compétitif jusque vers 2025. La suite est moins évidente. Il existe un projet de remplacer le télescope de 3,60 m actuel par un télescope de plus grande taille, spécialisé pour la spectroscopie multi-objets. Ce projet appelé Mauna Kea Spectroscopic Explorer est en cours d'étude. Son financement n'est pas assuré. La communauté française n'a pas pris position sur cette évolution, ni sur une éventuelle participation à ce projet. Mais si on vise l'horizon 2025 pour le MKSE, il faudra prendre des décisions dans le cadre du prochain exercice de prospective dont les résultats seront connus en 2020.

Le temps d'observation est attribué à partir d'appels à propositions évaluées et classées par un comité scientifique. Une très large fraction du temps d'observation (60 %) est consacrée à des « large programmes », avec des configurations instrumentales stables, des observations en mode service et tout récemment l'introduction d'une estimation en temps réel du rapport signal à bruit afin d'optimiser la durée des poses.

Le CFHT est utilisé principalement par des astronomes canadiens et français, ainsi que par des astronomes associés avec l'Université d'Hawaï. Le personnel de l'*Institute for Astronomy* à l'Université d'Hawaï conduit des recherches dans des domaines variés, et est aussi impliqué dans l'enseignement de l'astronomie et dans le développement, le management et les opérations d'observatoires sur le Haleakalā et le Mauna Kea. Outre ces utilisateurs institutionnels, le CFHT est aussi ouvert aux astronomes taiwanais, grâce à une collaboration sur le développement instrumental avec l'*Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics*, et aux astronomes brésiliens grâce à un accord avec le *Laboratório Nacional de Astrofísica*. Le CFHT est aussi ouvert pour quelques nuits par an aux astronomes européens avec l'*OPTICON Trans-national Access Programme*.

Le personnel scientifique du CFHT est composé d'astronomes résidents, d'astronomes visiteurs, des observateurs de service et des assistants à l'observation. Le personnel scientifique est impliqué dans plusieurs des activités de la TGIR. Les résultats scientifiques importants obtenus au CFHT sont régulièrement publiés dans les médias. Les astronomes résidents ont leurs propres projets de recherche et publient leurs résultats dans les journaux scientifiques. Ils produisent également des articles sur l'astronomie pour le grand public dans des journaux locaux.

Les données sont accessibles à la fin de la période propriétaire, soit au bout de 12 mois.

La gouvernance de l'infrastructure est articulée autour :

- d'un Conseil d'administration du CFHT : le conseil d'administration est composé de dix membres, 4 nommés par le Conseil National de Recherches du Canada (CNRC), 4 nommés par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) de France, et 2 nommés par

¹¹⁰ SPIRou est un spectrographe échelle à dispersion croisée et un polarimètre, couvrant le domaine infrarouge proche jusqu'à la bande K avec une résolution spectrale supérieure à 70 000. Il est conçu pour la mesure des vitesses radiales d'étoiles, avec une précision de 1 m/s.

SPIRou a passé avec succès sa Revue de Concept Final en Avril 2014. Il doit être installé au CFHT comme Instrument Invité au début de l'année 2018. Le consortium international est mené par le LATT/IRAP à Toulouse, France (PI: J.-F. Donati).

l'Université d'Hawaii. Le Conseil d'administration nomme le Directeur de la Société qui est en charge de la gestion de la Société ;

- d'un Conseil Scientifique Consultatif : le conseil scientifique consultatif (CSC) se compose de 10 membres désignés par le conseil d'administration : 4 désignés par le Conseil National de Recherches du Canada (CNRC), 4 désignés par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) de France, et 2 désignés par l'Université d'Hawaii. Le Conseil scientifique consultatif donne au conseil d'administration et au directeur des avis sur les questions scientifiques et techniques se rapportant à l'objet de la société.

Les comités d'attribution de temps (Français et Canadiens) sont responsables de l'allocation du temps de télescope pour les astronomes Français et Canadiens.

Le principal enjeu pour la TGIR est celui de sa localisation. Les populations locales demandent le retour à l'état d'origine du terrain car il s'agit d'un site sacré. Le coût du démantèlement n'a pas été évalué. Dans son avis de février 2018 sur l'inscription sur la feuille de route nationale, le HC-TGIR notait que si l'avenir du CFHT est assuré pour les 10 prochaines années avec le nouveau plan d'instrumentation, il s'inquiète du manque de perspectives claires au-delà et encourage la communauté scientifique à se prononcer rapidement sur une éventuelle participation à un nouveau projet qui serait installé sur le site du CFHT.

V - L'IRAM : institut de radioastronomie millimétrique

Spécialisé dans le domaine milli et submillimétrique, l'IRAM est un institut international (France-Allemagne-Espagne) chargé de développer, faire fonctionner et mettre à disposition de la communauté scientifique deux observatoires dans le domaine des longueurs d'onde millimétriques et submillimétriques (de 0,8 à 3,4 mm, soit 70 à 350 GHz).

L'IRAM a été fondé en 1979 par le CNRS et le MPG (Max-Planck-Gesellschaft) allemand. L'IGN (*Instituto Geográfico Nacional*) espagnol, initialement membre associé, est devenu membre de plein exercice en 1990. L'IRAM est une société civile de droit français détenue à 47 % par le CNRS, 47 % par le Max-Planck-Gesellschaft et 6 % par l'*Instituto Geográfico Nacional*. L'IRAM est inscrit sur la feuille de route française depuis 2008 en qualité de TGIR. C'est une infrastructure distribuée.

Les instruments de l'IRAM offrent des possibilités d'observations extrêmement vastes dans le domaine (sub)millimétrique, un des domaines clés de l'astrophysique moderne. Les thématiques scientifiques couvrent notamment l'étude du système solaire (atmosphères planétaires, comètes), la formation des étoiles et des disques protoplanétaires, les phases évoluées des étoiles, les propriétés physico-chimique du milieu interstellaire, celles des galaxies proches, mais aussi la formation des galaxies dans l'univers à grand redshift et les études cosmologiques associées. L'IRAM reste le meilleur interféromètre millimétrique de l'hémisphère nord.

Les deux observatoires de l'IRAM sont :

- une antenne de 30 m de diamètre située sur le Pico Veleta, dans le massif de la Sierra Nevada, près de Grenade (Andalousie) ;

- un interféromètre composé de 7 antennes de 15 mètres de diamètre (en 2015), situé sur le Plateau de Bure, dans le massif du Devoluy (Hautes-Alpes), qui passera progressivement à 12 antennes en 2020 (projet NOEMA¹¹¹). L'IRAM a lancé le projet NOEMA consistant à rajouter 6 nouvelles antennes qui permettent d'accroître considérablement la rapidité de l'interféromètre mais aussi son efficacité en terme d'opération puisqu'une seule configuration de la disposition relative des antennes deviendra suffisante dans la plupart des cas pour faire une carte. Le projet a été engagé en 2014 et financé grâce au PIA, dans le cadre d'un EQUIPEX. Le partenaire espagnol s'est désengagé de NOEMA et a réduit au moins temporairement sa contribution au fonctionnement de l'IRAM pour des difficultés financières. 8 M€ pour la part française, ont été demandés au PIA 3 pour faire suite au financement déjà obtenu dans le cadre du PIA 1 pour l'achèvement du projet. À noter que l'IRAM a recherché ces dernières années à diversifier ses ressources par des partenariats ou des financements internationaux, et notamment européens (*ERC synergy*, *ERC advanced*), ou de collaborations internationales (universités du Michigan et de Nanjing).

L'IRAM dispose d'équipes et de laboratoires couvrant un très large ensemble de besoins techniques et scientifiques : récepteurs, fabrication d'éléments supraconducteurs, électronique, mécanique de haute précision, logiciels de commande, logiciels de réduction de données,...

Les données sont accessibles immédiatement aux équipes ayant proposé les observations. Elles sont en accès libre après période propriétaire de 18 mois à 3 ans.

Le budget de l'IRAM est de 7,6 M€ en 2017 et dispose de 120 ETPT, dont 90 en France.

La gouvernance de l'Institut est articulée autour de trois comités :

- conseil exécutif : 9 membres (3 par pays partenaires) ;
- comité du programme : 15 membres ;
- comité consultatif scientifique : 9 membres (3 allemands, 3 français, 2 espagnols et 1 américain).

Le principal enjeu concerne la mise en œuvre du projet NOEMA.

VI - Le Cherenkov Telescope Array (CTA)

Le projet de télescopes CTA, rassemble l'ensemble de la communauté mondiale de l'astronomie gamma de très hautes énergies. Inscrit sur la feuille de route française 2008 comme TGIR hautement prioritaire, il sera classé comme projet dans les feuilles de route française de 2012 et 2016 comme dans celles de l'ESFR 2010 et 2016 avant de devenir TGIR dans la feuille de route française 2018. La mise en exploitation est prévue pour 2020. Il s'agit d'une infrastructure distribuée localisée au Chili (Paranal) et en Espagne (La Palma).

¹¹¹ Le projet NOEMA a un impact socio-économique très important : la plus grande part de son budget est utilisée pour des achats et des contrats avec des sous-traitants industriels. Plusieurs de ces contrats incluent des développements de pointe dans des entreprises high-tech, par exemple dans le domaine de la micro-mécanique de haute précision ou de l'électronique numérique rapide. Le nombre d'emplois indirects créés par le projet NOEMA dépasse 100.

Les télescopes Tcherenkov¹¹² observent les photons gamma de haute énergie de manière indirecte en détectant les éclairs ténus de lumière Tcherenkov qui sont émis par les gerbes de particules créées lors de l'interaction d'un photon gamma cosmique avec l'atmosphère terrestre. Après le succès des télescopes Tcherenkov de seconde génération pour l'astronomie gamma à très haute énergie (et notamment HESS), CTA, avec une centaine de télescopes Tcherenkov au sol de trois tailles différentes distribués en deux réseaux, l'un dans l'hémisphère sud au Chili pour une observation du centre galactique et l'autre dans l'hémisphère nord aux Canaries, constitue une extension naturelle des télescopes existants. CTA permettra d'accroître la sensibilité des observatoires actuels de plus d'un ordre de grandeur tout en assurant une meilleure résolution angulaire. Les différentes tailles des télescopes permettront également d'étendre le domaine d'énergie et le recouvrement à basse énergie avec le satellite Fermi de la NASA lancé en 2008 et opérationnel depuis 10 ans. CTA permettra ainsi de découvrir des nouvelles sources d'émission de photons à haute énergie, de mieux comprendre les mécanismes de leur accélération et de détecter de possibles signaux liés à la matière noire.

CTA ouvre un large éventail de perspectives scientifiques. Parmi celles qui intéressent le plus les astrophysiciens français, citons :

- la cartographie de l'émission gamma des régions centrales de la galaxie, des vestiges de supernovas et des nuages moléculaires, qui permettra de mieux comprendre les processus d'accélération et de diffusion des rayons cosmiques galactiques, et finalement leur origine.

- l'étude de l'accélération de particules autour d'objets compacts, depuis les étoiles à neutrons proches jusqu'aux trous noirs stellaires galactiques et aux noyaux des galaxies actives ; l'observation des sources de rayonnement cosmique très distantes permettra de sonder les grands vides cosmiques situés entre elles et nous, pour en déterminer des caractéristiques encore inconnues comme leur contenu en matière ou leur champ magnétique.

- de grands relevés du plan de la galaxie, du Grand Nuage de Magellan et d'une large région du ciel à haute latitude galactique. A cette sensibilité inégalée, ces relevés dévoileront l'existence de centaines de sources inconnues à ce jour, et amèneront peut-être des surprises.

- en physique fondamentale, CTA pourra rechercher de possibles signatures spectrales de particules candidates pour la constitution de la matière noire (wimps, axions) et effectuer des tests sur l'invariance de Lorentz.

- finalement, CTA sera un instrument de choix pour le suivi de possibles transitoires associés aux détections d'ondes gravitationnelles, de neutrinos de haute énergie, ou d'explosions dans le ciel détectées à n'importe quelle longueur d'onde.

Entre 2012 et 2014 a été créée une structure légale provisoire pour la phase de définition, CTAO, une GmbH (société à responsabilité limitée) de droit allemand. Si 32 pays contribuent aux études de CTA, seuls 9 sont membres de la GmbH. La France y est représentée par le CNRS et le CEA, qui portent la contribution française au projet.

¹¹² Translittération usuelle en français. L'observatoire CTA est constitué de 3 types de télescopes, les *Large Size Telescopes* (LST, 23 m de diamètre) pour les basses énergies, les *Mid Size Telescopes* (MST, 12 m de diamètre) pour les énergies intermédiaires, et les *Small Size Telescopes* (SST, 4 m de diamètre) pour les hautes énergies. Chaque télescope est équipé d'une caméra d'un type dépendant de la taille du télescope. Pour les MST il y aura deux types de caméras, avec des performances équivalentes.

Le CTAO Council a décidé de démarrer la construction de CTA à partir d'un seuil de mise en œuvre qui assure des avancées scientifiques significatives par rapport aux instruments existants. Ce seuil affiche un cout consolidé de 250 M€ et correspond à la configuration suivante :

- les basses énergies au site Nord avec 4 LST et 5 MST ;
- les moyennes et hautes énergies au site Sud avec 15 MST et 50 SST.

Tout financement supplémentaire sera utilisé pour compléter CTA et arriver à la configuration nominale : au Nord, 4 LST et 15 MST, et au Sud, 4 LST, 25 MST et 70 SST.

En France, la construction et les opérations de CTA intéressent directement 12 laboratoires CNRS (INSU ou IN2P3), et 4 services du CEA à l'IRFU/DRF. Cela représente 214 personnes (scientifiques, ingénieurs, techniciens, administratifs), pour 79 ETP, constituant 18 % des ETP du Consortium CTA.

Le budget correspondant pour la phase de construction est de 51,76 M€, dont 36,76 M€ de contributions en nature (coûts complets) à répartir sur les 6 ans prévus pour la construction, et incluant 25 % de marges pour aléa. Le poste principal est celui des caméras NectarCAM pour un montant de 22,1 M€.

Tableau n° 29 : les ressources de la TGIR IRAM (en M€)

En M€ RESSOURCES (réalisé)			IRAM 2012	IRAM 2013	IRAM 2014	IRAM 2015	IRAM 2016	IRAM 2017	IRAM 2018 (prévision)
	Programme 172	CNRS (cash)	7,276	6,925	7,771	5,920	6,160	7,605	7,784
		TOTAL CNRS	7,276	6,925	7,771	5,920	6,160	7,605	7,784
		TOTAL P 172	7,276	6,925	7,771	5,920	6,160	7,605	7,784
	Investissements d'avenir	Labex		0,184					
		Equipex	6,500	1,500		1,000			1,000
TOTAL Financement État			13,776	8,609	7,771	6,920	6,160	7,605	8,784
Financements européens	Contrats Européens							0,304	
	Total Contrats européens					-	-	0,304	-
Financements d'autres États			6,514	7,364	11,137	16,216	15,408	16,216	6,291
Ressources propres de la TGIR		Facturation/Valorisation	1,864	0,98	0,661	1,166	1,092	0,728	1,184
		Produits financiers	0,193	0,244	0,196	0,184	0,135	0,143	0,140
Autres	ESO/ALMA		5,405						
TOTAL RESSOURCES			27,752	17,197	19,765	24,486	22,795	24,996	16,399

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

Tableau n° 30 : les ressources de la TGIR CTA (en M€)

En M€ RESSOURCES (réalisé)		CTA 2012	CTA 2013	CTA 2014	CTA 2015	CTA 2016	CTA 2017	CTA 2018 (prévision)	
Financement sur le budget général de l'État	Programme 172	CEA (cash)			0,200	0,250	0,050	0,050	0,991
		CEA (personnel)			-	-	-	-	0,555
		Total CEA	-	-	0,200	0,250	0,050	0,050	1,546
		CNRS (cash)			0,350	0,220	0,300	0,650	3,663
		CNRS (personnel)			-	-	-	-	1,375
		TOTAL CNRS			0,350	0,220	0,300	0,650	5,038
		TOTAL P 172	-	-	0,550	0,470	0,350	0,700	6,584
TOTAL Financement État		-	-	0,550	0,470	0,350	0,700	6,584	
TOTAL RESSOURCES		-	-	0,550	0,470	0,350	0,700	6,584	

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

Tableau n° 31 : les ressources de la TGIR CFHT (en M€)

En M€ RESSOURCES (réalisé)		CFHT 2012	CFHT 2013	CFHT 2014	CFHT 2015	CFHT 2016	CFHT 2017	CFHT 2018 (prévision)
État	CNRS (cash)	2,433	2,324	2,333	2,947	2,964	2,838	2,782
	CNRS (personnel)	0,291	0,271	0,158	0,226	0,237	0,251	0,251
	TOTAL CNRS	2,724	2,595	2,491	3,173	3,201	3,089	3,033
	TOTAL P 172	2,724	2,295	2,491	3,173	3,201	3,089	3,033
TOTAL Financement État		2,724	2,595	2,491	3,173	3,201	3,089	3,033
Financements d'autres États		3,018	3,107	3,08	3,631	3,631	3,4	3,843
Ressources propres de la TGIR	Facturation/Valorisation	0,825	0,786	1,038	1,215	0,668	3,535	1,803
TOTAL RESSOURCES		6,567	6,488	6,609	8,019	7,500	10,024	8,679

Source : réponses des opérateurs au questionnaire de la Cour, retraitées par la Cour des comptes

Chapitre VII

La biologie santé

Ce secteur à forts enjeux et soumis à une dure concurrence internationale ne comprend pas à ce jour de TGIR. Il sera cependant examiné car, d'une part, une OI, EMBL (qui fut TGIR en 2008), figure sur la feuille de route DGRI de 2018, d'autre part, la question de la constitution d'une TGIR a pu être évoquée.

I - Absence actuelle de TGIR, forts enjeux du secteur

Aujourd'hui les 16 infrastructures françaises dans le domaine de la santé et des biotechnologies autres qu'EMBL sont des IR. Il s'agit d'infrastructures de recherche distribuées de visibilité nationale en génomique, protéomique, bioinformatique, imagerie cellulaire et du petit animal, exploration fonctionnelle, biologie structurale, recherche clinique. On trouve aussi des IR cohortes et bases de données. Le secteur biologie /santé est le deuxième plus important en termes de coût (22 % des coûts totaux des IR/TGIR) après le secteur système Terre et environnement (24 %) et avant la physique nucléaire et hautes énergies (18 %) et les sciences de la matière (17 %).

Pourtant, même si certaines de ces infrastructures nationales sont les composantes françaises des infrastructures européennes ESFRI et si plusieurs initiatives de structuration ont eu lieu depuis quinze ans¹¹³, le secteur de la biologie santé n'a pas de TGIR pour des raisons historiques et « culturelles ». Il n'a pas la même antériorité en matière de grandes infrastructures de recherche et de dialogue unifié avec l'État que les secteurs « lourds » de la matière et de la physique. Les communautés sont diversifiées et présentes dans de nombreux organismes et laboratoires. L'alliance AVIESAN, au sein de laquelle l'INSERM joue un rôle actif, a structuré lui-même le secteur pendant des années, secteur qui en outre est traditionnellement lié au ministère de la santé autant qu'au MESRI.

Ne sont ainsi pas des TGIR, en particulier :

- les trois IR les plus coûteuses (avec chacune des coûts complets autour de 50 M€) : France Life Imaging (FLI), dans le domaine de l'imagerie médicale ; CELPHEDIA, qui réalise des expériences sur des animaux¹¹⁴ ; France génomique, la plateforme française en génomique

¹¹³ Notamment le programme RIO (2002) « Réunion Inter-Organismes » entre le CNRS (INSB), l'Inserm, l'INRA et le CEA (DSV) puis en 2007 le GIS-IBiSA (Infrastructures de Recherche en Biologie, Santé et Agronomie).

¹¹⁴ Infrastructure nationale pour la création, l'élevage, le phénotypage, la distribution et l'archivage d'organismes modèles.

et en bio-informatique (qui coordonne son action avec une autre IR, l'institut français de bio-informatique, IFB, faisant lui-même partie, comme EMBL-EBI, de l'infrastructure européenne ELIXIR (*distributed infrastructure for life-science information* »¹¹⁵) ;

- les trois IR qui sont la partie française d'une infrastructure de ESFRI : NEURATRIS¹¹⁶, dans le domaine de la médecine dite « translationnelle »¹¹⁷, qui fait partie d'EATRIS¹¹⁸ ; F-CRIN¹¹⁹, dans le domaine de la recherche clinique, qui fait partie d'ECRIN¹²⁰ ; HIDDEN, dans le domaine de la lutte contre les maladies infectieuses¹²¹, qui fait partie d'ERINHA¹²².

HIDDEN, qui correspond au Laboratoire P4 Jean Mérier de l'Inserm, pourrait cependant relever d'un enjeu stratégique de souveraineté et de sécurité nationales. Au total, le HC-TGIR a identifié début 2017 douze IR comme stratégiques¹²³, dont ce laboratoire, auquel il attribue « une dimension stratégique majeure ». Dans son avis sur le projet de feuille de route 2016 de la DGRI, le HC-TGIR envisageait d'en faire une TGIR¹²⁴.

Une autre particularité de ce secteur est son mode de financement, provenant en tout premier lieu des grands opérateurs, CNRS, CEA, Ifremer, INRA, MNHN et INSERM, puis du PIA (près de 10 % de ses ressources). Ce dernier a fortement contribué à la structuration des IR du secteur, avec pour commencer en 2010 et 2011, dans le cadre du programme Biologie et Santé des Investissements d'Avenir, deux appels à projets « Infrastructures Nationales en Biologie et Santé ».

Aujourd'hui se posent pour le secteur et de manière aigüe deux grands défis d'ordre différent, le recours au traitement des données massives produites et la pérennisation des financements, qui n'est pas assurée.

Sur le premier point, le secteur s'est rapproché de la DGRI pour une réflexion spécifique sur le stockage. Un nouveau projet est lancé (avec un début de financement du PIA 3), le CAD (collecte d'analyse des données). Sur le second, la réflexion doit porter sur plusieurs champs : la tarification d'abord, déjà largement pratiquée mais de manière différente selon les organismes, avait déjà fait l'objet d'une charte AVIESAN. Elle sera harmonisée à l'issue du groupe de travail général de la DGRI (une version V0 du guide devrait voir le jour d'ici juin 2019 pour ensuite être validée par les organismes) mais devra s'adapter à des modèles

¹¹⁵ Infrastructure distribuée pour l'information en science du vivant.

¹¹⁶ Infrastructure de recherche translationnelle pour les biothérapies en neurosciences.

¹¹⁷ Apparue dans les années 1960, la médecine translationnelle s'efforce de « traduire » la recherche fondamentale en science appliquée.

¹¹⁸ *European Advanced Translational Research Infrastructure in Medicine* (infrastructure européenne de recherche translationnelle avancée en médecine).

¹¹⁹ Plateforme nationale d'infrastructures de recherche clinique.

¹²⁰ *European Clinical Research Infrastructure Network* (réseau européen d'infrastructures de recherche clinique).

¹²¹ *Highly Infectious Diseases Dedicated Infrastructure Extension* (extension d'infrastructure pour les maladies hautement infectieuses).

¹²² *European Research Infrastructure on Highly Pathogenic Agents* (infrastructure européenne de recherche sur les agents hautement pathogènes).

¹²³ « Début 2017, un grand nombre de ces infrastructures et des projets avaient exprimé des besoins d'équipements ou de jouvence au PIA3. L'examen de ces expressions de besoin par le HC-TGIR lui en avait fait retenir une dizaine d'IR comme stratégiques. Il s'agit de EMERG'IN, France-Génomique, FRISBI, Neurospin, ProFI, FBI, CELPHEDIA, CAD, ChemBioFrance, P4 J Mérier, MetaboHUB, IDMIT » (HC-TGIR, « avis sur la mise à jour 2018 de la feuille de route nationale des grandes infrastructures de recherche », 15 février 2018).

¹²⁴ « Sa place dans la feuille de route, peut-être comme TGIR, est évidente ».

économiques différents. En tout état de cause, et comme pour d'autres disciplines, la tarification ne saurait à ce jour constituer un élément central du modèle économique à construire. Le deuxième champ de réflexion est celui du recours au PIA, qui doit englober une démarche de priorisation des IR.

Dans la suite du rapport 2017 du HC-TGIR, ce secteur devrait faire l'objet de décisions stratégiques, portant sur des priorisations et permettant de « sanctuariser » des crédits aujourd'hui très instables.

II - Les financements du PIA

Les infrastructures de recherche en biologie-santé¹²⁵ ont bénéficié des financements de l'action « santé - biotechnologies » (sous-action « infrastructures ») dans le cadre des PIA 1 et 2. On recense 23 projets financés pour 63 projets déposés par les deux premiers volets des investissements d'avenir faisant partie de la SNIR ou étant rattachés à une infrastructure de recherche (IR). En 2016, les 23 projets ont fait l'objet d'une évaluation à mi-parcours par un jury international réuni par l'ANR. Parmi eux, 5 projets ont été jugés excellents dans leur mise en œuvre et leurs résultats ; 3 projets ont été jugés insuffisants et ont été suspendus (dont 1 définitivement arrêté depuis). Les autres projets ont été jugés en ligne avec les attentes, avec ou sans remarques d'ajustements.

Ces crédits se concentrent dans les actions suivantes.

A - Santé biotechnologie (PIA 1)

L'action « Santé – Biotech », deuxième action du PIA 1, d'un montant de 496 M€ d'investissements sur une durée de 8 à 9 ans, répartis entre 335 M€ de dotation consommable et 539 M€ d'intérêts de dotation non consommable, est destinée à soutenir la recherche en santé et faire émerger une bio-économie basée sur la connaissance du vivant et sur de nouvelles valorisations des ressources biologiques renouvelables. Cette action se compose de plusieurs appels à projet thématiques :

- infrastructures : vise à financer des ensembles d'équipement et de personnel qui soutiendront les projets de recherche français dans les divers domaines des sciences de la vie. Il doit doter la France de plusieurs grandes infrastructures d'envergure nationale et très compétitives internationalement. Elles devront reposer sur un engagement réel à fournir à long terme des services et des moyens de recherche à l'ensemble de la recherche française dans les champs concernés ;

- démonstrateurs : vise à développer des produits ou des procédés dont la preuve de concept scientifique a déjà été établie. Il doit permettre d'apporter plus rapidement la preuve de concept industrielle, étape indispensable entre la recherche fondamentale ou appliquée et la production de masse, afin de développer les découvertes de la recherche en biotechnologie ;

¹²⁵ On notera que les infrastructures du secteur « biologie-santé » dans le domaine de l'expérimentation animale ont des besoins élevés en fonctionnement par rapport aux équipements (80 %/20 %) alors que dans de nombreux autres domaines le rapport est inversé.

- biotech-bioressources : doit permettre, par l'utilisation de technologies haut débit, de réaliser des avancées significatives dans la sélection végétale mais aussi de valoriser la biomasse par des procédés innovants faisant appel à des micro-organismes pour le développement de catalyseurs biologiques. Des retombées sont attendues dans les domaines de l'agro-industrie (amélioration de la productivité, sécurité alimentaire) et de l'environnement (qualité des sols et des eaux, utilisation de matières premières renouvelables).

Dans le cadre de la loi de financement prévoyant le PIA3, il a été prévu un prolongement possible de 500 M€ de dotation non consommable (jusqu'en 2025) pour l'ensemble des projets de type équipements/plateformes/services financés dans le cadre de la convention État-ANR « Santé et biotechnologies » soit 23 infrastructures, 4 démonstrateurs et 10 cohortes. Le mécanisme prévoit une évaluation en 2019 par un jury indépendant avant une possible prolongation de financement.

B - Equipex (PIA 1 et 2)

L'interrogation portant sur le modèle économique des infrastructures de recherche a conduit les organismes de recherche et, en particulier l'Inserm, à anticiper la fin des financements PIA à l'horizon 2022/2025. Le pôle infrastructures de l'Inserm a ainsi déjà rencontré les coordinateurs des 3 IR pilotées par l'Inserm, HIDDEN, FCRIN et INGESTEM ; les échanges permettent d'ébaucher le nouveau périmètre à consolider pour les années futures, en lien avec la stratégie de l'organisme. Il s'agit pour l'Inserm de reconcevoir le périmètre des infrastructures en fonction des évolutions de recherche, et pas nécessairement de pérenniser les structures à l'identique.

Un maintien du soutien de ces infrastructures par l'État semble donc indispensable pour éviter un risque fort de perte du savoir-faire français et un ralentissement important de notre compétitivité. Ce soutien doit permettre de poursuivre les investissements en équipements sur les infrastructures nationales existantes et de permettre le déploiement rapide des nouvelles technologies qui émergent afin de maintenir l'attractivité et soutenir l'excellence de la recherche de niveau national en sciences du vivant.

L'alliance AVIESAN estime, sur la base du financement des investissements d'avenir, qu'un soutien en équipement à hauteur de 35 à 40 M€ annuels par l'État, est nécessaire pour le maintien des infrastructures en sciences du vivant, en complément des contributions des établissements de recherche (personnel, locaux,...).

Pour certaines infrastructures, le déploiement pourrait être opéré par tranches avec un modèle économique en cohérence. Pour d'autres, des interfaces avec d'autres infrastructures de recherche pourraient être renforcées afin de bénéficier de mutualisation de moyens.

Le CNRS estime de son côté que cinq (production, distribution et archivage de modèles animaux, imagerie, bioinformatique, biologie structurale, protéomique) des six infrastructures qu'il coordonne dans le cadre du PIA 1 avaient consommé plus de 80 % de leurs crédits PIA fin 2017. La sixième infrastructure, l'Institut français de Bioinformatique (IFB), nœud français d'ELIXIR au niveau européen, a connu des difficultés de démarrage et a nécessité une profonde restructuration en cours d'exercice. De ce fait un nouveau budget prévisionnel a été construit qui permet de couvrir les frais de l'infrastructure jusqu'à la mi-2021, à l'exception de la cotisation à ESFRI ELIXIR qui n'est provisionnée que pour 2018 et 2019 (1,2 M€ par an).

Si l'on se fonde sur la moyenne des consommations des années 2012-2016, l'assèchement des crédits du PIA représentera à l'épuisement du financement de ces infrastructures un déficit de 4 M€ début 2019, de 12 M€ début 2020 et 14 M€ en 2021.

Aucun crédit budgétaire n'a pour le moment été demandé par le ministère pour soutenir ces infrastructures à l'issue du PIA. Un groupe de travail a toutefois été constitué à la DGRI pour entamer une réflexion sur la fin de ces financements et mesurer l'impact, notamment financier, que cela pourrait avoir sur le programme 172. À cet effet, le MESRI a récemment lancé une enquête auprès l'ensemble des infrastructures sur leurs besoins au-delà de 2019.

C - La question du financement des infrastructures « biologie-santé » à la fin des financements PIA 1 et 2

Les infrastructures (IR) du domaine « biologie-santé » ont été largement financées dans le cadre des PIA 1 et 2. La fin annoncée de cette source de financement et le fait que peu de structures financées soient viables économiquement pose la question de l'impact sur le programme 172, d'autant que les discussions sur le PIA 3 n'ont pas encore abouti. Le MESRI estime, en effet, logique de considérer la pérennisation de ces infrastructures de recherche, si l'expertise scientifique individuelle la juge pertinente, comme prioritaire dans la mesure où il s'agirait de capitaliser sur les lourds investissements engagés avec succès depuis 10 ans dans ces secteurs. Même si en 2017 le HC-TGIR a estimé 12 d'entre elles stratégiques, ces infrastructures n'ont pas pour l'instant vocation, sauf exception, à être financées sur l'action 13 du programme 172 et donc à devenir TGIR. Elles doivent néanmoins clairement rentrer dans un exercice global de prospective.

L'arrivée de technologies d'analyse massive d'échantillons (technologies à haut débit dites « omics ») et l'éclatement des sciences de la vie entre plusieurs institutions nationales ont amené l'État à s'interroger sur l'adéquation des moyens à la disposition des communautés scientifiques et médicales à leurs besoins. Afin de répondre à la forte hausse des demandes suscitées par ces nouvelles technologies et de permettre à la recherche française en sciences du vivant de maintenir son rang international, l'État a décidé de financer des plateformes mutualisées de services destinées à l'ensemble des communautés des sciences du vivant.

III - EMBL (*European Molecular Biology Laboratory*)

La biologie moléculaire examine le fonctionnement des cellules au niveau moléculaire, en particulier en ce qui concerne l'ADN et l'ARN. Son domaine recoupe fréquemment celui de deux disciplines voisines, la génétique et la biochimie¹²⁶.

Avec pour objectif affiché de mettre fin à la « fuite des cerveaux » vers les États-Unis, trois organisations européennes ont alors été créées dans ce domaine :

¹²⁶ Étude des réactions chimiques qui se déroulent au sein des êtres vivants.

- en 1964, l'Organisation européenne de biologie moléculaire (European Molecular Biology Organization, EMBO), association de droit suisse qui regroupe des universités et des centres de recherche nationaux, et dont le siège est à Genève ;

- en 1969, la Conférence européenne de biologie moléculaire (European Molecular Biology Conference, EMBC), organisation internationale dont le siège est à Heidelberg (Allemagne) et réunissant 30 États membres, qui organise des actions de formation, d'enseignement et de recherche, et qui finance l'EMBL, chargée de la mise en œuvre de son programme ;

- en 1973, le Laboratoire européen de biologie moléculaire (European Molecular Biology Laboratory, EMBL), organisation internationale dont le siège est également à Heidelberg et réunissant 25 États membres, qui est un centre de recherche disposant d'équipements de pointe.

EMBC, inscrite sur la « feuille de route » de 2016 de la DGRI, en a été retirée en 2018.

En 2017, l'ensemble EMBL/EMBC/EMBO dispose d'un budget de 205 M€ dont 20 (17 pour EMBL et 3 pour EMBC) apportés par la France.

EMBL est installé sur six sites.

Tableau n° 32 : les six sites d'EMBL

	Pays d'implantation	Création	Domaine	TGIR situées sur le même site
EMBL Heidelberg	Allemagne	1973	Siège Laboratoire principal : biologie cellulaire, biophysique, biologie du développement, biologie du génome, biologie structurale et computationnelle	
EMBL Grenoble	France	1973	Biologie structurale	ESRF (synchrotron), ILL (faisceau de neutrons)
EMBL Hambourg	Allemagne	1973	Biologie structurale	Équipements du centre DESY : synchrotron PETRA-III, laser à électrons libres E-XFEL
EMBL-EBI Hinxton	Royaume-Uni	1992	Institut européen de bio-informatique	
EMBL Rome	Italie	1997	Épigénétique et neurobiologie	
EMBL Barcelona	Espagne	2017	Biologie des tissus et modélisation des maladies	

Source : Cour des comptes, d'après documents EMBL

EMBL figure sur la feuille de route ESFRI du fait de l'un des six sites d'EMBL, qui correspond à la définition d'une infrastructure de recherche : celui de l'Institut européen de bio-informatique (*European Bioinformatics Institute, EBI*), implantation d'EMBL au Royaume-Uni, spécialisé dans l'analyse informatique du génome. EMBL-EBI rend des services à la communauté mondiale de chercheurs, en hébergeant 155 petabytes de données, qui font l'objet de 38 millions de requêtes par jour. Ces informations sont utilisées par des chercheurs académiques, mais aussi par des entreprises, en particulier dans les domaines de la pharmacie et du secteur des agri-technologies.

EMBL-EBI est le « hub » de l'infrastructure ELIXIR, inscrite sur la feuille de route d'ESFRI. ELIXIR coordonne les infrastructures nationales en bio-informatique (en France, l'institut français de bio-informatique, IFB).

Dans son rapport d'activité 2017, EMBL indique avoir réalisé en 2017 667 publications scientifiques, dont 464 en collaboration. Toutefois ces chiffres ne prennent pas en compte les autres publications utilisant des données d'EMBL. Une recherche avec EuropePMC montre que chaque année environ 3 000 publications scientifiques mentionnent EMBL, ce qui sur cette base en fait l'infrastructure de recherche européenne la plus mentionnée après le CERN. La domination américaine reste cependant patente dans ce secteur, les États-Unis publiant la très large majorité des articles¹²⁷.

Par ailleurs EMBL « revendique » deux prix Nobel : le prix Nobel de physiologie et de médecine attribué à Christiane Nüsslein-Volhard and Erich Wieschaus (allemands) en 1995, pour leur recherche relative au développement embryonnaire de la mouche du vinaigre ; et le prix Nobel de chimie attribué en 2017 à Jacques Dubochet (suisse), pour une nouvelle technique de préparation des échantillons pour la microscopie électronique.

Le positionnement de la France au sein de cette OI est souligné comme non satisfaisant par les opérateurs concernés. La proportion de Français travaillant à EMBL est très inférieure à la contribution française (11 % des personnels vs 16,4 % du budget), à comparer avec 32 % de Britanniques pour 14,4 % du budget et 30 % d'Allemands pour 21 % du budget. Par ailleurs, le management d'EMBL apparaît comme peu transparent. La France devrait retrouver sa place au conseil scientifique, instance au poids déterminant dans le fonctionnement actuel d'EMBL. Le CNRS notamment souhaite y renforcer la position française par une présence complémentaire à celle de la DGRI.

¹²⁷ En janvier 1999-octobre 2009, sur les 20 principaux organismes publiant en biologie moléculaire et en génétique, 16 étaient américains (publiant 90 % des articles), le principal étant l'université de Harvard (publiant à elle seule 25 % des articles). EMBL était en neuvième position, avec 4 % des articles. Sur les autres organismes européens figurant parmi les 20 premiers, deux étaient britanniques (le *Wellcome Trust Sanger Institute* précité, utilisant EMBL-EBI, et le *Cancer Research UK*), et un allemand (le *Max Delbrück Centre for Molecular Medicine*). (Source : Thomson Reuters, *Essential Science Indicators database*.)

Chapitre VIII

ITER

ITER ne figure pas sur la feuille de route DGRI de 2018¹²⁸ mais elle doit être mentionnée pour son importance dans le paysage scientifique et pour son poids budgétaire.

L'infrastructure ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*¹²⁹, ou chemin en latin), située à Cadarache, provient d'une décision politique internationale de travail en commun. Elle est issue d'un accord signé en 2006 entre l'Union européenne, les États-Unis, le Japon, la Russie, la Chine, l'Inde, la Corée du Sud. Le projet avait été initié dès 1985 entre l'UE, les États-Unis, le Japon et l'URSS. 35 pays y sont engagés. Sa forme juridique est celle d'une entité internationale, créée en octobre 2007 pour 35 ans. La partie française d'ITER est gérée par le CEA.

Dans son complexe expérimental appelé « Tokamak », elle a pour but de développer à terme une nouvelle source d'énergie issue de la fusion par confinement magnétique ainsi que l'industrie requise pour sa mise en œuvre effective (notamment celle indispensable des matériaux). Elle présente aussi l'intérêt scientifique d'essayer de comprendre comment fonctionne le plasma en situation de fusion. Le calendrier actuel fixe à décembre 2025 la date du Premier Plasma et à 2035 le début des opérations en deutérium-tritium.

L'UE est représentée dans ce projet international par l'entreprise commune¹³⁰ *Fusion for Energy* (F4E), située à Barcelone, qui participe à 45,6 % de son coût de construction, chaque autre État à 9,1 %. En période de fonctionnement, cette répartition devrait être de 34 % pour l'Europe, 13 % pour le Japon et les États-Unis, 10 % pour la Chine, l'Inde, la Corée et la Russie. Le coût global estimé était à ses débuts de 5 Md€. Le montant de dépenses de 2007 à 2017 est de 3,68 Md€. Le budget initial 2017 était de 560 M€ en équivalent autorisations de programmes et 548 M€ en crédits de paiement, le coût réel a été respectivement de 563,71 M€ et 859 M€.

ITER est depuis 2019 le premier poste budgétaire en termes d'OI/TGIR du programme 172, devant le CERN, pour un montant annuel situé entre 140 et 150 M€.

¹²⁸ SNIR 2012 p. 47 : « ITER est un objet unique à l'échelle mondiale pour valider la faisabilité scientifique et technologique de l'énergie de fusion par confinement magnétique. Étant donné les enjeux et le poids financier spécifique d'ITER, il n'est pas inclus dans le périmètre du Comité directeur des TGIR ».

¹²⁹ Réacteur nucléaire expérimental international.

¹³⁰ Entreprise commune prévue par l'article 187 du TFUE (traité sur le fonctionnement de l'Union européenne), qui peut être créée par la Commission européenne en partenariat avec une ou plusieurs entreprises.

Une actualisation du programme européen en matière de fusion est en cours. La France participe par ailleurs à l'« Approche élargie », accord de recherche sur la fusion entre la Communauté européenne de l'énergie atomique (Euratom) et le gouvernement japonais, qui a pour objectif de préparer l'exploitation d'ITER ainsi que de développer la R&D pour dimensionner un prototype de réacteur électrogène Demo. L'Approche élargie comprend trois grands projets de recherche implantés au Japon.