

ALAIN PAVÉ, CLAUDINE LAURENT

ALAIN PAVÉ

Biométricien,

Laboratoire de biométrie
et de biologie évolutive,
UMR 5558, université
Claude Bernard – Lyon 1,
69622 Villeurbanne cedex, France
alain.pave@wanadoo.fr

CLAUDINE LAURENT

Astronome,

CSRT, ministère de la Recherche,
1, rue Descartes, 75005 Paris,
France
Claudine.Laurent@recherche.gouv.fr

En dehors de quelques milieux très spécialisés, l'existence même des très grands équipements pour la recherche est généralement ignorée. Or ce sont là des infrastructures lourdes essentielles pour l'avancement des connaissances. Il est donc fort instructif de savoir à quels secteurs de recherche ils sont consacrés. Ceci importe au moins pour une double raison. Tout d'abord, ils représentent une part qui est loin d'être négligeable du budget de la recherche publique (9 % en 1999) ; en connaître la répartition par grands secteurs de recherche donne donc une idée de l'importance respective qui est donnée à ceux-ci dans la politique scientifique. Par ailleurs, en raison de leur nature et de leur masse, ils constituent, tant du point de vue de leur conception que du point de vue des financements qui leur sont consacrés, des « héritages » à forte inertie d'un état passé des besoins. Une réflexion à leur propos est donc aussi une façon de s'interroger sur le bien-fondé de leur pérennité et, par là même, sur les démarches les plus appropriées, dans chacun des grands secteurs de recherche, pour faire progresser aujourd'hui les connaissances. Et ceci à un stade donné de l'état d'avancement des sciences domaine par domaine, bien sûr, mais aussi en fonction des priorités de la politique scientifique.

¹ Ce texte a été élaboré à partir d'une réflexion menée sur deux ans par un groupe de travail du Conseil supérieur de la recherche et de la technologie (CSRT). Celle-ci a abouti à deux textes, fusionnés ici, qui ont été adoptés en séance plénière du CSRT le 16 décembre 2001. Des représentants de la Direction de la recherche et de la Direction de la technologie ont été associés aux travaux du Groupe de travail. Claudine Laurent est vice-présidente du CSRT. Alain Pavé a été membre du CSRT de 1997 à 2001 ; il a animé le groupe de travail. Le groupe de travail comprenait : José Achache, Henri Audier, Jean-Pierre Besse, Jean-Claude Cazaux, Gilles Cohen-Tanoudji, Philippe Gouël, Claudine Laurent, Anne-Yvonne Le Dain, René Mornex et Alain Pavé.

Ce document présente un état des lieux en matière de très grands équipements scientifiques (TGE) pour la recherche et un début d'analyse de la situation actuelle¹. Nous avons tenté d'en faire une présentation aussi brève et synthétique que possible afin d'aller à l'essentiel. Un certain nombre de questions sont soulevées auxquelles le CSRT souhaite apporter ultérieurement des éléments de réponse. Ainsi, la question de la prédominance de la logique scientifique dans le choix de la construction et de l'implantation d'un TGE apparaît pour la majorité d'entre eux et très clairement pour les plus anciens (par exemple le CERN et l'ESO). Néanmoins, les stratégies politiques et économiques nationales n'ont-elles pas privilégié certaines réalisations ? Par ailleurs, l'intérêt manifesté par les régions joue un rôle dans l'implantation de certains équipements. De plus, des initiatives régionales apparaissent aussi dans le choix des équipements eux-mêmes. Enfin, le secteur privé, déjà utilisateur de TGE, peut devenir l'un des principaux acteurs en la matière. Comment allier logique scientifique et autres rationalités ?

Cela étant, le CSRT souhaite centrer son analyse sur les aspects scientifiques, et la cadrer par rapport aux grands choix nationaux et européens en la matière. Il doit aussi mettre en perspective ses analyses et ses avis par rapport aux autres motivations (par exemple, une réflexion en termes d'aménagement du terri-

toire). Mais la prise en compte de l'ensemble de ces éléments ne relève pas de la seule compétence de ce conseil.

Si les sciences physiques, au sens large, ont été les premières concernées, les besoins exprimés par de nouveaux secteurs disciplinaires, auxquels correspondent déjà certaines réalisations, conduisent aujourd'hui à réfléchir sur la notion de TGE et à poser la question de son évolution. En effet, ces nouveaux besoins n'impliquent pas forcément la conception et la réalisation d'un instrument unique, implanté sur un site géographique donné, mais de plus en plus la mise en place de plateaux scientifiques et technologiques ou de moyens lourds ou mi-lourds mis en réseaux. Globalement, l'évolution de la science se traduit par une diversité des besoins et, par là même, conduit à une diversification des solutions. Cependant, ce que les très grands équipements ont en commun, c'est le coût global des réalisations, leur intérêt collectif pour une large communauté de chercheurs, l'importance d'y adjoindre des compétences techniques et scientifiques, et surtout la nécessité d'en disposer pour avancer dans la connaissance scientifique. Comment prendre en compte cette diversité d'approches dans une politique nationale de recherche, sachant, en plus, que cette politique doit être à l'articulation des politiques locales et régionales, d'un côté, européennes et internationales, de l'autre ?

Les très grands équipements

Enjeux scientifiques

Toutes disciplines confondues, l'évolution des recherches nécessite des moyens d'investigation de plus en plus importants. Répondre aux questions scientifiques actuelles demande de recueillir des informations de plus en plus nombreuses, de plus en plus précises et, souvent, de plus en plus difficiles d'accès. Il s'agit alors de concevoir et de réaliser les dispositifs d'acquisition de ces informations. Le risque est grand de se perdre dans un flot de données et de se noyer dans un océan de détails ; aussi un effort de conceptualisation et d'organisation des connaissances est-il nécessaire, notamment pour identifier les données pertinentes afin de répondre à une question scientifique précise. Quel que soit le domaine concerné, la pensée pragmatique ne doit pas se substituer à l'effort de modélisation et de théorisation. Des moyens lourds n'ont de sens que dans cette logique, sinon on risque de dépenser en pure perte².

Selon les objectifs de recherche et les disciplines, ces besoins sont apparus à des moments divers dans le temps et se sont traduits différemment. Ainsi, les sciences physiques ont été les premières concernées. L'étude de la matière a demandé des niveaux d'énergie de plus en plus importants³ et des détecteurs de plus en plus sensibles et précis. Les moyens correspondants ont été rapidement hors de portée des laboratoires. C'est aussi vrai pour l'astronomie. Pour ces disciplines, des instruments lourds ont été conçus et construits (accélérateurs, télescopes, moyens spatiaux d'observation de l'univers). À cette fin, des développements techniques sophistiqués ont été réalisés. Les compétences nécessaires ont été réunies pour les faire fonctionner et évoluer. L'élaboration de ces dispositifs s'est appuyée sur des théories fortes pour répondre aux questions posées⁴.

Progressivement, d'autres secteurs disciplinaires ont éprouvé les mêmes besoins, mais leur expression a été différente. Ainsi, la chimie s'est dotée de centres d'analyse. Il ne s'agit plus d'un instrument majeur, mais d'un ensemble cohérent d'appareils et de compétences techniques et scientifiques, réunis dans un même lieu. Plus récemment la biologie, en suivant la même logique, a ressenti la nécessité de créer des dispositifs spécialisés pour l'étude du génome : les centres de séquençage et de génotypage. Actuellement, les avancées de l'écologie demandent de « créer » des dispositifs de terrain à la mesure des questions qu'elle se pose et des enjeux, souvent environnementaux, qui la concerne. Les sciences de l'homme et de la société passent progressivement de la recherche individuelle à une pratique plus collective. C'est ainsi qu'elles ont pris l'initiative de créer des « Maisons des sciences de l'homme » (MSH) et de les mettre en réseau. Elles éprouvent aussi le besoin d'accéder plus facilement à l'information et à son traitement que permet l'informatique. Enfin, les sciences et technologies de l'information et de la communication interviennent en aval de la production de données (réalisation de grandes bases de données et de connaissances). Elles sont essentielles pour la modélisation et la simulation numérique (grands moyens de calcul, développement et maintenance de gros logiciels).

Par ailleurs, de grands secteurs thématiques ont émergé, au moins en tant que source de problématiques

scientifiques. C'est principalement le cas de l'environnement et de la santé. Les recherches sur l'environnement bénéficient déjà de grands équipements ; ainsi une flotte océanographique a été constituée. Des satellites spécifiquement conçus ont conduit à des progrès significatifs dans l'observation de la planète. L'utilisation de moyens aériens a permis de mieux comprendre la dynamique et la chimie de l'atmosphère. Ils sont également indispensables pour faire des observations rapprochées de la surface continentale. Enfin, les dispositifs météorologiques fournissent des données, non seulement pour la discipline et pour des utilisations pratiques, par exemple pour les transports ou l'agriculture, mais aussi pour d'autres besoins scientifiques, comme la dynamique de l'atmosphère, la climatologie ou l'écologie.

Pour la santé, il n'existe pas à proprement parler de très grands équipements. Beaucoup de moyens mi-lourds, notamment pour l'exploration fonctionnelle et certains traitements, ont été conçus et installés. Aujourd'hui, un besoin d'équipements collectifs de plus grande taille émerge également de ce secteur, comme des unités de confinement de niveau P4, des outils de diagnostic non traumatique (imagerie médicale), ou encore des accélérateurs pour des thérapies nouvelles (accélérateurs à hadrons).

Ces secteurs disciplinaires et thématiques sont aussi caractérisés par le type d'interrogation scientifique. Il ne s'agit pas de répondre à une question précise, mais à un ensemble de questions. Par exemple, si on peut imaginer de construire un nouvel accélérateur pour vérifier l'existence du boson de Higgs⁵, en revanche, pour la plupart des autres secteurs un seul instrument ne suffit pas. Ainsi, pour les recherches sur le génome, les équipements visent à répondre à des questions multiples : structure, fonctionnement, expression et régulations, phylogénie et évolution moléculaire, mécanismes de la transgénèse. Cela n'implique pas que des efforts conceptuels et théoriques soient absents, mais l'ordre de complexité des objets étudiés déplace les problèmes : un seul instrument ne suffit pas, il faut un ensemble cohérent d'appareils et de compétences pour répondre à un ensemble, non moins cohérent, de questions.

Enfin et pour compliquer le tableau, certains équipements, dans leur protohistoire, étaient d'un coût élevé et d'une manipulation difficile. L'évolution des techniques a permis de les rendre plus accessibles et moins coûteux. Du niveau communautaire, ils sont passés à celui du laboratoire, voire à celui du chercheur. Ce fut, en grande partie, le cas des ordinateurs⁶. Aujourd'hui, le concept très actuel de « labo puce » laisse présager que des ensembles de large taille, très coûteux, constitués en plateaux techniques, pourront être miniaturisés et devenir accessibles au plus grand nombre. En revanche, il existe des limites physiques qui condamnent certains équipements au « gigantisme ». C'est le cas de ceux de la physique des hautes énergies ou de l'astronomie. En quelque sorte, le statut de grand équipement peut donc être transitoire ou définitif. Dans une analyse prospective, il y a lieu de prendre en compte les évolutions possibles et prévisibles, et donc d'envisager, à échéance, un éventuel changement de statut.

Aujourd'hui la « liste » des TGE apparaît surannée (encadré 1). Elle est le résultat de l'histoire : très marquée par le développement des sciences physiques et du spatial, imprégnée par l'habitude, teintée aussi d'un emploi

² Il s'agit là de la trilogie théorie-expérience-instrumentation, qui nous semble caractériser toute démarche scientifique actuelle mais suivant les disciplines un effort plus ou moins grand est fait sur chacun de ces points. Par exemple, l'effort d'instrumentation est très important dans les sciences physiques, il est moins dans les sciences de la vie, mais se développe activement. Il est encore largement à promouvoir dans les sciences de l'homme et de la société. Cela étant, les progrès technologiques nécessaires à la réalisation de l'instrumentation scientifique ont souvent eu des retombées industrielles non négligeables. Cet effort est à promouvoir.

³ Ce qui fait souvent confondre physique des hautes énergies et physique des particules.

⁴ Par exemple, la vérification ou la réfutation du « Modèle Standard » en physique des particules.

⁵ L'histoire, très contemporaine, du boson de Higgs, nous semble très illustrative. On pourra la trouver résumée dans l'analyse de Jean-Pierre Dedonder et Michel Ferrier publiée dans le Rapport 1999 du CSRT.

⁶ On remarquera cependant que, si les ordinateurs sont maintenant présents dans les bureaux des chercheurs, et souvent à leur domicile, pour certaines tâches particulières, il est nécessaire de recourir à des moyens de grande puissance, encore coûteux. De même, la mise en réseau a demandé des investissements non négligeables. L'informatique scientifique émerge donc à trois niveaux : le niveau microscopique, celui de l'ordinateur individuel, le niveau mésoscopique, celui d'un laboratoire ou d'un groupe de laboratoires, le niveau macroscopique, celui de la communauté scientifique. Enfin, le calcul coopératif sur réseau fait émerger une nouvelle réalité : disposer d'une grande puissance instantanée de calcul en faisant travailler simultanément de nombreux ordinateurs de petite taille.

Encadré 1. Signification des sigles et des dénominations des TGE utilisés dans le texte.

<i>Sciences physiques</i>	
CERN	Centre Européen de Recherche Nucléaire créé le 29 septembre 1954 (Genève)
LEP	Grand collisionneur électrons-positrons (mis en service en août 1989, arrêté fin 2000)
LHC	Large Hadron Collider (devrait être mis en service en 2005)
GANIL	Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, en service depuis 1984 (Caen)
SATURNE	Accélérateur d'énergie intermédiaire (jusqu'à 3 GeV) ; rénové en 1978 et 1987, arrêté en 1997, il est en cours de démontage (Saclay)
TORE SUPRA	Tokamak pour la fusion nucléaire contrôlée ; installé depuis 1988 (Cadarache)
JET	Tokamak pour la fusion nucléaire contrôlée ; le premier plasma a été produit en 1983 (Grande-Bretagne)
VIRGO	Détecteur d'ondes gravitationnelles (Italie)
LURE	Laboratoire d'utilisation du rayonnement électromagnétique (rayonnement synchrotron) en service depuis 1957 (Orsay)
DIAMOND	Projet de synchrotron 3 ^e génération en partenariat avec les Britanniques (Royaume-Uni)
SOLEIL	Projet de synchrotron 3 ^e génération (France)
ESRF	European Synchrotron Research Facility ; les 15 premières lignes de lumière ont été ouvertes aux utilisateurs en septembre 1994 (Grenoble)
ILL	Institut Laue-Langevin, fondé en janvier 1967 : source de neutrons (Grenoble)
LLB	Laboratoire Léon Brillouin : source de neutrons produits par le réacteur Orphée en service depuis décembre 1980 (Saclay)
<i>Sciences de l'univers</i>	
ESO	European Southern Observatory, créé en 1962 (Chili)
VLT	Very Large Telescope : première lumière du premier télescope le 25 mai 1998 ; première lumière du quatrième télescope le 3/09/2000
VLTi	Mode interférométrique du VLT
CFHT	Télescope Canada-France-Hawaii ; première lumière le 6 août 1979 (États-Unis)
IRAM	Institut de Radio-Astronomie Millimétrique, fondé en 1979 (Grenoble, Grenade)
ISO	Observation de l'Univers en infra-rouge (lancé en novembre 1995, sa mission s'est terminée en mai 1998)
INTEGRAL	Observation de l'Univers en rayonnement (lancement prévu en avril 2002)
SOHO	Étude du Soleil (lancé en 1995 ; initialement prévue jusqu'en 1998, la mission a été prolongée jusqu'en 2003)
Missions à coût réduit	Petits satellites divers
FIRST/PLANK	Observation de l'Univers en infrarouge lointain et en sub-millimétrique (lancement prévu en 2007).
XMM-Newton	Observation de l'Univers en rayonnement X (lancé le 10 décembre 1999 par Ariane 5)
ROSETTA	Étude du noyau et de l'environnement de la comète P/Wirtanen (lancement par Ariane 5 en janvier 2003 pour un rendez-vous en 2011)
CLUSTER 2	Étude des relations Soleil-Terre (Salsa et Samba lancés le 16 juillet 2000 ; Tango et Rumba le 9 août 2000 par des fusées Soyouz)
CASSINI-HUYGENS	Étude de Saturne par l'orbiteur CASSINI et de l'atmosphère de Titan par la sonde HUYGENS (lancé le 15 octobre 1997 par une fusée Titan IV, l'ensemble atteindra Saturne en 2004).
Mars Express	Cartographie de la planète Mars et recherche d'eau (lancement prévu en juin 2003 par une fusée russe)
PREMIER	Série de missions pour l'exploration de Mars (coopération NASA-CNES). La plus importante, MSR (Mars Sample Return), devrait être lancée par une fusée Ariane 5 (2008-2010)
<i>Sciences de la Planète et de l'Environnement</i>	
TOPEX/POSEIDON	Mesure du niveau des océans par altimétrie radar (lancé le 10 août 1992)
PROTEUS/JASON	Série de petits satellites, utilisant la plate-forme multi-mission PROTEUS, pour l'observation topographique des océans (Jason a été lancé le 7 décembre 2001)
ENVISAT	Série de satellites d'observation de l'atmosphère et de la surface de la Terre (Envisat a été lancé le 28 février 2002)
ERS1 et ERS2	Surveillance permanente et par tous les temps des océans, des terres émergées et des glaces polaires au moyen de techniques radar (lancés en 1991 et 1995 respectivement)
PICASSO-CENA	Climatologie étendue des nuages et des aérosols (lancement prévu en 2003)
Flotte océanographique	Ensemble des moyens à la mer appartenant à l'IFREMER, à l'INSU, à l'IFRTP, à l'IRD. Une partie de cette flotte est gérée par un GIS.
ODP	Ocean Drilling Program : forages profonds dans les fonds marins
Missions à coût réduit	Petites missions diverses
<i>Sciences de la vie</i>	
EMBL	European Molecular Biology Laboratory, créé en 1978 (Heidelberg, plus des antennes, notamment à Grenoble pour la biologie structurale)
Sciences de la vie dans l'espace	Soutien des programmes en micro-gravité (physiologie spatiale, biologie fondamentale)
<i>Equipements techniques</i>	
Station spatiale internationale (ISS)	Participation au module européen et au CTV (Crew Transport Vehicle)
EUMETSAT	Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques (convention signée le 19 juin 1986)
MSG	Série de 3 satellites météorologiques en orbite polaire (premier lancement prévu été 2002)
METOP	Série de satellite météorologiques en orbite polaire (premier lancement prévu en 2003)

« opportuniste » du BCRD pour soutenir des opérations diverses dont certaines sont à visées plus techniques que scientifiques. Une révision, voire une redéfinition, apparaît souhaitable. De nouvelles communautés doivent avoir accès aux moyens lourds dont elles ont besoin sans, pour autant, pénaliser les autres. Dans un contexte de ressources globales obligatoirement limitées, comment prendre en compte et, si possible, satisfaire raisonnablement les besoins actuels et futurs des divers secteurs de recherche en matière de grands équipements ?

Enjeux stratégiques

La science et la technologie sont depuis près de trois siècles les moteurs essentiels d'évolution de nos sociétés. Le rapport « coût de la recherche scientifique sur le bénéfice économique et social » n'a jamais été sérieusement évalué, mais on devine qu'il est faible. Pour ne prendre qu'un exemple, la mise en balance du coût des recherches sur les lasers avec les bénéfices économiques qu'elles ont engendrés mériterait d'être examinée. La société et ses composantes décisionnelles, politiques et économiques, ont pris acte des avancées scientifiques, les ont utilisées et valorisées. Puis elles les ont intégrées dans leurs stratégies. Enfin et à présent, elles interpellent le monde scientifique sur des questions de plus en plus précises. Les interactions science-société se font de plus en plus fortes. Elles ont des conséquences sur les orientations scientifiques et sur les investissements dans la recherche. Quelles en ont été les implications dans les décisions de pourvoir notre pays en équipements scientifiques coûteux ?

Reprenons une déclaration de Frédéric Joliot-Curie : « Si les savants, les techniciens et les ouvriers du Commissariat à l'énergie atomique ont réussi à mettre en service la première pile française en observant le délai qui avait été prévu, il y a environ deux ans, c'est, d'une part, parce que nous avons été soutenus dans notre effort par tous les Français qui désirent maintenir l'indépendance de leur pays en matière d'énergie atomique et, d'autre part, parce que le personnel, à tous les échelons du Commissariat, est enthousiaste et uni pour le but commun.⁷ »

C'est donc une motivation non seulement scientifique, sur laquelle Frédéric Joliot-Curie n'insiste d'ailleurs pas en introduction de son texte, mais surtout stratégique de souveraineté et d'indépendance nationale qui a conduit à cette première réalisation. Dans la France d'après-guerre en pleine reconstruction, le choix de cet investissement pesait sans doute lourdement sur le budget de la recherche. Depuis, les exemples pourraient se multiplier. Ainsi, les grandes décisions des années 60 de l'époque gaulliste sur le développement de la filière nucléaire, sur l'aéronautique et l'espace et sur l'informatique (plan calcul), ont contribué à doter notre pays d'un tissu scientifique solide, qui a réussi à se maintenir malgré les aléas des années 70.

En fait, de tels investissements ne pouvaient s'envisager que dans des secteurs scientifiques dont l'état permettait de concevoir des grands équipements et dont l'évolution était conditionnée par de telles réalisations. Puis l'intérêt stratégique conduisait à emporter la décision. Ainsi, c'est très probablement une rencontre entre les besoins scientifiques et les intérêts politiques qui a déterminé beaucoup de choix en matière de TGE et les déterminent toujours.

Mais aujourd'hui, d'autres acteurs entrent en jeu : économiques et sociaux. Les enjeux ont évolué : l'énergie demande encore des investissements (par exemple pour maîtriser la fusion thermonucléaire), mais d'autres secteurs non moins stratégiques ont émergé. C'est ainsi que des priorités ont été affichées pour les sciences et technologies du vivant, les sciences et technologies de l'information et de la communication, le développement des sciences de l'homme et de la société et les sciences de l'environnement⁸. Elles mettent ainsi en adéquation l'évolution scientifique des divers secteurs avec les intérêts économiques et sociaux du pays. Sur ce plan-là aussi, il n'est donc pas étonnant qu'on puisse s'interroger sur les investissements à prévoir qui se déclinent, notamment, en termes d'équipements scientifiques lourds à intérêt collectif.

Enfin, d'autres logiques sont à considérer. Par exemple, des besoins de développement scientifique en région influent sur les politiques d'aménagement du territoire. Ainsi, on pourrait dater le désir d'une répartition plus uniforme des équipements sur le territoire national à la décision d'implanter GANIL à Caen. On voit également se multiplier des initiatives au niveau régional (soit émergeant des régions elles-mêmes, comme le projet d'hadronthérapie à Lyon, soit proposant d'accueillir un équipement, comme la nouvelle source de rayonnement synchrotron). Dans certains cas, une logique économique et industrielle vient renforcer les déterminants scientifiques (par exemple pour les génopôles). Des motivations de prestige peuvent aussi être évoquées (exemple de certaines opérations spatiales). Enfin, le BCRD peut être utilisé à des fins qui ne sont que partiellement scientifiques (exemple des TGE techniques, dont nous allons voir qu'ils émergent de plus en plus au budget de la recherche).

Analyse de la situation : démarche et principales observations

L'analyse de la situation actuelle a été faite sur la base des connaissances des conseillers réunis dans le groupe TGE du CSRT, des documents fournis, notamment par la Direction de la recherche et la Direction de la technologie, de l'interrogation de sites web, des rapports annuels du Conseil des très grands équipements scientifiques, des rapports de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, de la consultation de collègues, notamment des présidents des Comités de coordination⁹ ou de responsables de dispositifs existants¹⁰. Cette analyse ne se limite pas à l'état actuel, mais tient compte de quelques aspects historiques ; elle a aussi pour objectif de donner des perspectives d'évolution. Enfin, plutôt que de faire un survol de chaque équipement, la plupart d'entre eux sont simplement référencés et seulement quelques cas typiques sont évoqués plus précisément.

Définition actuelle¹¹

En résumé, sont considérés comme très grands équipements scientifiques ceux dont l'importance et le coût, pour la communauté scientifique française,

⁷ Ce texte, publié par La Pensée dans son numéro de mars-avril 1949, fut écrit peu de temps après la mise en marche de la pile « Zoé » au fort de Châtillon, le 15 décembre 1948, deux ans et demi après le début des travaux dirigés par Frédéric Joliot-Curie, Haut Commissaire à l'énergie atomique depuis 1946 (source : Frédéric Joliot-Curie. Textes choisis. Éditions sociales, 1959). Il était bon, l'année du centenaire de la naissance de Frédéric Joliot-Curie, de rappeler combien il fut soucieux des relations science-société et combien son exemple a pu marquer les générations suivantes de chercheurs.

⁸ Cirst de 15 juillet 1998 et du 1^{er} juin 1999.

⁹ Gérard Mégie (Comité de coordination en sciences de la planète et de l'environnement - CCSPE) et Alain Supiot (Conseil national du développement des sciences humaines et sociales).

¹⁰ C'est ainsi que nous avons rencontré Pierre Tambourin, directeur général du Genopôle d'Évry. Par ailleurs, certains collègues ont été conviés à notre réunion. Ainsi sont venus : Geneviève Rougon (Directeur scientifique adjoint du département des sciences de la vie du CNRS), Philippe Courtier et Philippe Lecomte (au nom du CCSPE).

¹¹ Cette définition est tirée du rapport rédigé pour la Direction générale de la recherche et de la technologie par Bernard Sayer (en date du 10-09-97)

justifient un processus de décisions coordonné au niveau national, ainsi que des engagements financiers pluriannuels, qui les inscrivent donc dans la durée (en général plus de 10 ans). Le coût d'investissement initial est supérieur à 100 MF. Ces équipements peuvent intéresser une ou plusieurs disciplines. Ils peuvent entrer dans le cadre de coopérations internationales. Ils constituent un pôle d'attraction pour les chercheurs de divers organismes nationaux ou étrangers.

Avec le temps, cette définition a été étendue à d'autres dispositifs ou programmes nationaux ou internationaux. Progressivement ont été aussi inclus des équipements à caractère plutôt techniques que scientifiques, mais censés représenter un intérêt pour la recherche.

Les TGE référencés par grands secteurs scientifiques

Les regroupements proposés ci-dessous ont une part d'arbitraire. Certains de ces équipements ont un intérêt pour des secteurs scientifiques autres que ceux pour lesquels ils sont référencés. Le classement a été fait selon le secteur le plus concerné aujourd'hui. Dans l'encadré 1, on trouvera la signification des sigles et une brève description des équipements en question :

- sciences physiques (physique des particules, recherches nucléaires, fusion, physique gravitationnelle, structure de la matière condensée¹² : rayonnement synchrotron et sources de neutrons) : CERN (LEP et LHC), GANIL et SATURNE¹³, TORE Supra et JET, VIRGO, LURE, SOLEIL¹⁴, ESRF, ILL, LLB ;
- sciences de l'univers (hors sciences de la planète, à savoir : astronomie, astrophysique sol, astrophysique spatiale, planétologie) : ESO, VLT et VLTI, CFHT, IRAM, ISO, INTEGRAL, SOHO, missions à coût réduit, FIRST-PLANCK, XMM, ROSETTA, CLUSTER 2, CASSINI-HUYGENS, Mars Express, PREMIER ;
- sciences de la planète et de l'environnement (observation de la Terre, géologie, océanologie) : TOPEX/POSEIDON, PROTEUS/JASON, ENVISAT, ERS 1 et 2, PICASSO-CENA, flotte océanographique, ODP ;
- sciences de la vie : EMBL et « sciences de la vie-espace » ;
- équipements techniques¹⁵ : station spatiale internationale, Eumesat, MSG, METOP.

Cette simple liste montre déjà que les domaines des sciences physiques et des sciences de l'univers ont davantage recours que les autres domaines à des TGE. Les sciences de la planète et de l'environnement sont présentes, surtout par le biais des satellites d'observation de la terre et de la flotte océanographique. Les sciences biologiques sont encore peu concernées. Les sciences de l'homme et de la société sont absentes.

Mais cette liste ne renseigne pas sur l'importance relative de ces investissements et sur les résultats scientifiques auxquels ils ont conduit. Deux approches complémentaires sont à envisager : la première budgétaire, la seconde en termes de résultats scientifiques et de progrès technologiques. Pour la première, les données sont disponibles et faciles d'emploi. Pour la seconde, on ne peut disposer que d'informations parcellaires auxquelles il est difficile de faire référence. Si l'éva-

luation *a priori* des projets d'utilisation est faite de façon rigoureuse, en revanche l'évaluation *a posteriori* est loin d'être systématique.

Analyse des coûts par secteur scientifique

Des tableaux détaillés dont nous avons pu disposer, nous avons tiré des informations synthétiques résumées dans les graphiques.

La figure 1 montre la faiblesse apparente des sciences biologiques dans le recours aux grands instruments et la dominance des sciences physiques qui ont bénéficié de près de la moitié des moyens budgétaires. Certes, comme nous l'avons signalé, cette classification, comme toute classification, est arbitraire et certains instruments sont utilisés pas d'autres communautés que celles auxquelles ils ont été affectés.

Sur 10 ans, on observe que le coût des TGE pour les sciences physiques, à un niveau élevé, est resté stable (figure 2). À l'autre extrémité, on note qu'il en est de même pour les sciences de la vie. Les sciences de l'univers sont en légère croissance, ce qui est principalement dû aux nouvelles missions spatiales. Sur la dernière période, après un passage par un maximum, les sciences de la planète et de l'environnement sont curieusement sur une pente descendante. Cette tendance s'explique principalement par une diminution des coûts relatifs à l'observation spatiale de la Terre (passés de 521 millions, en 1995, à 300 millions en 2000)¹⁶. Cette relative constance des financements par secteurs scientifiques est encore valable si on fait une analyse plus détaillée : il n'y a pas de grandes variations des dépenses par sous-discipline dans chacun des secteurs disciplinaires.

En revanche, on observe une forte croissance des investissements des équipements techniques, ce que la figure 3 montre bien (de 150 millions en 1990 à 1 272 millions en 2000, soit une augmentation de 748 %). Le poids de la station spatiale est particulièrement important : 297 millions en 1996 (début du financement en 1995), 660 millions en 2000.

L'augmentation du budget global des TGE est donc majoritairement due aux investissements pour ces équipements. En 1990, les coûts étaient de 2 695 millions de francs pour les TGE scientifiques et de 150 millions pour les TGE techniques ; en 2000, les financements sont respectivement de 3 330 millions et de 1 272 millions. Toutes ces dépenses doivent-elles être supportées par le BCRD ? On peut s'interroger.

La situation internationale

Des éléments de comparaison peuvent être obtenus à partir d'une enquête de la Direction de la stratégie et des programmes du CNRS, préparée pour la réunion de son Conseil d'administration du 2 décembre 1999. À partir d'un périmètre commun défini au cas par cas, il apparaît que le poids des TGE dans l'équivalent du BCRD aux États-Unis, en Allemagne et au Royaume-Uni, est de 9,1 % aux États-Unis contre 7,9 % en France, de 7,8 % en Allemagne contre 4,3 % en France et de 4,3 % au Royaume-Uni contre 3,9 % en France. La meilleure comparaison est avec les États-Unis, avec lesquels le plus grand périmètre commun a pu être identifié. De ces éléments, on peut déduire que la

¹² En ce domaine, ces moyens sont principalement utilisés par les sciences physiques (physique de la matière), mais d'autres secteurs sont aussi concernés (chimie et biologie), mais de façon encore minoritaire. Par exemple, pour les sciences biologiques, les utilisateurs principaux relèvent de la biologie structurale (structure des macromolécules, structure de certains virus).

¹³ SATURNE n'est plus en fonctionnement, mais une ligne budgétaire est réservée pour son démantèlement.

¹⁴ Le début de la construction est prévu à l'été 2002.

¹⁵ On aurait pu inclure les dispositifs sur la fusion thermonucléaire, mais nous avons choisi de laisser encore ces derniers sous le chapitre des sciences physiques. En effet, si les mécanismes fondamentaux de la fusion contrôlée semblent être assez bien connus, en revanche ceux qui sont relatifs au confinement du plasma posent encore des problèmes théoriques et technologiques difficiles.

¹⁶ Cette variation semble essentiellement imputable au programme Envisat.

Comparaison des investissements cumulés sur 10 ans (1990-1999)
(en pourcentages de l'investissement total : 37,449 MdF)

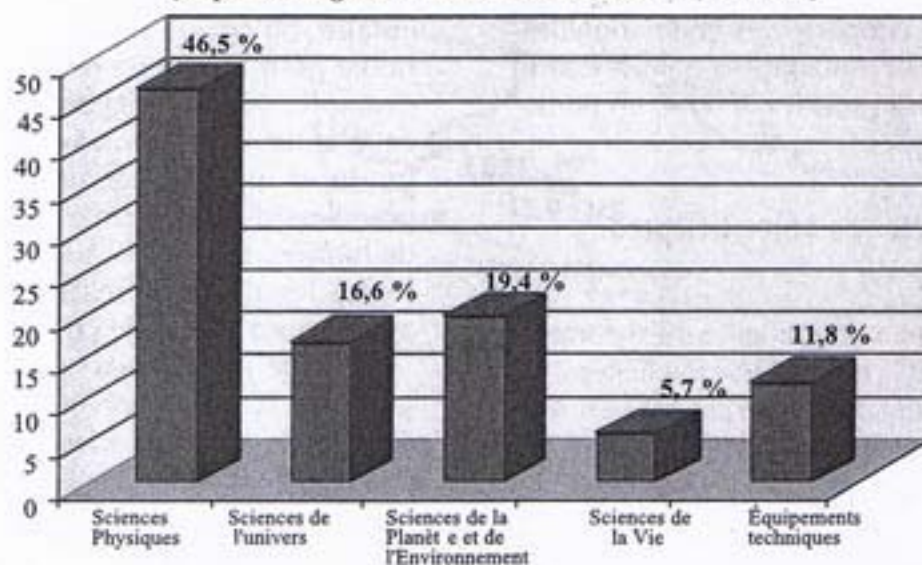


Figure 1. Comparaison des investissements par grands secteurs scientifiques sur les dix dernières années au titre du BCRD. La dépense moyenne annuelle a été environ de 3,7 milliards de francs. Pour mémoire, en 1999 la dépense a été de 4,6 milliards de francs. Le poids moyen des TGE sur la période est donc de 7,4 % du BCRD. Il est en constante augmentation et atteint actuellement près de 9 %. Beaucoup de ces TGE sont le fruit de coopérations internationales, notamment européennes. Les coûts totaux sont donc bien plus importants.

Évolution des coûts des TGE par grands secteurs
disciplinaires (indice rapporté au PIB)

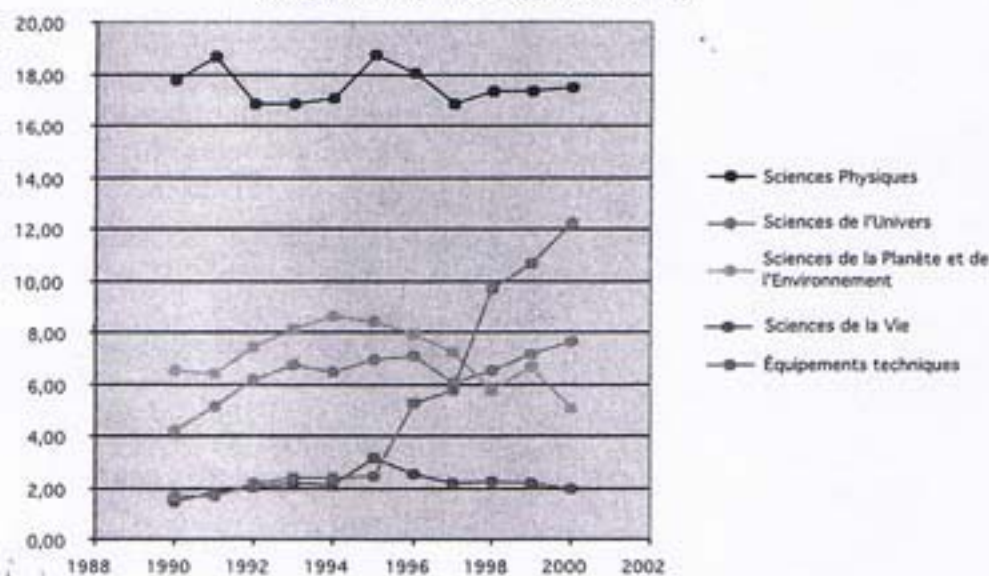


Figure 2. Évolution des moyens budgétaires sur les dix dernières années. De façon à avoir des données comparables, un indice rapporté à l'évolution du PIB a été utilisé (base 100 en 1995). Du fait des incertitudes dans l'évaluation des coûts de personnel, qui peut varier d'une année à l'autre, seules les grandes tendances sont à prendre en compte.

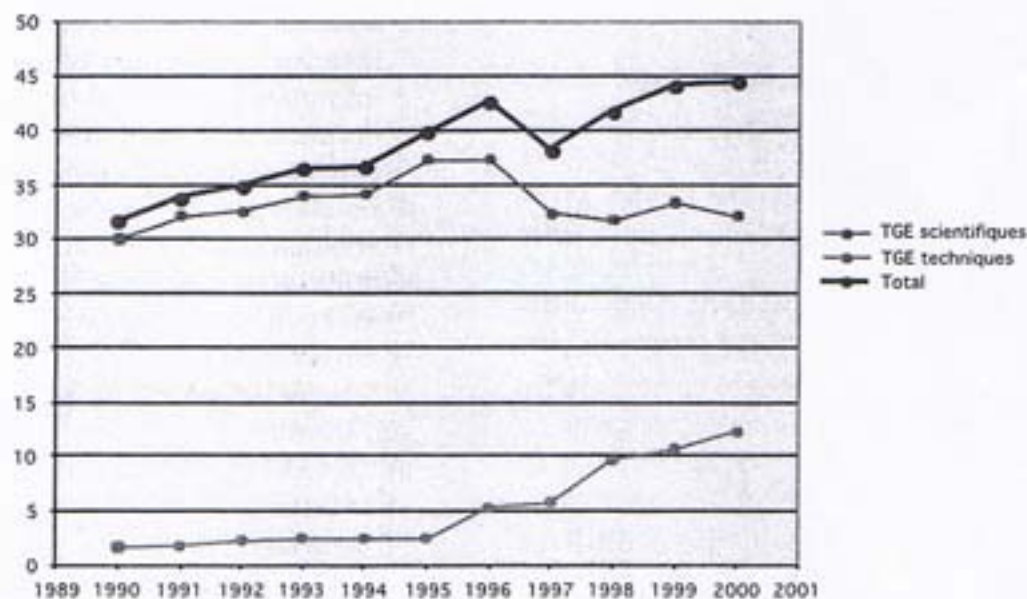


Figure 3. Évolution comparée des budgets des TGE scientifiques et des TGE techniques (base 100 en 1995).

France ne paraît pas se distinguer notablement de ces trois pays. Par ailleurs, beaucoup de TGE qui émergent au BCRD, sont le fruit de coopérations internationales bilatérales ou multilatérales, notamment dans le cadre européen. Dans ces statistiques, il y a donc en partie des recouvrements.

Quelques grands secteurs scientifiques absents

Les remarques sur les secteurs scientifiques qui émergent peu ou pas à la liste des TGE doivent être explicitées.

Les sciences de la vie sont peu présentes. L'EMBL est, à juste titre, pris en compte. Les autres financements, correspondant à la plus grande part des dépenses de ce secteur, concernent les recherches en biologie spatiale dont on peut constater le peu de retombées sur la biologie fondamentale ou appliquée. La biologie est encore marginalement concernée par les instruments d'étude de la matière condensée (LURE, ERSF, ILL et LLB). En revanche, le génopôle d'Évry n'émerge pas aux TGE. De même, tout ce qui concerne l'écologie, notamment hors métropole, n'apparaît pas alors que des moyens de plus en plus importants sont et seront mobilisés à ce titre, par exemple en Guyane ou dans les zones antarctiques et sub-antarctiques.

Pour les sciences de l'environnement, seuls sont inscrits la flotte océanographique et les satellites d'observation de la Terre. Les moyens d'observation de la Terre à moyenne échelle (avions), ou encore les dispositifs de terrain ne sont pas considérés comme des TGE. Ainsi, les moyens importants consacrés aux recherches arctiques et antarctiques, comme Concordia située au Dôme C, ne figurent pas dans la liste des TGE au titre de l'année 1999.

Les sciences chimiques apparaissent indirectement au titre de l'exploration de la matière condensée (LURE, ERSF, ILL et LLB). En revanche, les plateaux scientifiques et techniques, comme le Service commun d'analyse de Solaize, ne sont pas pris en compte.

Les sciences de l'homme et de la société sont totalement absentes. Jusqu'à un passé récent, ce secteur scientifique n'a pas manifesté de besoins pour des grands équipements d'intérêt général. Il est donc compréhensible que ces disciplines n'émergent pas encore à cette liste. Mais, comme nous l'avons déjà signalé, ce secteur commence à se structurer et à ressentir la nécessité de tels équipements¹⁷.

Les sciences de l'information et de la communication, curieusement, sont aussi absentes. Or, il existe des grands centres de calcul (IDRIS, CINES¹⁸, le Centre de calcul du CEA). On notera qu'un récent rapport de la Direction de la technologie fait apparaître le retard pris dans les grands équipements de calcul scientifique, en comparaison avec les États-Unis et le Japon, et cela aussi bien au niveau national qu'euro-péen. Le réseau RENATER n'apparaît pas, lui non plus, dans la liste des TGE.

Répartition géographique des TGE

La distribution géographique des équipements fixes (figure 4) montre que la plupart d'entre eux sont localisés dans deux centres « d'attraction » : la région parisienne et Grenoble. On ne peut nier l'ex-

cellence scientifique de ces centres pour le secteur de la physique. Pour ce qui est de la biologie moléculaire, on pourrait s'interroger sur le choix de Grenoble pour l'antenne de l'EMBL. On aurait pu, par exemple, penser à Lyon ou à Strasbourg. En fait, cette antenne est très orientée vers la biologie structurale et utilise largement les ressources locales pour ses travaux : source de neutrons de l'ILL, lignes de lumière de l'ESRF. À travers cet exemple, on voit l'effet local, amplificateur et structurant qu'a pu avoir l'installation de ces équipements.

On note sur la figure 4 que les équipements non-labellisés TGE sont prévus ou implantés dans d'autres sites que la région parisienne ou Grenoble ; d'une certaine façon, ils commencent à remplir des vides territoriaux. Cependant, le grand ouest est encore largement ignoré. Le CNES est représenté car son action structure la communauté toulousaine et l'activité d'un certain nombre de laboratoires (notamment les laboratoires dits « spatiaux » du CNRS). De plus, cet organisme coordonne l'ensemble des activités spatiales scientifiques et techniques : satellites et missions (figure 5). La plupart de ces équipements et moyens sont internationaux (coopération multilatérale ou bilatérale).

On notera au passage la faiblesse des moyens aériens d'observation de la surface terrestre et de l'atmosphère. Ces moyens aériens sont complémentaires à la fois des satellites et des dispositifs à la surface. On a probablement oublié et même négligé leur intérêt.

Les équipements hors France métropolitaine, à l'exception du JET, correspondent à des sites géographiques privilégiés d'observation ou d'expérimentation pour l'astronomie ou l'environnement (figure 6).

Analyse de quelques cas typiques

En plus de l'analyse globale, mais nécessairement superficielle, de l'ensemble des équipements existants et potentiels, nous avons traité quelques cas qui nous ont paru avoir valeur d'exemple :

- pour les équipements existants ou en voie de réalisation : les accélérateurs du CERN (LEP et LHC), VIRGO, les moyens spatiaux, la mission de retour des échantillons martiens (et le programme PREMIER : Programme retour des échantillons martiens et intégration d'expériences en réseau) ;
- pour les équipements existants n'émergeant pas à la liste des TGE : le génopôle d'Évry, les grands moyens informatiques (calcul intensif, grandes banques de données, réseaux informatiques), le laboratoire de confinement microbiologique P4 ;
- pour les projets : le réseau de stations de recherches écologiques et environnementales à long terme, la flotte aérienne pour la recherche sur l'environnement, le réseau des bibliothèques et d'archives numériques.

Très globalement, on peut retenir les informations suivantes :

- a) Le CERN, avec ses accélérateurs successifs, le LEP et bientôt le LHC, est, en quelque sorte, l'archétype de la façon de développer des grands équipements. Créé pour la physique des particules et s'étant adapté aux évolutions des théories et des problématiques de cette discipline, il a permis d'obtenir

¹⁷ Cf, par exemple, Conseil national du développement des sciences de l'homme et de la société : Pour une politique des sciences de l'homme et de la société. PUF Quadrige, 2000, 245 p.

¹⁸ Institut pour le développement et les ressources en informatique scientifique ; Centre informatique national de l'enseignement supérieur.

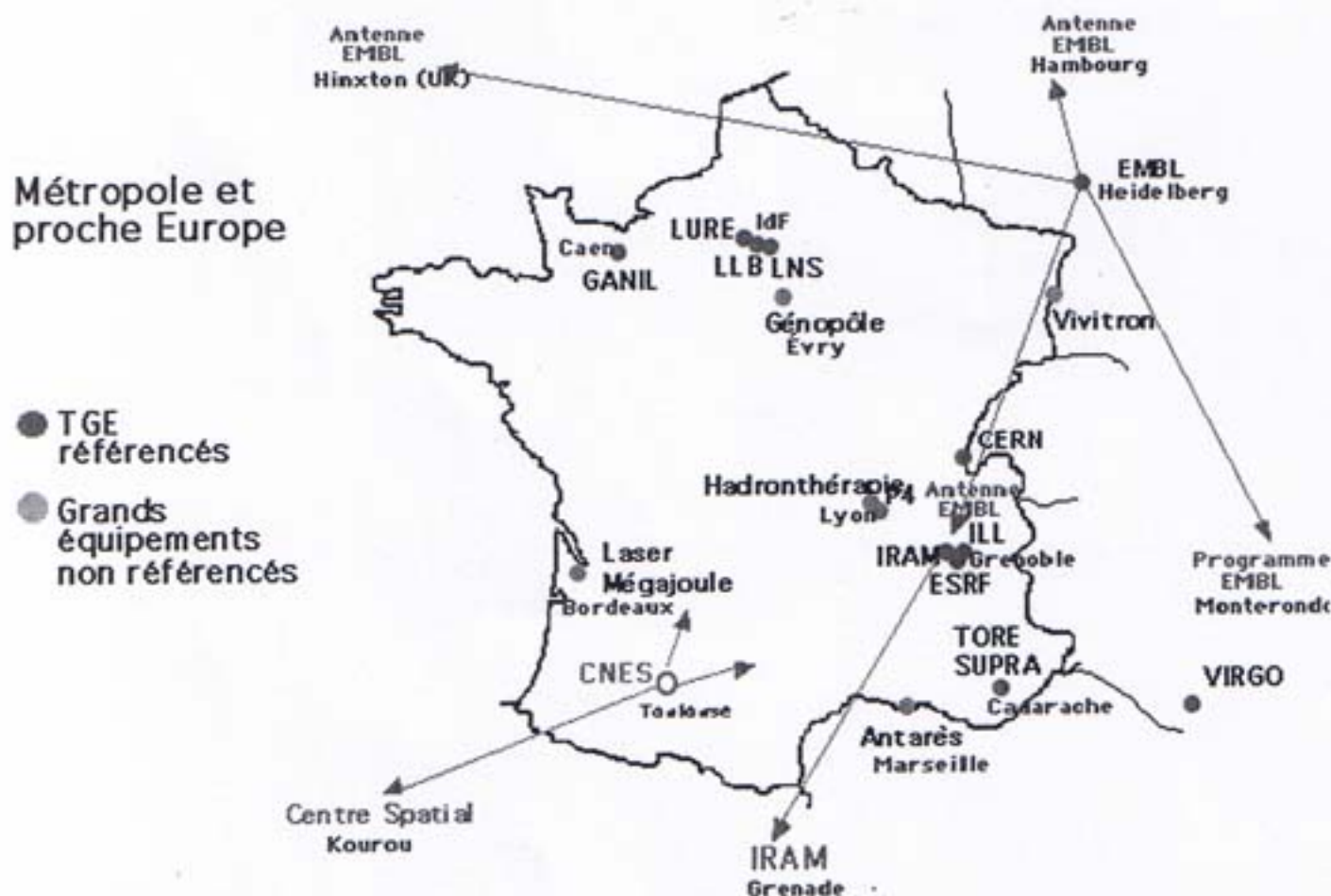


Figure 4. Implantation géographique des TGE en France métropolitaine et dans la proche Europe. Les TGE existants et en projet sont représentés, ainsi que ceux qui sont non labellisés (points verts), mais dont les caractéristiques se rapprochent de celles des très grands équipements.



Figure 5. Moyens spatiaux d'observation de la Terre et de l'Univers. Moyens aériens d'observation de la Terre et de l'atmosphère. Les satellites d'observation de la Terre sont en orbite terrestre. Les satellites d'observation de l'Univers sont soit en orbite terrestre, soit placé en des points particuliers (par exemple, SOHO est placé au point de Lagrange n°1).

des résultats scientifiques de premier plan. Issu d'une initiative européenne, il concerne aujourd'hui plusieurs milliers de chercheurs de l'ensemble de la communauté internationale (7000 en 1998). Mais son coût reste important (de l'ordre du milliard de francs par an pour la France, en comptant le développement du LHC). La conception et la réalisation de ses accélérateurs et des instruments associés ont donné lieu à des innovations technologiques importantes. On retiendra, par exemple, les innovations en informatique (invention du web ; modes d'acquisition, de stockage et d'analyse des grandes masses de données, etc.).

b) VIRGO est un dispositif très spécialisé, dédié à la détection (éventuelle) d'ondes gravitationnelles.

C'est une opération franco-italienne qui concerne une petite communauté de chercheurs (une cinquantaine en France). Son coût (de l'ordre de 250 MF) explique son classement dans la catégorie des TGE. Un problème reste en suspens, celui de la confirmation d'une éventuelle détection de ces ondes par une autre équipement, indépendant. On peut donc regretter qu'il n'y ait pas de partenariat institutionnel multinational sur le sujet.

c) Les moyens spatiaux (figure 5) sont importants aussi bien pour l'observation de la Terre et de l'Univers que pour les missions *in situ*. Chacun des véhicules, satellite ou sonde spatiale, est en lui-même un TGE, les coûts dépassant le plus souvent 100 MF par véhicule (sans compter le lancement). De plus, des

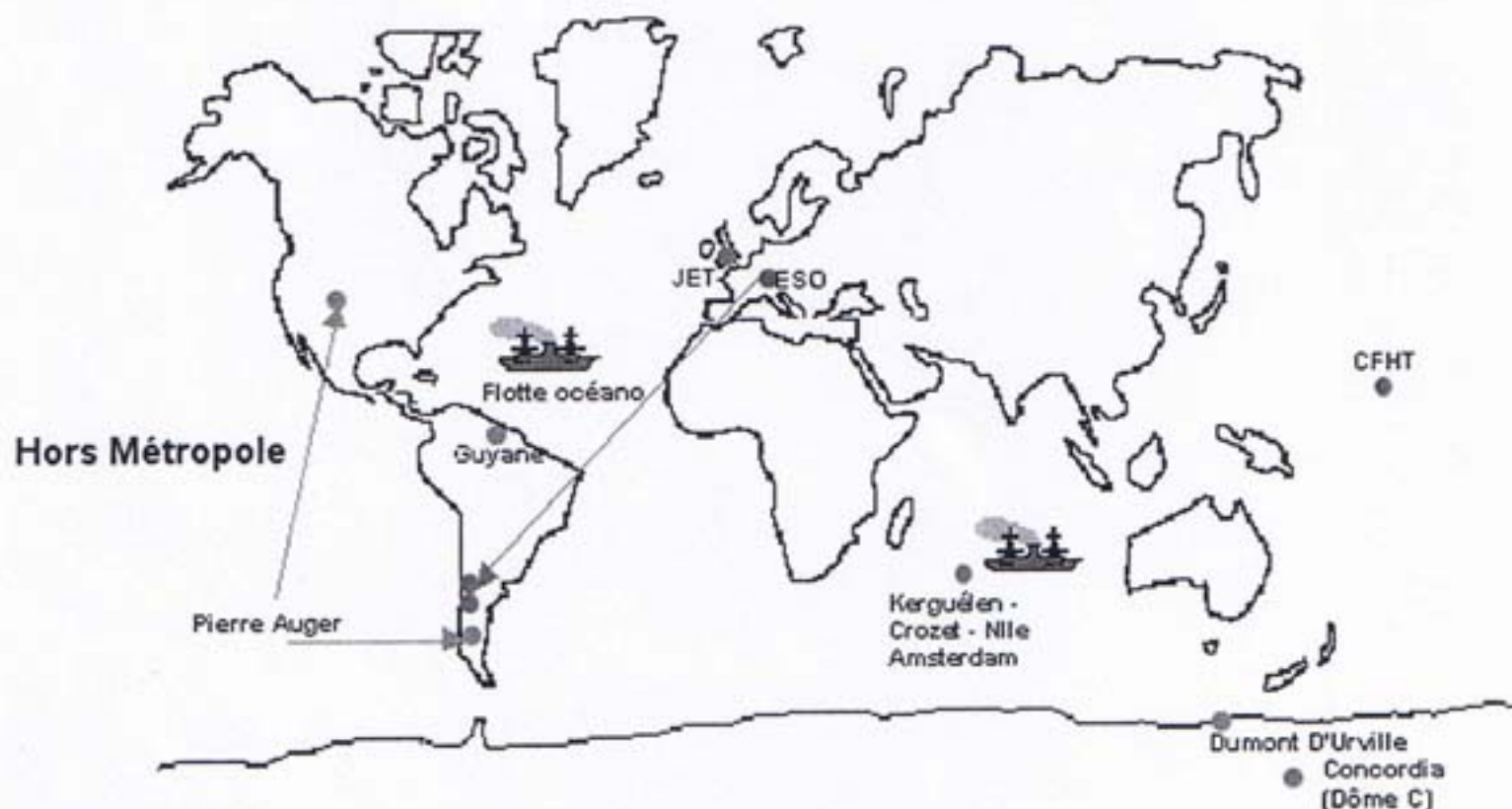


Figure 6. Les TGE hors France métropolitaine et proche Europe. Sont figurés des installations ou des sites potentiels ou non encore labellisés.

¹⁹ La mission ULYSSE, satellite d'observation du soleil en dehors du plan de l'écliptique, lancé le 6 octobre 1990, a été prolongée jusqu'au 30 septembre 2004. Celle du télescope spatial Hubble, lancé le 25 avril 1990, est prévue jusqu'en 2010.

²⁰ Par exemple, les travaux actuels menés sur les terrains désertiques de l'île de Devon (Arctique canadien) n'auraient probablement pas eu lieu sans la perspective de cette mission. Ces terrains ont été choisis car ils représentent des « modèles terrestres » de paysage martien. On y trouve une flore fruste très résistante aux conditions drastiques du milieu (froid et minéral).

²¹ Ce calendrier est donné à titre indicatif. Les résultats récents obtenus par Mars Surveyor semblent indiquer que, localement, l'eau en phase liquide peut exister en surface. De ce fait, l'hypothèse d'existence d'une forme de vie microbienne est confortée. Cela peut conduire à revenir à un calendrier plus serré.

dispositifs d'accompagnement au sol sont mis en place dont la durée de vie dépasse grandement celle du satellite ou de la mission. Ils peuvent soit concerner une large communauté de chercheurs (par exemple pour les satellites d'observation de la Terre ou les observatoires astronomiques) ou une communauté très restreinte (par exemple, des satellites d'observation du Soleil). On peut s'étonner de l'absence dans la liste des moyens spatiaux « TGE » de certains d'entre eux (comme ULYSSE ou encore le télescope spatial Hubble¹⁹).

- d) La mission « retour d'échantillons martiens » résulte d'une coopération CNES-NASA. L'objectif principal est la détection d'une forme de vie actuelle ou fossile sur Mars. L'objectif secondaire est d'ordre planétologique : mieux comprendre la structure et l'histoire de cette planète, « sœur » de la Terre. Les retombées attendues sont de deux ordres, (i) d'abord scientifique : poser à la communauté des biologistes une question non-standard de la vie extra-terrestre et de sa détection²⁰, (ii) ensuite technique : concevoir et réaliser des dispositifs adaptés aussi bien pour la mission elle-même que pour l'analyse des échantillons (moyens de confinement ; moyens d'analyse *in situ* et sur terre après le retour). Enfin, l'utilisation du lanceur Ariane 5 affirme la place de la France et de l'Europe dans l'exploration du système solaire. Le coût de cette opération est de l'ordre de trois milliards de francs. Prévu à l'origine pour 2005, la réorganisation des équipes américaines, suite aux récents échecs de missions martiennes a entraîné une modification du calendrier : le vol pourrait débuter en 2007-2008 pour un retour vers 2010²¹.
- e) Le génopôle d'Évry constitue un ensemble cohérent d'équipements et de compétences au plus haut niveau pour le séquençage et l'étude du génome.

Sa création a obéi à des logiques scientifiques et économiques liées au développement du génie génétique. Cependant, son implantation a été apparemment dictée par des motifs extra-scientifiques. Cela étant, on ne peut nier la réussite de cette opération et la constitution, autour du centre de séquençage et de génotypage, d'un véritable pôle de recherche scientifique et technologique (effet structurant). Il constitue la tête de pont du réseau des génopôles régionaux en cours de constitution. C'est un plateau scientifique et technologique, regroupant sur un même site les moyens nécessaires pour accomplir ses missions (du séquençage à la bioinformatique). L'investissement annuel est de l'ordre de 130 MF.

- f) Les grands moyens de calcul, de traitement et de transfert de l'information, ne bénéficient pas non plus du label TGE. Un rapport de la Direction de la technologie fait clairement apparaître un déficit notoire en grandes puissances de calcul. Le réseau RENATER tient une place importante par le rôle qu'il joue, en tant qu'infrastructure de recherche, pour l'ensemble de la communauté scientifique. On pourrait même dire que la mise en réseau, existante ou à venir, de moyens de recherche n'est possible que grâce à cette infrastructure. Un tel équipement doit être très fiable et assurer une grande qualité de service.
- g) Le laboratoire de confinement microbiologique P4 (haute sécurité) a été construit suite à une initiative privée (Fondation Marcel Mérier) pour le confinement d'agents pathogènes de niveau 4 (mortalité > 30 %, pour lesquels il n'existe aucun moyen thérapeutique). C'est à l'évidence un équipement d'intérêt collectif, unique en Europe, et qui jouit, à Lyon, d'un environnement scientifique de qualité. L'investissement a été de 60 MF, le coût annuel de fonctionnement est de l'ordre de 10 MF, dont un coût

minimum de maintien de la structure de 6 MF. La question essentielle est de trouver le relais d'une initiative privée pour assurer la pérennité d'un équipement devenu d'intérêt public.

- h) Un réseau de stations pour la recherche écologique et environnementale à long terme pourrait être constitué. Parmi les pays développés, la France, avec son territoire métropolitain et extra-métropolitain, jouit d'une position unique pour les recherches sur l'environnement. Des dispositifs existent déjà : en Guyane (étude des écosystèmes intertropicaux, notamment forestiers), dans la zone antarctique et sub-antarctique (environnement et écologie polaires et sub-polaires), en métropole (par exemple le réseau de parcelles forestières ou celui des bassins versant de recherche sur l'environnement). Cependant l'ensemble apparaît sous-équipé et peu coordonné face aux enjeux et aux initiatives internationales (notamment américaines). Le programme « Environnement, vie et sociétés » du CNRS vient de lancer une initiative sur ce sujet avec la définition de « zones ateliers pour la recherche sur l'environnement ». Il a entamé des discussions avec la NSF²² pour l'intégration de ces zones ateliers dans le réseau international des stations écologiques à long terme. Il bénéficie d'un soutien au niveau européen pour l'extension de cette expérience à l'ensemble de l'UE. On notera au passage que la communauté française semble avoir une avance non négligeable dans l'approche interdisciplinaire des problèmes environnementaux, intégrant notamment les sciences de la nature, les sciences sociales et les sciences pour l'ingénieur. C'est, entre autres, le résultat de plus de vingt ans d'efforts et de travaux de cette communauté scientifique menés dans le cadre des programmes interdisciplinaires du CNRS.
- i) Des moyens aériens pour la recherche sur l'environnement persistent à l'état embryonnaire. Deux avions (l'ARAT²³ et un Mystère 20) sont consacrés à l'étude atmosphérique et à certaines couvertures aériennes. Il s'avère que ces avions sont anciens et demandent à être reconfigurés. On ne dispose d'aucun véritable dispositif pour assurer une réelle couverture aérienne (peu d'avions et aucun fonds adapté pour la location d'avions) en complément des moyens satellitaires qui ne permettent pas toujours une observation souple et en temps réel de certains phénomènes ou de leurs résultats immédiats. Les expériences des inondations de ces dernières années ou encore les conséquences des tempêtes de décembre 1999 sont illustratives : les moyens satellitaires ont donné des informations trop parcellaires pour être vraiment instructives, alors que des observations aériennes auraient permis d'utiliser les compléments. Or, nous avons été incapables d'organiser de véritables campagnes aériennes suite à ces événements.
- j) Un réseau de bibliothèques et d'archives numériques constituerait un outil précieux pour les Sciences de l'homme et de la société, mais pas uniquement. En effet, l'accès aux documents constitue un frein considérable pour beaucoup de chercheurs et particulièrement pour ceux de ce secteur scientifique. En outre, la numérisation permettrait de

mettre en œuvre de nouvelles méthodologies d'analyse des documents. C'est encore un dossier à ouvrir, sachant que des problèmes analogues se posent par exemple, pour les collections géologiques ou biologiques.

Bilan et conclusion²⁴

L'évolution des divers secteurs scientifiques conduit à l'expression de nouveaux besoins en termes d'équipements dont la nature et le coût nécessitent un effort collectif. Ces besoins doivent être exprimés par les communautés correspondantes. De plus, les équipements en question demandent de réunir des compétences, non seulement d'ordre technique pour le fonctionnement et l'amélioration de leurs performances, mais aussi scientifiques pour leur bonne utilisation et une exploitation la plus optimale possible des résultats.

La nature de ces équipements dépend des secteurs disciplinaires ou thématiques : un instrument principal (accélérateur, télescope, centre de calcul intensif, satellite spécialisé), un plateau scientifique et technique (centre d'analyse chimique, centre de séquençage), une infrastructure fixe ou mobile (réseau informatique, flotte océanographique ou aérienne), un ensemble de plateaux en réseau (réseau de stations de recherche sur l'environnement, réseau des génopôles). Tous ces systèmes nécessitent un réseau informatique fiable pour assurer les liaisons ainsi que la circulation de l'information, l'accès aux données et aux logiciels. Certains équipements sont géographiquement localisés (les grands instruments et les plateaux fixes), d'autres sont mobiles (bateaux, avions, satellites), d'autres, enfin, sont distribués géographiquement (plateaux en réseau). Il en résulte des modes de fonctionnement différents.

Ce qui les rassemble : le besoin exprimé par la communauté scientifique, l'intérêt collectif, leur pouvoir structurant de communautés et, dans certains cas, de champs scientifiques, leur coût initial, leur coût de fonctionnement, leur durée de vie, l'innovation technologique que demande leur conception, la nécessité d'un « environnement » scientifique et technique pour leur utilisation et leur exploitation. Il en résulte que le choix et la réalisation de ces équipements relèvent en premier lieu d'une politique nationale. Mais celle-ci doit, d'une part prendre en compte les initiatives régionales de plus en plus nombreuses en la matière, d'autre part s'intégrer dans une préoccupation européenne et internationale de la recherche. Les logiques technologiques, économiques, stratégiques, de prestige et d'aménagement du territoire ne sont pas absentes non plus.

Tout cela constitue un ensemble de paramètres qui peuvent présenter des contradictions. Dans une procédure de choix et de décision, il y a lieu de les hiérarchiser.

Le rapport de l'OPECST : convergences et compléments

Une réflexion sur les TGE a également été menée par l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Elle a donné lieu à un rapport²⁵. Ce rapport présente un bilan détaillé et

²² National Science Foundation (États-Unis).

²³ Avion de recherche atmosphérique, propriété de l'Institut géographique national, géré par l'Institut national des sciences de l'univers du CNRS.

²⁴ Ces conclusions du travail du Groupe TGE du CSRT sont extraites du rapport 2001 du CSRT (adopté en séance plénière le 13 décembre 2001).

²⁵ Cf. « Les conditions d'implantation d'un nouveau synchrotron et le rôle des très grands équipements dans la recherche publique et privée, en France et en Europe » (MM. Christian Cuvilliez, Député, et René Trégouet, Sénateur), OPECST, 2000. Le Groupe de travail du CSRT a été associé à cette réflexion à travers deux de ses membres (Claudine Laurent et Gilles Cohen-Tanoudji).

fort documenté des TGE actuels. On peut évidemment faire des critiques de détail. Par exemple pour les sciences de la vie, on comprendra l'accent mis sur le génome et le post-génome, ainsi que sur l'imagerie. On aurait aimé y voir approché de façon plus déterminante tout ce qui concerne les niveaux d'organisation supérieurs pour lesquels le concept de TGE prend de la pertinence. C'est le cas notamment en écologie. Certes une séance a été consacrée aux écosystèmes terrestres, mais l'audition a été limitée à l'Inra. Cet institut a évidemment des compétences dans le domaine, mais il n'est pas le seul (CNRS, IRD, CIRAD, Cemagref et même CEA ont été oubliés). Plus généralement, les caractéristiques d'un TGE qui nous ont semblé intéressantes à souligner comme l'intérêt collectif ou l'effet structurant pour la communauté scientifique n'ont pas été mis en exergue. Cela étant, ce rapport propose une approche fort documentée et complémentaire à celle qui a été adoptée par le CSRT. Le groupe TGE du CSRT a donc proposé d'en tenir largement compte dans ses propositions finales. Les convergences précisées, on s'en tiendra à quelques propositions qui les prolongent et les complètent.

Le rapport de l'OPECST propose de classer les TGE en trois catégories :

- i) Les « TGE de percées thématiques » sont conçus et réalisés pour la conquête de nouvelles connaissances dans un thème important pour un ensemble de disciplines donné mais assez connexes (exemples : le LEP et bientôt le LHC ou GANIL).
- ii) Les « TGE d'infrastructure » sont nécessaires à de larges secteurs de la recherche pour progresser et maintenir un niveau international. Ils doivent fournir une prestation continue et fiable au plus haut niveau technologique (exemples : SOLEIL, RENATER, les zones-ateliers pour la recherche sur l'environnement).
- iii) Les « TGE de grands programmes » sont des équipements dédiés au développement d'un domaine d'activité ou à un projet d'utilité sociale (Tokamaks, pour la fusion, les satellites météorologiques, une part importantes des équipements nécessaires pour le post-génome ou pour l'observation de l'environnement).

Le groupe TGE travaillait sur une telle classification. On peut considérer que celle qui a été proposée par l'OPECST recoupe bien ses réflexions.

Par ailleurs, parmi les conclusions de ce rapport, on pourra également retenir les points suivants :

- une vision très positive de la communauté scientifique ;
- une reconnaissance de la nécessité des TGE, de l'extension de leur définition et de leur ouverture à d'autres secteurs disciplinaires ;
- une remarque sur le manque de prospective en la matière, non pas au niveau des communautés scientifiques, mais à celui de la politique scientifique de l'État ;
- la nécessité d'une instance indépendante de conseil et d'évaluation qui puisse faire ce type d'analyse et faire des propositions en termes de priorités d'investissements.

Ces préoccupations ont aussi animé le débat du groupe TGE du CSRT et l'on en trouve la trace dans le rapport d'étape sur le sujet. Ainsi, dans les discussions du groupe, il avait été envisagé de changer la terminologie

elle-même. L'expression « Grands équipements scientifiques d'intérêt collectif » (GESIC) avait été évoquée. Depuis, une cellule de la Direction de la recherche a été créée sur le sujet et propose d'employer l'expression : « Très grandes infrastructures pour la recherche » (TGI)²⁶. Néanmoins dans ce rapport, nous avons continué à employer le sigle TGE, tout en proposant que dans l'avenir la nouvelle expression s'impose, car elle nous semble bien traduire l'évolution du concept.

Par ailleurs, l'analyse du groupe du CSRT se prolonge par un exercice de prospective en signalant les secteurs nouveaux où émergent des besoins en moyens lourds de recherche (SDV et SHS ; recherches sur l'environnement, par exemple). Le rapport de l'OPECST y fait allusion et renforce cette analyse. On notera également que le concept de TGE, actuellement très centré sur un instrument et son environnement technique et scientifique (ce qui correspond à beaucoup d'entre eux), doit être étendu à d'autres infrastructures (par exemple : plateaux techniques, centres communs d'analyse, réseaux). On soulignera aussi la nécessité d'en évaluer l'intérêt commun, disciplinaire ou multidisciplinaire.

On trouvera en encadré 2 le tableau récapitulatif de l'OPECST, avec des compléments possibles évoqués par le groupe TGE. On remarquera enfin que cette classification a une part d'arbitraire dans la mesure où certains grands équipements pourraient, pour une partie de leurs finalités, émerger dans plusieurs catégories. Cette question est d'importance pour les sources de financement. L'OPECST remarque fort justement qu'il n'est pas difficile de faire la part des choses et de faire un tableau croisant TGE et finalités en portant les pourcentages d'appartenance à l'une des trois catégories.

En revanche, reste en discussion la démarche institutionnelle visant à faire des choix et à les ordonner. C'est sur ce point que l'on voudrait faire des propositions complémentaires.

Proposition pour les choix et les classements

Au préalable, il semble utile de préciser le mécanisme de proposition et de prise de décision. D'abord, il s'agit de lancer, auprès de la communauté scientifique, un appel à idées pour de nouveaux équipements, notamment en direction des secteurs scientifiques jusqu'à présent peu concernés.

Ensuite, le groupe TGE a identifié les trois étapes suivantes : élaboration par les communautés scientifiques de listes ordonnées de propositions ; examen et interclassement de ces propositions par une instance indépendante ; prise de décision au niveau politique.

Il n'appartient pas au CSRT de faire des propositions sur la prise de décision au niveau politique. Aussi n'est-il discuté que des deux premiers points :

- A) élaboration par les communautés scientifiques de listes ordonnées de propositions – Cela implique d'abord que toutes les communautés se sentent concernées, par exemple sur la base d'un appel d'offre permanent. Ensuite qu'elles créent en leur sein des groupes de réflexion et de travail nécessaires à l'émergence de projets et à leur expression. Ce travail doit être mené transversalement aux organismes. Ensuite, le classement des projets pourrait être fait par un comité mixte de représen-

²⁶ Cette cellule est animée par Michèle Leduc, qui a assisté aux réunions du groupe TGE du CSRT. Cette interaction constante avec la DR a été très positive.

Encadré 2. La classification des TGE selon l'OPECST (Compléments apportés par le CSRT).

Type/initiative	Finalité dominante	Exemples	Remarques
TGE de percée thématique « Bottom Up »	Conquête d'un nouveau territoire de connaissance (plusieurs ordres de grandeur) dans une spécialité	<input type="checkbox"/> LEP, LHC <input type="checkbox"/> GANIL <input type="checkbox"/> CHFT, ESO, IRAM, VLT <input type="checkbox"/> FIRST/PLANCK <input type="checkbox"/> INTEGRAL, ISO, Missions coûts réduits <input type="checkbox"/> SOHO, XMM <input type="checkbox"/> CASSINI, CLUSTER 2, Mars express, PREMIER, ROSETTA <input type="checkbox"/> ENVISAT <input type="checkbox"/> TOPEX-POSEIDON, PROTEUS-JASON <input type="checkbox"/> EMBL <input type="checkbox"/> VIRGO <input type="checkbox"/> Bibliothèques numériques <input type="checkbox"/> Grandes collections naturalistes <input type="checkbox"/> Grandes animaleries <input type="checkbox"/> Bibliothèques de référence (ex. en mathématiques)	<input type="checkbox"/> Prototype <input type="checkbox"/> La plupart du temps dédié à une discipline spécifique <input type="checkbox"/> Existence d'un aléas technique et financier lors de la conception <input type="checkbox"/> Financement plutôt international, au minimum européen
TGE d'infrastructure « Bottom Up »	Service à la recherche	<input type="checkbox"/> ILL, LLB <input type="checkbox"/> LURE, ESRF, SOLEIL <input type="checkbox"/> Flotte océanographique <input type="checkbox"/> Infrastructure numérique (grands calculateurs, réseaux numériques) <input type="checkbox"/> Flottes aérienne <input type="checkbox"/> Laboratoire de haute sécurité biologique (P4) <input type="checkbox"/> Réseau des Maisons de sciences de l'homme (MSH)	<input type="checkbox"/> Financement à dominante nationale (incluant éventuellement des contributions régionales). <input type="checkbox"/> Un TGE de percée thématique peut se transformer en TGE d'infrastructure si son utilisation s'ouvre et se banalise
TGE de grands programmes « Top Down »	Service à la société (avec retombées scientifiques et techniques significatives)	<input type="checkbox"/> JET, TORE SUPRA (approvisionnement énergétique) <input type="checkbox"/> METEOSAT, MSG, METOP, ERS 1 et 2 (prévision météorologique) <input type="checkbox"/> Station spatiale internationale, Sciences de la vie dans l'espace (souveraineté) <input type="checkbox"/> Réseau des Zones-Ateliers et d'observatoires (recherche pour la recherche sur l'environnement et décision en matière d'environnement) <input type="checkbox"/> Réseau des Génopôles (importance économique) <input type="checkbox"/> Réseaux d'informations socio-économiques	<input type="checkbox"/> Financement combinant crédits de recherche et subventions d'autres ministères, de régions ou d'autres acteurs économiques ou sociaux.

Les très grands équipements communautaires nouveaux possibles, " type TGE ", identifiés par le CSRT, sont en italiques ainsi que les ajouts dans les commentaires.

tants de la communauté concernée et de représentant des organismes de recherche. D'une certaine façon les Comités de coordination actuels pourraient préfigurer ces structures de choix et de propositions.

B) évaluation et inter-classement des propositions – Il apparaît d'abord qu'il est souhaitable d'éviter de reconstituer un Comité TGE, tel qu'il existait. L'instance concernée doit avoir une réflexion complémentaire à celle des communautés scientifiques. Elle doit, par ailleurs, être au fait de la politique de recherche et de sa traduction budgétaire. Elle doit donc impliquer, outre des scientifiques reconnus, d'autres acteurs sociaux. Enfin, elle doit inclure des chercheurs étrangers, notamment européens pour la prise en compte de l'espace européen de la recherche.

On peut également insister sur la nécessaire pérennité d'une telle structure et souhaiter, si possible, de ne pas en créer une nouvelle, mais de s'appuyer sur ce qui existe, quitte à l'aménager.

De fait, la composition du CSRT correspond à quelques détails près à cette description²⁷. Mais ces

détails ont de l'importance. En effet, le CSRT n'est pas à proprement parler une instance indépendante puisqu'il est présidé par le ministre. En outre, il ne compte pas de membres étrangers. Il ne dispose pas d'une logistique permettant de mener à bien un tel travail, qui, de plus, ne devrait représenter qu'une partie de ses tâches. Les autres, comme l'analyse du BCRD, sont évidemment complémentaires et nécessaires.

Plutôt que la création d'une instance nouvelle, il est donc préféré de proposer une réforme du CSRT, qui tiendrait compte de ces remarques :

- la présidence assurée par le ministre chargé de la recherche ne pose pas de problème particulier dans la mesure où l'animation du Conseil est assurée pas le (ou la) vice-président (e). La présence du ministre, en tant que président, peut être considérée comme bénéfique dans la mesure où cela permet un relais direct et rapide vers la décision politique. Il n'y a donc pas lieu de changer ce point ;
- le CSRT pourrait comprendre des membres étrangers, principalement européens. Mais le CSRT débat

²⁷ Constitué de 40 personnes, le CSRT comprend 20 membres nommés à titre scientifique, et 20 membres représentant la société civile, le monde économique, social et culturel, et des instances régionales.

- de points politiques nationaux qui ne nécessite pas cette présence. On pourrait donc imaginer un statut de membre associé ;
- la parité entre les représentations du monde scientifique et du monde économique et social devrait être préservée ;
 - le CSRT devrait pouvoir créer en son sein des groupes de travail formalisés sur les grandes questions, en particulier sur les TGE.

Enfin, le CSRT devrait disposer de la logistique lui permettant de mener à bien l'ensemble de ses tâches.

La difficulté est qu'une telle réforme demande une révision de la loi de 1982. Mais le CSRT pense que cette solution est sans doute meilleure que la création d'une nouvelle structure.

En conclusion

Il est urgent de revoir le concept de TGE, en l'étendant notamment à des secteurs disciplinaires ou thématiques qui en éprouvent le besoin. L'évolution du

concept incluant des plates-formes techniques et des réseaux implique de changer de terminologie, aussi l'expression « Très grandes infrastructures » (TGI) proposée par la Direction de la recherche et la Direction de la technologie semble pouvoir être retenue. Ces TGI, hors de leur fonction technique doivent avoir un effet structurant sur la communauté scientifique. Les projets et les réalisations tiendraient compte du contexte international, notamment européen et seraient chaque fois que possible élaborés dans ce cadre. Ils doivent être accompagnés d'un effort d'information scientifique et technique en direction du grand public.

Dans un contexte budgétaire nécessairement limité, il faut mettre en place un dispositif de choix, d'établissement des priorités et de programmation pluriannuelle. Le CSRT, *modulo* des ajustements dans sa composition et disposant de moyens adéquats, pourrait jouer un rôle dans la proposition finale de classement des projets émergents de la communauté et ainsi jouer son rôle d'interface avec la décision politique.