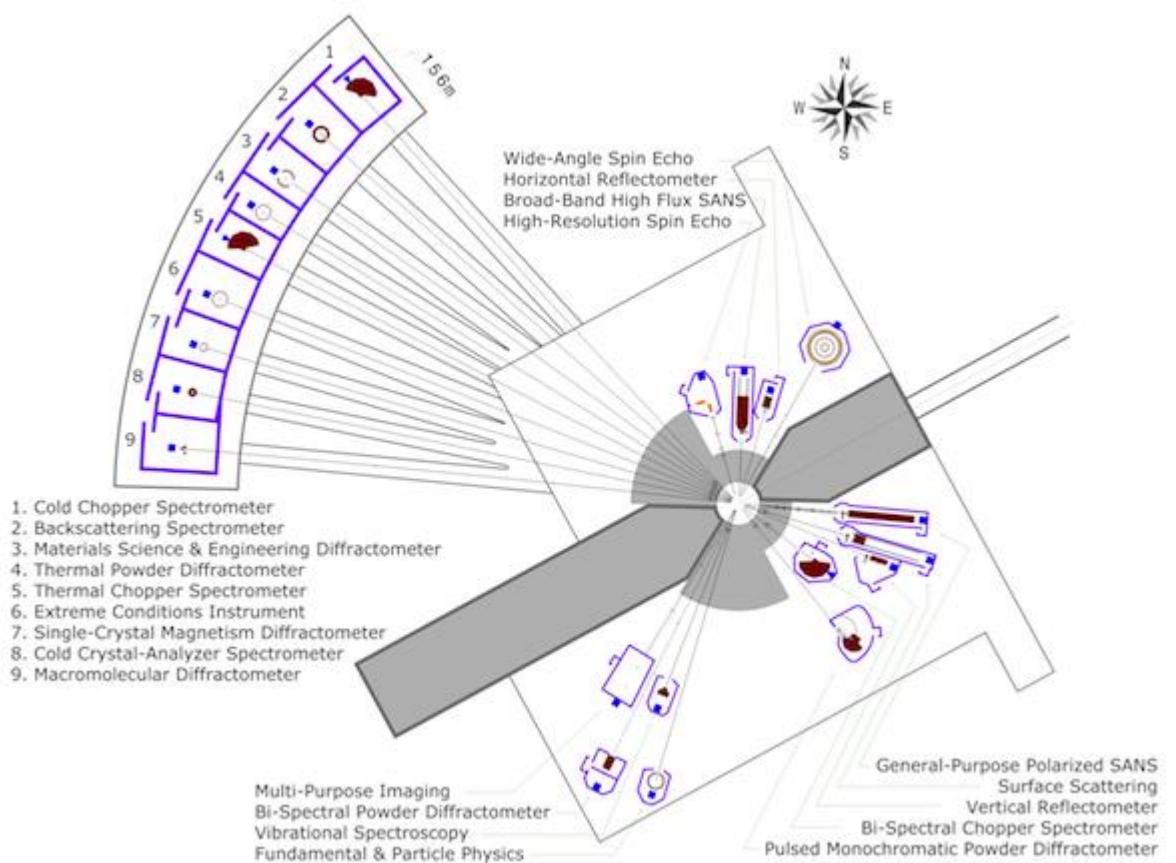


Contre-expertise de l'évaluation socio-économique du

Projet de Source européenne de spallation (ESS)



Sacha KALLENBACH, Emile QUINET

29 octobre 2014

Préambule

Le Commissariat général à l'investissement (CGI) a mené depuis septembre 2012 et à la demande du Premier ministre une réflexion sur les projets d'investissement public et leur évaluation. La démarche conduite dans le cas des infrastructures de transport sous le régime de l'instruction-cadre de 2005 a d'ailleurs servi de référence dans cette réflexion qui avait une vocation plus large que le secteur des transports.

Entre temps, l'article 17 de la loi de programmation des finances publiques du 31 décembre 2012¹ est venu instaurer l'obligation d'évaluation socio-économique des projets d'investissements (sans seuil), et sa contre-expertise indépendante et préalable au-delà d'un certain niveau de financement public. Son décret d'application, le [décret 2013-1211 relatif à la procédure d'évaluation des investissements publics](#) précise en particulier le cahier des charges du dossier d'évaluation socio-économique à constituer, le seuil au-delà duquel la contre-expertise est obligatoire, et les modalités de son organisation.

C'est en respectant toutes les règles prévues dans ce décret d'application (compétences, déclaration d'intérêt, délais) que le CGI a fait réaliser cette première contre-expertise indépendante relative à une très grande infrastructure de recherche.

¹ La [loi n°2012-1558 du 31 décembre 2012 de programmation des finances publiques pour les années 2012 à 2017](#) dispose dans son article 17 que :

« Les projets d'investissements civils financés par l'Etat, ses établissements publics, les établissements publics de santé ou les structures de coopération sanitaire font l'objet d'une évaluation socio-économique préalable.

Lorsque le montant total du projet et la part de financement apportée par ces personnes excèdent des seuils fixés par décret, cette évaluation est soumise à une contre-expertise indépendante préalable.

Le Gouvernement transmet au Parlement les évaluations et les contre-expertises mentionnées au premier alinéa.

Les conditions d'application du présent article sont prévues par décret. »

Table des matières

Préambule	2
Le projet	4
Présentation générale	4
Les autres sources de neutrons	6
Organisation et gouvernance du projet	8
La prise de décision pour l'engagement français	9
Le niveau de participation français	11
Evaluation socio-économique	13
L'impact de la recherche pour l'économie nationale	14
L'évaluation économique des projets de recherche	16
Evaluation de l'ensemble d'un secteur de recherche	16
Evaluation d'une infrastructure de recherche particulière	17
Méthodologie de la BEI	17
Méthodologie FenRiam	17
Méthodologie HAL	18
Research trends	20
L'étude des effets socio-économiques du CERN	21
Une grille d'analyse pour évaluer les impacts économiques	22
Coûts de construction et d'exploitation	24
Bénéfices liés à l'utilisation de l'infrastructure	24
Contexte	24
Evaluation de l'ESS	25
Coûts de construction et d'exploitation	25
Bénéfices liés à l'utilisation	26
Contexte	27
Conclusions et recommandations	28

Le projet

Présentation générale

L'European Spallation Source (ESS) est un projet d'infrastructure de recherche partagé entre dix-sept pays membres de l'Union européenne ou associés. Il produira des faisceaux de neutrons par la technique de spallation et deviendra la source de neutrons la plus puissante au monde ². Les chercheurs d'un nombre croissant de disciplines utilisent des sources de neutrons associées à une large gamme d'instruments neutroniques pour caractériser l'organisation de la matière. Pour cela ils analysent comment les neutrons sont déviés et comment leur vitesse est modifiée par leur interaction avec les noyaux de matière ; cela permet de déduire très précisément la position des atomes et leur mouvements. Des domaines de recherche très variés font appel à ces approches neutroniques, cela va de la science des matériaux et la physique nucléaire à la matière molle, la biologie et la chimie, mais aussi les géosciences et l'archéologie.

Plusieurs caractéristiques sont mises en avant pour vanter les mérites de la future source ESS : étant à base de spallation, les flux de neutrons seront pulsés dans une gamme d'énergie très étendue alors que les réacteurs produisent des flux de neutrons continus. Les impulsions pourront être longues et donc avantageuses pour certaines techniques neutroniques utilisant des grandes longueurs d'onde et l'intensité au maximum du pic de flux sera nettement supérieure à la plupart des autres sources existantes. La source est complétée par des instruments situés en aval qui permettent de recueillir des informations de natures différentes et de répondre à des questions scientifiques très variées.

Le projet ESS a émergé dès le début des années '90. Au niveau européen, il a été inscrit à la première feuille de route du forum stratégique européen des infrastructures de recherche (ESFRI) en 2006. Depuis il a été évalué et reconnu prioritaire par la note de priorisation au soutien des projets ESFRI datée du 7 avril 2014.

Encadré 1 : ESFRI, le forum stratégique européen des infrastructures de recherche

ESFRI a été créé en 2001. Sa mission est de venir en appui au développement cohérent et stratégique de la politique des infrastructures en Europe et de faciliter les initiatives multilatérales pour une meilleure utilisation et développement des infrastructures de recherche au niveau européen et international. Les délégués ESFRI sont nommés par les ministres de la recherche des pays membres et pays associés ainsi qu'un représentant de la Commission européenne. Ils travaillent ensemble pour développer une vision et une stratégie commune. Cette stratégie vise à surmonter les limites liées à la fragmentation des politiques individuelles et permet à l'Europe de se doter des infrastructures de recherche les plus à la pointe contribuant aux avancées de la science, des technologies et de leurs applications.

ESFRI a publié la première feuille de route en 2006. Celle-ci a été mise à jour en 2008 et 2010. Depuis Décembre 2012, le conseil de compétitivité mandate ESFRI pour l'évaluation des projets en cours de préparation ou de réalisation ainsi qu'une priorisation des projets d'infrastructures listés dans la feuille de route ESFRI.

² M. Arai & K. Crawford *Neutron sources and facilities dans Neutron Imaging and Applications, Neutron Scattering Applications and Techniques*, DOI 10.1007/978-0-387-78693-3_2, 2009

L'implantation du dispositif ESS a été choisie après un appel à candidature auquel la France n'a pas répondu. Deux pays d'accueil ont été retenus pour le projet : les infrastructures expérimentales seront construites à Lund en Suède et le centre de traitement des données au Danemark. Ces deux pays assurent 47,5 % du financement du projet de construction dont le coût est estimé actuellement à 1,843 Md€ et le coût de démantèlement à 177 M€. Les contributions des partenaires sont faites en numéraire et en nature par la fourniture de pièces et d'instruments. La participation française à la construction a été négociée à hauteur de 8 %, fournie majoritairement en nature. Ces apports de la France seront la participation à la construction de l'accélérateur, en capitalisant sur le savoir-faire du CNRS et du CEA et une participation à l'instrumentation neutronique. Pour faciliter une participation optimale aux appels d'offres des industriels des pays membres, un réseau d' « officiers de liaison industrielle » (ILO) a été mis en place. Ainsi, le ministère de la recherche finance un ILO qui assure le relais d'information entre ESS et les entreprises françaises.

Le budget a été décomposé en trois phases correspondant à la construction, aux opérations initiales et au fonctionnement en régime permanent (figure 1). La phase d'opérations initiales qui se déroulera parallèlement à la phase de construction a été budgétisée à hauteur de 810 M€ avec une montée en charge progressive du coût annuel entre 2019 et 2023. A partir de 2024 son montant devrait être le même que les frais de fonctionnements qui s'élèveront à 140 M€. La part de contribution des pays à la phase d'opération initiale devrait être égale à celle de la phase de construction à savoir 8 % pour la France.

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.

Les travaux de construction ont débuté en septembre 2014 avec la livraison des bâtiments prévue en 2016. A la condition que tous les pays engagés respectent le calendrier de livraison de leurs contributions, les premiers neutrons seront produits en 2019, les premières expériences scientifiques débiteront en 2022. L'infrastructure de recherche sera pleinement opérationnelle début 2026 après l'installation de 16 instruments. Six instruments complémentaires et initialement prévus seront installés en fonction de l'obtention de nouveaux crédits qui sont à ce jour recherchés, notamment au travers de l'entrée de nouveaux pays partenaires. Le démantèlement de l'installation doit avoir lieu de 2065 à 2070.

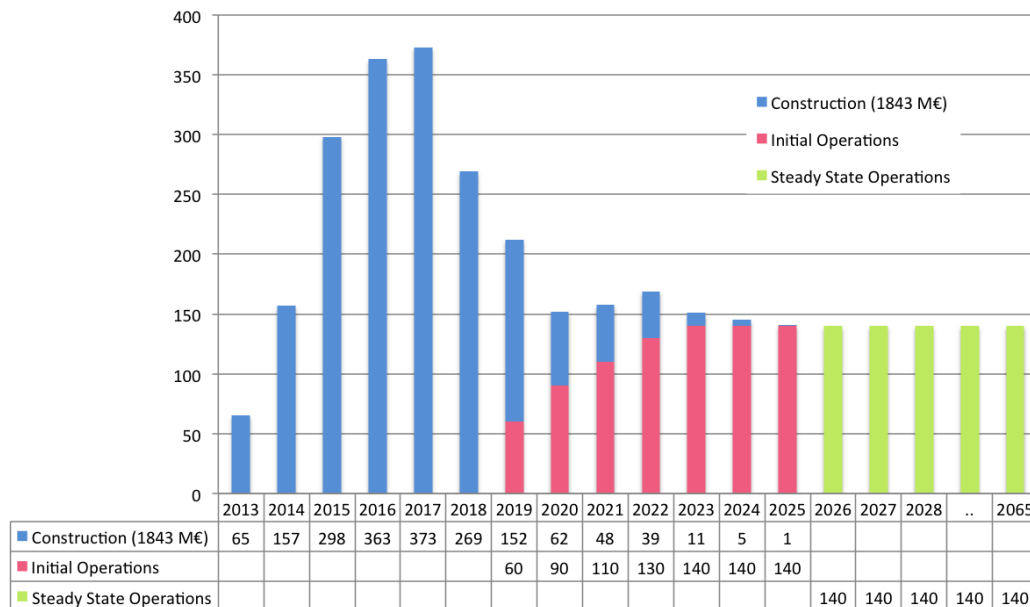


Figure 1 : profil du budget pour les phases de construction, opérations initiales et opérations en régime permanent (source : Comité de pilotage ESS)

Les autres sources de neutrons

Les neutrons peuvent être produits de façon continue par fission nucléaire dans un réacteur ou de façon pulsée dans une source à spallation par bombardement d'une cible par des protons hautement énergétiques.

La mission a identifié deux réacteurs à haut flux qui sont actuellement en service dans le monde : HFIR construit en 1967 aux Etats-Unis et HFR de l'Institut Laue Langevin (ILL) à Grenoble construit en 1972. Ce dernier est reconnu comme la meilleure source de neutrons produits par réacteurs³ malgré la construction plus récentes de réacteurs à flux moyen disposant de technologies avancées telles le JRR3 au Japon (1990), Hanaro en Corée (1997), FRM-II à Munich en Allemagne (2004), OPAL en Australie (2006). En Europe deux autres réacteurs à flux moyen sont encore en service actuellement mais leur fermeture est prévue d'ici 2020 : Orphée du laboratoire mixte CEA-CNRS Léon Brillouin à Saclay, BENSC du centre Helmholtz à Berlin.

ILL est un centre international géré par la France, l'Allemagne et la Grande-Bretagne. La convention d'exploitation est prolongée tous les dix ans et court actuellement jusqu'en 2024. Plusieurs programmes de rénovation (Millénium 0 et 1) ont permis d'améliorer la source de neutrons, les infrastructures et les instruments. Une troisième phase (Endurance) programmée sur la période 2014-2023 est actuellement en discussion. Le démantèlement de l'installation devrait intervenir vers 2030.

Depuis 1980 des sources à spallation ont été développées. Les plus puissantes actuellement en service sont SNS aux Etats-Unis (2006), JSNS/J-PARC au Japon (2008) et SINQ en Suisse (1996). Une source d'une puissance plus modeste, ISIS, est en service en Grande-Bretagne mais n'offre qu'un nombre limité de créneaux aux chercheurs des pays membres de l'Union européenne.

L'impact sur la production scientifique de la mise en service d'une source de spallation est illustré par les publications de haut niveau attribuées à l'utilisation de la source à spallation SNS à Oak Ridge aux Etats-Unis (figure 1).

³ M. Arai & K. Crawford *Neutron sources and facilities* dans *Neutron Imaging and Applications, Neutron Scattering Applications and Techniques*, DOI 10.1007/978-0-387-78693-3_2, 2009

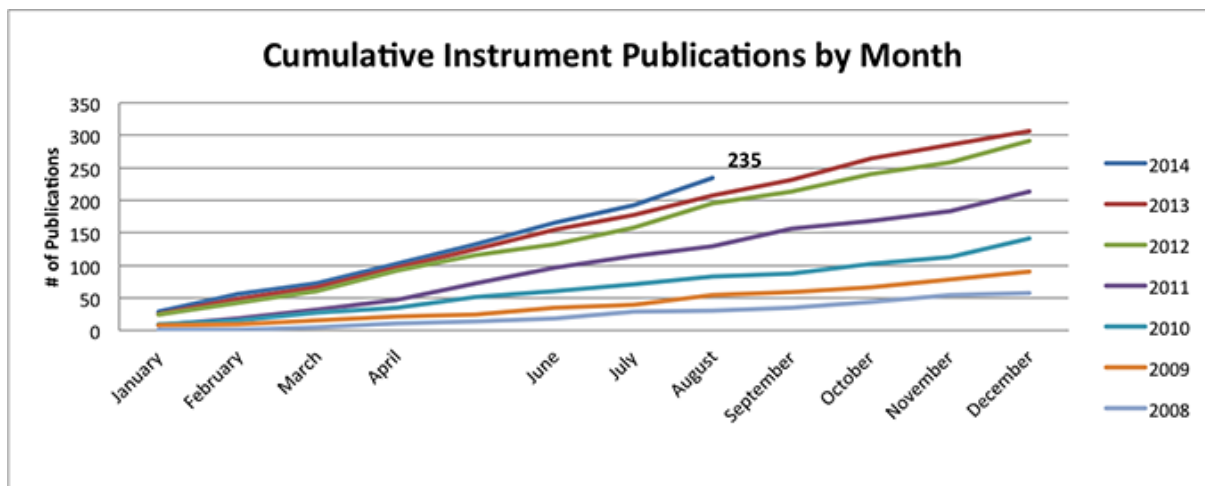


Figure 2 : Publications dans des journaux à fort facteur d'impact (supérieur à 7) liés à l'utilisation de la source à spallation SNS (source : site web de SNS – Oak-Ridge)

Il est à noter que la source à spallation SNS est installée sur le même campus qu'un réacteur, HFIR, qui a été entièrement rénové en 2007, soit immédiatement après la mise en service de SNS. Cette dernière dessert une communauté de 500 chercheurs, démontrant ainsi la complémentarité entre les deux types de sources.

Les chercheurs français utilisent actuellement les sources Orphée et ILL mais également la source par spallation britannique ISIS. Il existe donc déjà une demande nationale pour l'utilisation de neutrons pulsés⁴ et il a été identifié que l'ESS sera plus performante pour les expériences sur la matière molle ou pour les sciences de la vie que l'ILL. Pour souligner encore la complémentarité entre les réacteurs et les sources à spallation, on note que le premier utilisateur d'ISIS venant du territoire français est ILL.

Donc contrairement à ce qui est parfois affirmé, ILL et ESS peuvent être considérés comme des équipements complémentaires et non concurrents. Bien que le prix de revient d'une expérience soit transparent pour les chercheurs dont les projets sont sélectionnés sur la base de leur intérêt scientifique, la connaissance de ce coût comparatif sur les deux instruments pourrait éclairer davantage cette complémentarité. En effet, à une autre échelle on constate que le prix de fonctionnement de l'ILL s'élève à 96 M€ par an et celui de l'ESS à 140 M€ par an.

⁴ Les laboratoires implantés sur le territoire national qui font appel à ISIS sont dans l'ordre : ILL, Université Paris Sud, LIRMM, Université du Littoral, CRISMAT, CEA-Saclay, Université de Nantes, CEA-Grenoble.

Organisation et gouvernance du projet

Le projet de construction est actuellement porté par une société à responsabilité limitée de droit suédois, ESS-AB, dont les actionnaires sont les états suédois et danois. La gouvernance du projet est duale avec d'une part le conseil d'administration d'ESS-AB et d'autre part le comité de pilotage ESS composé de membres de chacun des dix-sept pays partenaires⁵. Le comité de pilotage est réuni en moyenne trois fois par an et est donneur d'ordre d'ESS-AB pour les sujets liés à la conception de la source de spallation.

Le projet ESS est entouré de plusieurs comités consultatifs indépendants :

Le **conseil consultatif scientifique** et le **conseil consultatif technique** sont constitués d'experts nommés par l'équipe de management de l'ESS et agréés par le comité de pilotage. Ces conseils travaillent en collaboration avec ESS-AB, ils émettent des recommandations sur les sujets scientifiques et techniques et évaluent les objectifs scientifiques et la conception générale de l'ESS.

Le **comité consultatif pour les équipements classiques** est composé d'experts externes qualifiés pour la construction conventionnelle et disposant d'une expérience dans le domaine des infrastructures de soutien associées aux installations d'expérimentation scientifique.

S'ajoutent à cela deux sous-comités du comité de pilotage : le **comité administratif et financier** qui supervise toutes les fonctions administratives et financières majeures d'ESS et le **comité d'évaluation in-kind** qui supervise l'ensemble des contributions en nature à ESS. La France est représentée dans ces deux comités par des délégués du ministère en charge de la recherche et du CNRS respectivement.

Un **comité externe de suivi et d'évaluation** « review committee » est chargé d'examiner l'avancement du projet avec une périodicité annuelle. Il est organisé en sept sous-comités chargés d'examiner les différents volets du projet : Accélérateur, cible, système de contrôle intégré, les systèmes de diffusion des neutrons, l'infrastructure, le coût et le calendrier et les aspects managériaux, d'intégration etc. Les travaux du comité se déroulent en présence de six observateurs, dont deux représentants du ministère français en charge de la recherche. Une première évaluation annuelle a eu lieu en novembre 2013 et une revue de suivi a eu lieu en mai 2014. La prochaine évaluation annuelle du projet est prévue pour le mois d'avril 2015.

Les cadres légaux offerts par les législations nationales n'étant pas adaptés à la gestion des partenariats internationaux pour la création et gestion des infrastructures de recherche partagées, la commission européenne a créé en 2009 le statut de consortium pour une infrastructure de recherche européenne ERIC⁶. Assimilé à un organisme international l'ERIC est exempté de TVA et d'accises et n'est pas couvert par la directive sur les marchés publics.

⁵ Suède, Danemark, République Tchèque, Estonie, France, Allemagne, Hongrie, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Pays-Bas, Norvège, Pologne, Espagne, Suisse et Royaume Uni.

⁶ Règlement (CE) n° 723/2009 du Conseil du 25 juin 2009 relatif à un cadre juridique communautaire applicable à un Consortium pour une infrastructure européenne de recherche (ERIC). Amendé le 2 décembre 2013 pour les conditions de participation des pays tiers par le règlement n°1261/2013

Après une première étape de vérification de conformité avec le règlement ERIC, les pays partenaires ont été sollicités pour faire la demande de constitution d'ERIC. Celle-ci a été transmise à la Commission européenne le 24 septembre 2014 par la Suède de la part du Danemark, de la Hongrie et de l'Espagne. La Norvège a demandé le statut d'observateur qui ne donne pas de droit de vote. Les autres pays souhaitant rejoindre l'ERIC en tant que membre fondateurs doivent en faire la demande auprès du Ministre suédois de l'éducation et de la recherche **avant la réponse de la Commission européenne attendue pour la mi-novembre. La France est donc amenée à se prononcer très rapidement.** La mise en place de l'ERIC devrait être réalisée en mai 2015.

Avec l'adoption des statuts d'ERIC les organes d'ESS seront le Conseil et le Directeur général. **Le Conseil** sera l'instance gouvernante et sera composée de deux délégués pour chaque membre de l'organisation, ceux-ci pourront être assistés d'experts. Il se réunira au moins deux fois par an et sera responsable de l'orientation générale et de la supervision de l'ESS. Il pourra donner des instructions au directeur général. **Le directeur général** sera recruté par le conseil et sera le représentant légal de l'organisation. Il sera en charge de la gestion quotidienne de l'ESS. Il proposera des décisions stratégiques, techniques, légales, budgétaires et administratives au Conseil.

Le conseil mettra en place un **comité administratif et financier** (AFC), un **conseil scientifique** (SAC) et un **conseil technique** (TAC). Le comité administratif et financier sera composé de deux délégués nommés par chaque pays membre et d'un président désigné par le conseil. Les deux conseils scientifiques et techniques seront composés de scientifiques renommés et n'ayant pas de liens avec l'organisation ESS.

La prise de décision pour l'engagement français

S'agissant d'un grand projet international, il est important de resituer les différentes étapes conduisant à l'engagement français, car au-delà de la motivation liée à l'intérêt scientifique de l'ESS, entrent également en compte des considérations diplomatiques liées à l'existence d'autres accords bilatéraux de coopération. L'engagement a été progressif, accompagnant l'élaboration du projet ESS que la communauté scientifique concernée suit depuis plusieurs décennies. Ainsi la première déclaration d'intention de coopération scientifique a été signée par les ministres en charge de la recherche français et suédois en octobre 2009 : elle vise à favoriser la circulation des chercheurs et l'accès aux installations et équipements de recherche dans le cadre de la construction de l'espace européen de la recherche. Elle concerne plusieurs secteurs de recherche : les sciences des accélérateurs et des neutrons, les énergies nucléaire et renouvelable, les changements climatiques, la physique nucléaire et des hautes énergies l'espace. Une deuxième lettre d'intention a été signée en septembre 2010 dans la perspective de la construction de la source européenne de spallation à Lund en Suède. Elle prévoit que des équipes de recherche françaises pourront participer à la mise à jour de la définition du projet ESS. Elle établit aussi le cadre pour une série de projets communs auxquels la Suède a apporté une contribution à hauteur de 68 M€.

Au niveau national, les instances de décision et d'expertise ainsi que les procédures d'instruction pour la construction des Très Grandes Infrastructures de Recherche (TGIR) et la participation à des projets internationaux ont été mis en place parallèlement à l'instruction du dossier ESS.

Encadré 2 : La stratégie nationale des TGIR

A partir de 2011, le ministère en charge de la recherche a élaboré puis formalisé une stratégie nationale de développement des infrastructures de recherche incluant les grands programmes internationaux, les infrastructures européennes et « les infrastructures moins formalisées »⁷. Le document publié en octobre 2012 porte sur la période 2012-2020 et identifie les lignes directrices de la politique française en matière d'infrastructures, les modalités de gouvernance et un tableau de bord des infrastructures.

Au niveau de la gouvernance, ont été instaurés un comité directeur des Très grandes infrastructures de recherche (TGIR) et un Haut conseil des TGIR. Les décisions de l'Etat sont prises en articulation avec celles des autres ministères dans une instance qui n'est pas identifiée dans le document.

Le comité directeur des TGIR est présidé par le directeur général de la recherche et de l'innovation, il est composé des présidents de chaque Alliance de recherche, de l'administrateur général du CEA, du président du CNRS et d'un représentant du ministère en charge des affaires étrangères. En fonction des sujets traités, les dirigeants des autres établissements de recherche peuvent être invités. Le comité directeur propose les décisions structurantes de haut niveau et la politique d'investissement à long terme ainsi que la programmation pluriannuelle des TGIR. Il valide et suit la mise en œuvre des politiques nationales relatives aux TGIR. En 2012 le comité directeur TGIR a proposé une méthodologie d'instruction et d'engagement de la France dans les projets TGIR.

Le haut conseil des TGIR est composé d'un président et d'environ dix personnalités choisies pour leur rayonnement scientifique et leurs compétences dans le domaine des grands instruments de recherche. Ses membres sont nommés par le ministre en charge de la recherche sur proposition du comité directeur des TGIR. Le haut conseil s'appuie sur les travaux relatifs aux infrastructures réalisés par les Alliances. A la suite de ce montage complexe, les Alliances interviennent dans la nomination du haut conseil qui en retour, les sollicite pour des avis.

Dans le document de Stratégie nationale, les infrastructures sont identifiées par domaine scientifique pour lesquels sont identifiés des enjeux et des objectifs. Le tableau de bord publié en 2012 constitue un recensement et une qualification des infrastructures existantes et/ou en projet, sans description. Il ne détaille pas la manière dont ils répondent aux objectifs généraux ou thématiques de la stratégie nationale d'infrastructures de recherche. Cette première version du tableau de bord ne comporte pas d'éléments de localisation, de calendrier, ni de coûts et ne peut en l'état constituer une feuille de route. Son actualisation sur de nouvelles bases a été lancée fin 2014.

Dans la stratégie nationale TGIR le projet ESS figure dans la catégorie science de la matière et ingénierie pour laquelle sont identifiés les trois objectifs :

- maintenir la position d'excellence de la France dans la recherche en sciences des matériaux et dans le domaine de l'énergie,
- développer une stratégie de recherche pluridisciplinaire et transdisciplinaire et privilégier le continuum recherche fondamentale et recherche technologique à travers l'accès combiné aux grandes infrastructures,
- favoriser le rapprochement entre la communauté scientifique et le monde industriel.

⁷ Stratégie nationale infrastructures de recherche 2012-2020

Le comité directeur des TGIR prépare les décisions relatives à la participation française à l'ESS, le chef du département des grandes infrastructures de recherche de la DGRI rend régulièrement compte de l'évolution du projet et des négociations pour lesquels il est mandaté. Pour éclairer sa décision le comité directeur a saisi le haut conseil des TGIR qui a émis un avis en juin 2013 sur la stratégie pour les neutrons prenant en considération l'activité des deux réacteurs actuellement en service en France. Dans son avis le haut conseil identifie des apports significatifs de l'ESS pour la matière molle et une amélioration en sensibilité pour les sciences des matériaux. En revanche, il considère que les apports aux sciences de la vie seront limités, alors même que les apports pour ce domaine sont mis en avant par l'ESS et par les communautés scientifiques internationales. La contre-expertise regrette que l'alliance Aviesan n'aie pas été saisie pour donner un avis formel sur ce sujet.

L'avis du haut conseil porte sur la poursuite de l'activité de l'ILL au plus haut niveau jusqu'en 2030 avec un investissement pour sa mise à niveau, une poursuite de l'activité de LLB-Orphée jusqu'à la fin de la décennie et une « implication raisonnable dans ESS ».

En septembre 2013 une réunion interministérielle confirme la participation du gouvernement français au projet ESS, donne le cadre des contributions françaises qui ne sauraient dépasser 8 % du coût de la construction et demande une optimisation des apports en nature.

Le niveau de participation français

La participation française été arbitrée essentiellement en fonction des contraintes budgétaires qui obligent à prendre également en considération les besoins en fonctionnement des deux réacteurs en activité sur le territoire français. La part d'utilisation française d'ILL illustrée en figure 3, à laquelle vient s'ajouter l'activité d'Orphée-LLB, et les temps de faisceau certes plus modestes utilisés à la source de spallation ISIS, permettent d'estimer que la part française dans la neutronique européenne est nettement supérieure à 8 %. Ainsi la participation française, si elle était négociée à ce niveau, ne permettrait pas de répondre aux besoins au moins à partir de 2030, date de fermeture d'ILL.

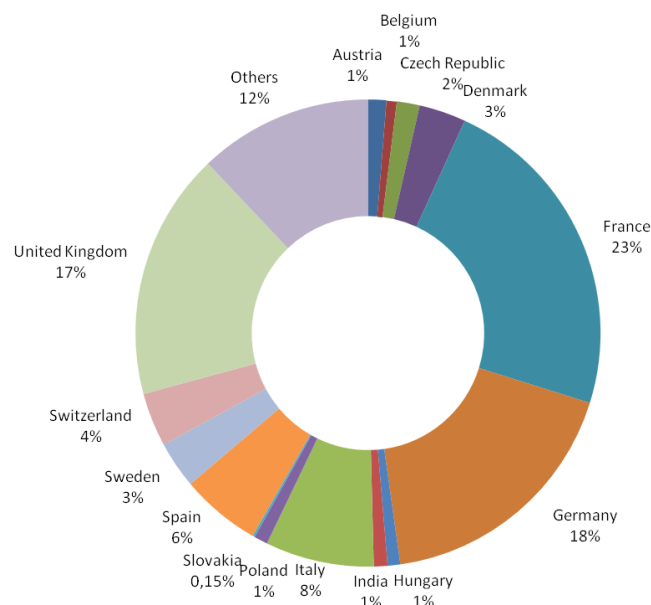


Figure 3 : Distribution du temps de faisceau de l'ILL sur la période allant du 19 février au 9 août 2013 selon l'affiliation nationale (source : comité de pilotage d'ILL de juin 2014)

De ce fait la contre-expertise est d'avis que l'investissement actuel dans le projet ESS est justifié et recommande une révision à la hausse en cours de projet, dès que les contraintes budgétaires de l'Etat le permettront. La dégressivité des contributions Danoise et Suédoise entre 2021 et 2024 constitue une opportunité pour accroître la participation française. Cette décision devra être préparée en amont. Elle pourrait s'appuyer sur une enquête réalisée auprès des utilisateurs potentiels appartenant à l'ensemble des communautés scientifiques - mise en œuvre par toutes les Alliances et le CNRS – qui permettrait de quantifier les besoins en neutronique. Cela pourrait être complété par des extrapolations faites à partir des demandes effectuées et honorées pour l'accès aux différents instruments de neutronique.

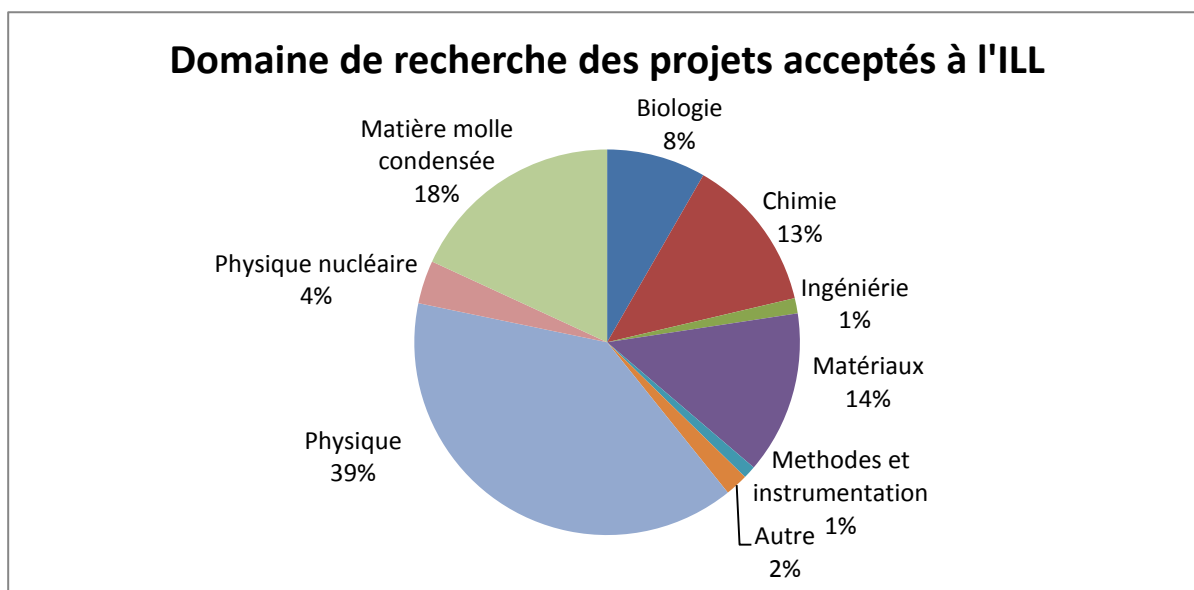


Figure 4: distribution des projets de recherche acceptés à l'ILL selon les domaines scientifiques (source : comité de pilotage ILL de juin 2014)

Elle recommande également d'informer plus largement les communautés scientifiques des possibilités offertes par la neutronique avec une attention particulière aux approches interdisciplinaires dans des domaines qui sont peu engagés au niveau national jusqu'ici. Elle recommande de suivre l'impact de la recherche en neutronique sur la production de haut niveau en recherche fondamentale, sur l'insertion professionnelle des doctorants, mais aussi sur les retombées économiques et en terme d'emploi des applications qui en découlent à court, moyen et long terme.

La participation au projet est principalement du ressort du CEA et du CNRS, ce qui assure une diffusion des connaissances issues des recherches menées à l'ESS dans les milieux de recherche à partir du niveau doctoral. Une contribution plus large au développement des connaissances et compétences des ingénieurs et des diplômés de master pourrait être obtenue par l'implication d'enseignants chercheurs avec ou sans programmes d'enseignement dédiés. La contre-expertise recommande de prêter une attention particulière à cet aspect qui contribue(ra) à la compétitivité générale de la France.

Evaluation socio-économique

L'évaluation socio-économique d'un projet consiste en une comparaison entre

- les coûts qu'il fait supporter à la collectivité, d'abord au moment de la construction puis, une fois l'ouvrage construit, pour son fonctionnement,
- les avantages que celle-ci en retirera par son utilisation tout au long de sa durée de vie.

Ainsi, pour une centrale de production d'électricité, les avantages sont représentés par l'énergie fournie aux utilisateurs (ménages et entreprises), les coûts étant bien sûr ceux de la construction initiale, du fonctionnement pendant la durée d'exploitation, puis de démantèlement à la fin de la période d'exploitation ; pour une ligne de métro, on comparera ses coûts de construction et de fonctionnement aux gains de temps qu'elle permettra aux usagers qui l'emprunteront. Il s'agit d'une évaluation analogue à celle que ferait une entreprise privée pour ses propres investissements, pour lesquels elle comparera le coût de l'investissement aux recettes qu'elle en retirera, à ceci près que, comme on se place au niveau collectif, il convient de prendre en compte les effets sur l'ensemble de la collectivité, et pas seulement ceux que supporte - ou dont bénéficie - l'opérateur. Pour reprendre les exemples précédents, la centrale peut entraîner une pollution de l'air dont vont pâtir les riverains, la ligne de métro permettra une amélioration de la productivité des firmes qu'elle dessert, et le calcul économique devra tenir compte de ces effets extérieurs au projet lui-même, qu'on appelle **effets externes**.

Ce sont ces principes qu'il convient d'appliquer au cas des infrastructures de recherche, si ce n'est que leurs spécificités conduisent à en adapter les modalités. D'abord du côté des coûts, la construction et l'exploitation de l'infrastructure obligent souvent à inventer des technologies nouvelles, elles-mêmes génératrices de progrès de productivité. Celles-ci sont ensuite susceptibles de se diffuser et d'entraîner une amélioration de la compétitivité nationale : les gains de productivité correspondant doivent être comptés en réduction des coûts. Ensuite les avantages retirés de l'infrastructure, qui s'analysent en premier lieu en un progrès de la connaissance, ont aussi des retombées économiques qui se traduisent là aussi sous forme de gains de productivité, par amélioration des processus de production ou par création de produits nouveaux ; ces retombées s'exercent, surtout pour la recherche de base, sur le long terme et sont particulièrement difficiles à prévoir, d'autant qu'elles ne dépendent pas uniquement de l'infrastructure de recherche mais aussi de l'ensemble de l'environnement constitué par la communauté des chercheurs, le processus de valorisation et les relations avec l'industrie.

De ce fait les liens qui unissent une infrastructure de recherche à ses conséquences économiques sont beaucoup plus lâches que ceux qui unissent une infrastructure de transport ou de production d'énergie aux avantages économiques qu'elles produisent. Tout ceci explique que le calcul économique ne puisse pas s'appliquer pour les infrastructures de recherche selon des modalités aussi précises et bien définies que dans les secteurs de la santé, de l'énergie ou des transports, et soit conduit à réduire ses ambitions par rapport à ce qui se fait ailleurs.

On va esquisser les contours qu'on pourrait lui donner en rappelant de façon très synthétique le savoir existant en matière d'impact de la recherche sur l'économie, puis en faisant un tour non exhaustif des méthodes proposées pour évaluer l'intérêt d'une infrastructure de recherche.

L'impact de la recherche pour l'économie nationale

La place de la recherche pour la croissance est de plus en plus reconnue au niveau des politiques publiques et démontré par les progrès de l'analyse économique. Au niveau des politiques, c'est la reconnaissance de l'importance de la recherche qui a motivé les orientations politiques de l'Europe, manifestées par exemple par l'agenda de Lisbonne, et par lesquelles notre continent ne fait que suivre une tendance qu'on retrouve en Amérique et dans de nombreux pays d'Asie.

C'est dû en large partie à ce que les progrès de l'analyse économique ont largement mis en évidence la place éminente de l'économie du savoir, comprenant à la fois la recherche, l'éducation et plus généralement le capital humain, dans les explications modernes de la croissance.

A l'inverse des théories plus anciennes qui, tout en reconnaissant l'importance du niveau des connaissances, le considéraient comme exogène, ces nouvelles explications⁸ modélisent sa formation et son développement et fournissent des modèles qui ont fait l'objet de vérifications statistiques. Il est possible d'en tirer des conclusions sur l'importance de la Recherche et Développement (RD) pour la croissance économique et pour la productivité, ainsi que sur les conditions dans lesquelles on peut optimiser cet effet.

Pour résumer trop rapidement un stock d'études considérable, notons d'abord quelques particularités des effets de la recherche.

D'abord la RD est le siège d'un processus vertueux, par lequel les efforts actuels, s'appuyant sur le stock de connaissances passées permet d'accroître le stock des connaissances futures, dans le cadre d'un processus cumulatif vertueux. Ensuite par effets d'imitation et d'observation, elle profite non seulement à celui qui l'a menée mais aussi à tous ceux qui, plus ou moins directement et complètement, en ont connaissance ; elle constitue un **bien public**, et sa production optimale implique une intervention publique, et/ou une protection des agents privés –par des brevets- qui autrement seraient trop vite privés du fruit de leur recherche. La difficulté de la politique des brevets, symbole de l'importance de la politique d'accompagnement de la recherche, est que, s'ils doivent suffisamment protéger l'inventeur pour l'inciter à son activité, ils ne doivent pas à l'inverse trop freiner la diffusion souhaitable de l'innovation.

Les modèles reproduisant ces traits ont fait l'objet de tests statistiques qui permettent d'abord de donner une idée de la rentabilité des dépenses de recherche.

Les évaluations sont très dispersées ; les études faites sur le sujet⁹ montrent une rentabilité supérieure à la moyenne des rentabilités des investissements, surtout lorsqu'on arrive à prendre en compte les effets de contagion. Les chiffres cités font état, pour les investissements de recherche, de rentabilités plusieurs fois supérieures à celles des investissements courants des entreprises, et encore plus élevés lorsqu'il a été possible de prendre en compte les effets de contagion.

⁸ Voir par exemple

LUCAS, R. E. JR. (1988): "On the Mechanics of Economic Development," *Journal of Monetary Economics*, 22, 3-42.

MORTENSEN, D. T. (1982):

ROMER, P. M. (1986): "Increasing Returns and Long-Run Growth," *Journal of Political Economy*, 94, 1002-1037. (1990): "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, 98, S71-S102

GROSSMAN, G. M., AND E. HELPMAN (1991): "Quality Ladders in the Theory of Growth," *Review of Economic Studies*, 58, 43-61.

AGHION P and HOWITT P 1992, A Model of Growth Through Creative Destruction, *Econometrica*, Vol. 60, No. 2 (Mar.), pp. 323-351.

⁹ Notamment

BARRO P 1989 Economic growth in a cross-section of countries NBER WP n°3120

La contagion, c'est-à-dire la dissémination des résultats de la recherche par diffusion du progrès technique et par élévation des compétences des agents, s'exerce essentiellement par la proximité géographique¹⁰ : ainsi par exemple le voisinage des centres de recherche et des établissements supérieurs manifeste un taux de progrès technique accru ; elle s'exerce aussi à l'intérieur d'un secteur ainsi que par fertilisation croisée, avec diffusion des progrès techniques entre les secteurs, et effets accrus lorsque sont en cause plusieurs secteurs.

L'efficacité de la recherche et de sa diffusion dans le tissu économique dépendent étroitement des conditions de son environnement, et d'abord de facteurs généraux extérieurs au secteur de la recherche proprement dit, par exemple du degré de concurrence dans l'industrie¹¹ ; elle est d'autant plus efficace que le secteur ou le pays est loin de la frontière technologique¹² ; elle dépend du niveau d'éducation (enseignement supérieur pour les pays à haut niveau de développement)¹³.

L'efficacité économique de la recherche dépend aussi, et majoritairement de facteurs internes. Ainsi, une bonne coordination entre la recherche privée et l'université et entre éducation supérieure et recherche apparaissent comme une condition d'efficacité de la recherche ; la proximité géographique est une des possibilités d'accroître cette coordination.

Cameron G 1996 Innovation and economic growth CENTRE FOR ECONOMIC PERFORMANCE DISCUSSION PAPER NO.277

GUELLEC D and Van Pottelsberghe de la Potterie 2001 R&D And productivity growth: panel date analysis of 16 OECD OECD Economic Studies No. 33, 2001/II/103

Z GRILICHES 1985 Productivity, R and D and basic research at the firm level in the, NBER WP n°154 T; Working Paper No. 154T

Bruno CRÉPON, Emmanuel DUGUET, Jacques MAIRESSE, 1998 Research innovation and productivity: an econometric analysis at the firm level NBER WP 6696; Frontier Economics 2014 Rate of return to investment in science and innovation, report for the Dt of Business, innovation and skills

Haskel j, Hughes A, Moreau E 2014 The economic significance of the UK science Base report for the campaign for science and engineering

¹⁰ Jaffe, Adam, Rebecca Henderson, and Manual Trajtenberg, 1993, "Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations," The Quarterly Journal of Economics, Vol. 108 (3), 577-598.

Jaffe, Adam, M. Trajtenberg, and M. Fogarty, 2000, "Knowledge Spillovers and Patent Citations: Evidence From a Survey of Inventors," The American Economic Review Papers and Proceedings,

May. Abdih Y and Joutz F 2005 Relating the knowledge production function to total factor productivity IMF WP 05/74;

Fischer M and Varga A production of knowledge and geographical mediated spill over from universities Paper presented at the 41st Congress of the European Regional Science Association, August 29-September 1, 2001, Zagreb, Croatia;

van Stel H. Nieuwenhuijsen 2002 SCALES-paper N200203 Knowledge Spillovers and Economic Growth an analysis using data of Dutch regions in the period 1987-1995

¹¹ Selon Philippe Aghion 2006 [« A primer on innovation and growth » Bruegel policy briefs 233 2006/6 octobre 2006](#), dans les secteurs de haute technologie, plus la concurrence est élevée, plus l'entrée est aisée, plus la recherche se traduit en progrès technique, par un effet facile à comprendre de renouvellement plus rapide des pratiques de production

¹² La frontière technologique pour une activité donnée est celle du pays le plus performant dans le domaine en cause.

¹³ Aghion idem

Elle dépend aussi des institutions générales d'organisation de la recherche qui varient d'un pays à l'autre, telles que la politique de brevets, et plus généralement des liaisons entre la recherche et l'industrie, comme le montrent plusieurs études récentes¹⁴. Elles font état d'une synergie entre recherche fondamentale et appliquée, les résultats de la recherche fondamentale étant d'autant plus aisément et rapidement transformables en recherche appliquée que celle-ci est proche de la première. Elles mettent en évidence l'importance, pour la transformation des résultats de la RD en compétitivité nationale, des relations entre les centres de recherche et l'industrie privée, et de la mesure dans laquelle les centres de recherche s'impliquent dans la stratégie de liaison avec l'industrie privée. L'importance de la capacité entrepreneuriale des universités et des liaisons entre recherche universitaire et industrie est soulignée dans de nombreuses études ; cette liaison passe par l'investissement en capital humain dans les industries, investissement permis par les contacts entre les universités et les entreprises « spin off » établies dans le giron des universités. On souligne aussi bien sûr les difficultés qu'il y a à apprécier les conséquences de la recherche, en raison notamment des multiples canaux par lesquels on passe de la recherche fondamentale aux améliorations de productivité.

L'évaluation économique des projets de recherche

L'évaluation des infrastructures et plus généralement des actions individuelles de recherche n'a que depuis peu attiré l'attention, même si dans un passé récent un nombre croissant de méthodes ont été proposées, dont certaines ont fait l'objet d'une mise en œuvre pratique. On peut les distinguer selon le niveau auquel elles s'appliquent. On en fera ici une recension rapide et loin d'être exhaustive.

Evaluation de l'ensemble d'un secteur de recherche

On range dans cette catégorie les évaluations de l'intérêt de la physique menées en Italie et au Royaume –Uni¹⁵. Les études correspondantes, menées selon la même méthodologie, consistent essentiellement en un recensement de tous les secteurs d'activité économique qui ont recours à la recherche en physique, et comptabilisent leur place dans la comptabilité nationale, selon une procédure qui consiste à additionner les valeurs ajoutées des secteurs en cause et les effets keynésiens qui en résultent. Ces méthodes essentiellement descriptives ne fournissent pas d'information sur les canaux par lesquels la RD influe sur la productivité et sur la compétitivité, et sont donc d'un intérêt limité pour l'évaluation de la recherche, d'autant que, additionnant tous les effets amont et aval, elles ne sont pas exemptes de risques de double compte si l'on ne se trouve pas dans une situation de sous-emploi par insuffisance de la demande.

¹⁴ A Bassanani, S. Scarpetta and P. Hemmings (2000), "Economic growth: the role of policies and institutions – panel data evidence from OECD countries", OECD Economics Department Working Papers, No. 283.,

B Van Looya,*, P Landonib, J Callaert, B van Pottelsberghe, E Sapsalisc, K Debackerea 2011 Entrepreneurial effectiveness of European universities: An empirical assessment of antecedents and trade-offs, Research Policy; Russell group 2011 The economic impact of research conducted at the Russell Group

A Conti and P Gaule 2011 Is the US outperforming Europe in university technology licensing? A new perspective on the European Paradox Research policy pp 123-135 Universities Russell Group 2011

¹⁵ [The Importance of Physics to the UK Economy. A report prepared for the Institute of Physics by Deloitte, October 2012](#)

Evaluation d'une infrastructure de recherche particulière

Plusieurs documents visent à définir une procédure pour évaluer une infrastructure de recherche donnée. On évoquera rapidement quelques-uns d'entre eux.

Méthodologie de la BEI

La BEI a préparé un guide d'évaluation des projets d'investissement (EIB [The Economic Appraisal of Investment Projects at the EIB](#), March 2013) qui s'applique à tous les types d'investissement et comporte en particulier un volet concernant les investissements en RD. Les principes présentés sont très classiques : comme dans tous les secteurs, ils consistent à évaluer d'abord la rentabilité pour l'organisme en cause (c'est ce que l'on appelle traditionnellement la rentabilité financière de l'investissement) ; puis à y ajouter les effets externes consistant essentiellement dans les effets de contagion et les conséquences pour la productivité des entreprises autres que l'organisme porteur du projet.

Cette méthode s'applique bien au cas des investissements privés d'innovation dont l'objectif est une application industrielle rapide et où les effets de contagion sont relativement faibles, mais mal à celui des investissements publics dans lesquels la part de recherche fondamentale est forte.

Méthodologie FenRiam

Cette méthodologie (*Proposal for a foresight enriched Research Infrastructure Impact assessment methodology, UE DGRI 2011*) passe en revue tous les aspects des conséquences du projet en détaillant très précisément les analyses à faire. La procédure consiste à recenser les impacts et leurs valeurs pour les différentes parties prenantes ; elle dépasse les seuls aspects purement économiques, incluant des aspects légaux, environnementaux, financiers, ressources humaines, etc. Elle comporte les phases suivantes :

- Identifier les parties prenantes
- Définir leurs objectifs
- Définir les indicateurs de bénéfices
- Mesurer les quantités de bénéfices
- Mesurer leurs valeurs (distinction entre les prix de marché et les prix collectifs)

Citons ici à titre d'exemple les grandes classes d'indicateurs recensés :

- Connaissance, mesurée par des indicateurs du type nombre de publications
- Développement, mesuré par des indicateurs relatifs aux brevets

- Education et formation, mesurées par des indicateurs de nombre de diplômés
- Emploi, mesuré par des indicateurs de nombres d'emplois
- Transfert de connaissance, mesuré par des indicateurs de collaborations entre équipes et de diversités de financement

Reproduisons ici l'organigramme de la procédure d'élaboration de l'étude d'évaluation :

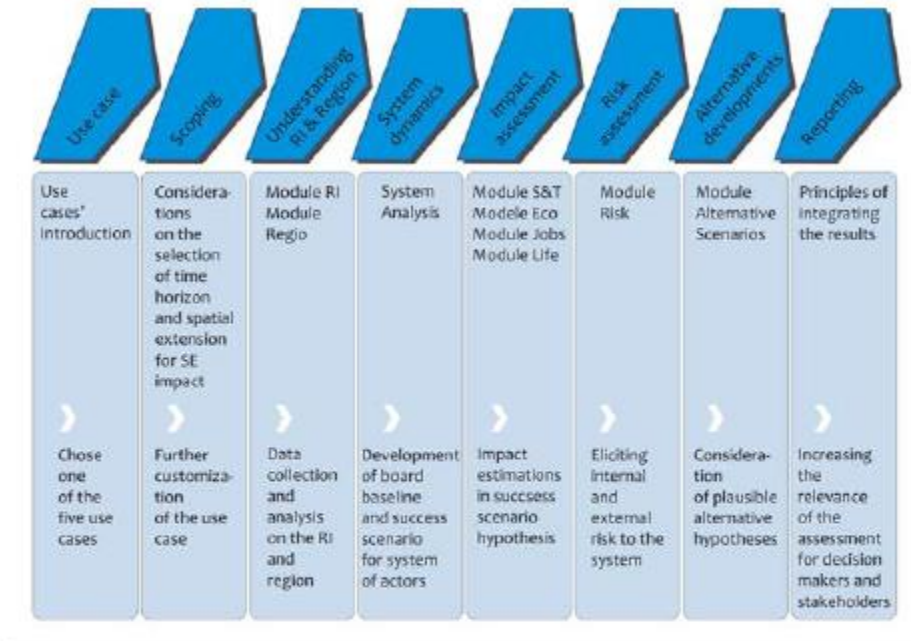


Figure 2 : Basic structure of the FenRIAM procedure

Three of the steps (understanding the RI and the Region, impact assessment and risk assessment) are structured as modules to cover all relevant areas to be analysed.

On note que la procédure est très exigeante en termes de données à recueillir pour l'évaluation.

Méthodologie HAL

Cette méthodologie a été mise au point au Canada par le National Research Council. Elle est décrite dans le tableau joint et a été mise en œuvre pour un projet particulier évalué *ex post* après plusieurs années d'exploitation (celui de l'IR Triumph).

Disciplinary Metrics ►►	Cross-Disciplinary Metrics ►►	Strategic Metrics ►
<p>Scientific Excellence: Does the facility provide an exceptional ability to enable frontier research and education? Is the research impact transformational, with evidence of significant leaps in capabilities, and understanding? Has the facility altered fundamental science or open up significant new lines of enquiry?</p>	<p>Relative Scientific Impact: How "transformative" is the facility in comparison to those of other disciplines? What is the international relevance of this facility? Do similar facilities exist in the international research community?</p>	<p>Scientific Competitiveness: How important is the facility for:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Maintaining or enhancing scientific competitiveness in the particular research area? ▪ Training, retaining and attracting scientific expertise? <p>Has the facility resulted in greater research output? What are the risks of not meeting these competitiveness objectives?</p>
<p>Technical Excellence: Is the facility pushing the frontier of technology? Are technical risks being thoroughly addressed?</p>	<p>Impact Across Communities: Does the facility have cross-disciplinary impact? Is it of interest to more than one stakeholder group?</p>	<p>Economic Benefits: What is the economic impact of the facility? Does the facility enhance Canadian R&D and innovation capabilities? What are the risks to not meeting the economic objectives?</p>
<p>Community Support Does the relevant research community consider the facility a high priority? Is the facility accessible to an appropriately broad user community?</p>	<p>Urgency: (for proposals) How important is timeliness of the proposal in contrast to other proposals? Is there a window of opportunity? Are there interagency and international commitments that must be met?</p>	<p>Societal Benefits: Does the facility have wider societal benefits, including:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Public outreach activities? ▪ Impact on education in schools or of the general public? ▪ Health impacts? <p>What are the risks to not meeting the societal objectives?</p>
<p>Disciplinary Impact How many researchers, educators, and students does the facility enable?</p>	<p>Readiness: (for proposals) Is there a high state of readiness to proceed with development?</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Technical / engineering maturity ▪ Partnerships ▪ Facility management ▪ Level of international commitment ▪ Compliance with environmental regulations 	<p>International Leadership: Does the facility provide international leadership? Does it continue to build on current leadership and expertise? Does the facility bring prestige to Canadians? Is it supported by partnerships that strengthen Canada's standing in the international community? What are the risks of not meeting these leadership objectives?</p>
<p>Partnerships: Are partnership possibilities for development and operation being fully exploited?</p>	<p>Synergies: Does the facility benefit from or contribute to coherence and synergies with other Canadian or international programs and investments?</p>	<p>National Priorities: Does the facility support current national priorities?</p>

La méthode évalue l'IR selon plusieurs métriques. La première est relative à la discipline concernée et vise à apprécier l'intérêt de l'IR pour la discipline en cause (excellence du projet, besoin pour satisfaire aux progrès attendus...); la seconde vise à évaluer les effets interdisciplinaires (synergies, utilisation possible par d'autres communautés scientifiques...); la troisième est plus générale et englobe en particulier, mais pas uniquement, les aspects économiques. Pour ces derniers, une évaluation quantitative est faite, à partir d'estimations monétaires d'un certain nombre d'aspects : les dépenses de l'organisme, les revenus venant de l'implication des entreprises canadiennes, le supplément d'activité lié aux conférences réunies sur le lieu de l'infrastructure).

Dans cette application à Triumph, les aspects concernant les utilisations de la recherche sont abordés, mais de façon incomplète ; en particulier, sont laissés de côté les bénéfices à venir au-delà de l'année d'évaluation pour les effets pris en compte, ainsi que l'augmentation de productivité des agents travaillant pour le projet ou dans des entreprises autour de l'infrastructure.

Research trends

On aura remarqué que les indicateurs de résultats de la recherche jouent un rôle majeur dans l'évaluation socio-économique des projets. La revue « Research Trends » a publié une étude recensant la manière de mesurer ces indicateurs, fondée sur des analyses bibliométriques. On présente ci-dessous la grille correspondante.

Type of Indicator	Description	Main Uses	Main Challenges
Publications – Citations	Methods involving counts of the number of publications produced by the evaluated entity (e.g. researcher, department, institution) and the citations they receive.	Measuring the impact and intellectual influence of scientific and scholarly activities including: Publication impact Author impact Institution /department impact Country impact	Name variations of institutions and individuals make it difficult to count these correctly. Limited coverage or lack of coverage of the database selected for the analysis can cause fundamental errors. Some documents such as technical reports or professional papers ("grey literature") are usually excluded from the analysis due to lack of indexing and thus, in certain disciplines, decrease the accuracy of the assessment. Differences between disciplines and institution reading behaviors are difficult to account for.
Usage	Methods that aim to quantify the number of	Indicating works that are read, viewed or shared as a measure	Incomplete usage data availability across providers leads to partial analysis. Differences between

	times a scholarly work has been downloaded or viewed.	of impact. Enabling authors to be recognized for publications that might be less cited but heavily used.	disciplines and institution reading behaviors are difficult to account for. Content crawling and automated downloads software tools that allow individuals to automatically download large amounts of content, which doesn't necessarily mean that it was read or viewed. Difficult to ascertain whether downloaded publications were actually read or used.
Social (Altmetrics)	Methods that aim to capture the number of times a publication is mentioned in blogs, tweets or other social media platforms such as shared reference management tools.	Measuring the mentions of a publication in social media sites, which can be considered as citations and usage and thus indicate the impact of research, an individual or institution.	A relatively new area with few providers of social media tracking. The weight given to each social media source is different from one provider to the other thus leading to different "impact" scores.
Patents	Measures the number of patents assigned to an institution or an individual. Identification of citations to basic research papers in patents as well as patents that are highly cited by recently issued patents.	Attempting to provide a direct link between basic science and patents as an indication of economic, social and/or methodological contribution.	Incomplete and un-standardized references and names limit the ability of properly assigning citations and patents to individuals or institutions. Patenting in countries other than where the institution or individual originates from is problematic for impact analysis. Lack of exhaustive reference lists within the patents limits the analysis.
Economic	Measures the strengths between science and its effect on industry, innovation and the economy as a whole.	Providing technology transfer indicators. Indicating patentability potentialities of a Research project. Providing cost-benefit measures	The statistical models used are complex and require deep understanding of the investment made but also of the program itself. Long term programs are more difficult to measure as far as the cost-benefit is concerned. Requires expertise not only in mathematics and statistics but also in the field of investigation itself.
Networks	Calculates collaborations between institutions and individuals on a domestic and global scale. Institutions and individuals that develop and maintain a prolific research network are not only more productive but also active, visible and established.	Enabling the tracking of highly connected and globally active individuals and institutions. Allowing benchmarking to be performed by evaluators by comparing collaborating individuals and institutions to each other.	Affiliation names as mentioned in the published papers are not always standardized, thus making them difficult to trace. Education in a different country which might not have resulted in a publication cannot be measured, thus making this particular aspect of expertise building impossible to trace.

Ce tableau confirme la difficulté de saisir avec précision les conséquences de la recherche, dans la mesure où il montre par exemple que deux brevets ou deux publications scientifiques ne sont pas forcément équivalentes ; il permet de mettre en évidence le fait que l'évaluation de la recherche nécessite le recueil d'une quantité importante de données. Force est de constater que nous sommes actuellement loin de disposer de telles bases de données.

L'étude des effets socio-économiques du CERN

Les recherches menées par le CERN sont du ressort de la recherche fondamentale et il est difficile de mesurer leurs conséquences économiques ; en revanche, le CERN contracte avec de nombreux sous-traitants industriels pour la fabrication des appareils qu'il utilise dans ses expériences. L'étude en cause est une analyse *ex post* de ces contrats, qui met en évidence le nombre et la diversité des applications, brevets et améliorations de processus qui ont été ainsi rendus possibles. Au-delà des nombreuses données présentées et traitées en termes de contrats et brevets, l'étude détaille les procédures par lesquelles le CERN s'emploie à valoriser et diffuser les avancées technologiques à l'origine de laquelle il se trouve, par une politique de relations et des dispositions concernant l'agrément et la diffusion des brevets. Une telle recension constitue une pierre dans l'édifice à construire des bonnes pratiques en matière de diffusion de la recherche.

Une grille d'analyse pour évaluer les impacts économiques

Les études qui viennent d'être présentées sont loin de constituer un point exhaustif des réflexions nombreuses qui se développent actuellement autour de l'évaluation socio-économique des infrastructures de recherche. Elles permettent néanmoins de dresser un point sur le sujet et de proposer, pour le cas de l'ESS, une grille d'analyse.

La première conclusion est que l'on a des résultats solides et convergents concernant l'impact de la RD sur la compétitivité et sur la croissance économique. Cet impact est majeur, et l'analyse rejoint le sentiment général que la RD constitue la voie majeure pour retrouver la croissance économique dans notre pays ; même si la quantification de cet effet diffère sans équivoque selon les études, le sens et la grandeur de cet effet

Le second point est que cet impact dépend très fortement des conditions dans lesquelles la recherche s'effectue et dans lesquelles la transmission des connaissances se réalise dans la chaîne complexe qui va de la recherche fondamentale à la mise en œuvre industrielle en passant par la recherche appliquée et l'innovation.

Si maintenant on passe à l'évaluation des projets particuliers, le tableau devient moins net. Des méthodologies existent, mais elles sont complexes, elles impliquent la disponibilité d'un grand nombre de données qui en général, et tout particulièrement ici pour le cas de l'ESS, n'existent pas. Ces méthodes ont fait l'objet de quelques applications pour des évaluations *ex post* très intéressantes et instructives ; mais elles ne semblent pas avoir eu d'application pour des études *ex ante*, surtout pour des projets impliquant une part importante de recherche fondamentale. Cela se comprend aisément en raison de la difficulté d'anticiper les retombées économiques des investissements de recherche. En effet, le processus de transfert de la recherche vers l'innovation fait intervenir de nombreux paramètres au-delà de la seule consistance de l'infrastructure, et le résultat final en terme économique reste pour une large part sous la dépendance d'autres facteurs. Au-delà du domaine de recherche, l'écosystème qui entoure le projet et les chercheurs contribue au potentiel de valorisation dont les retombées peuvent se produire à des échéances très variables pouvant aller jusqu'à plusieurs décennies.

Il convient donc d'être, pour le projet de l'ESS et probablement pour beaucoup de projets à évaluer dans un futur proche, moins ambitieux. En s'inspirant des considérations ci-dessus, on proposera une grille d'analyse simplifiée, comme l'imposent les courts délais de cette contre-expertise, en distinguant deux grandes dimensions pour l'évaluation des IR : **la dimension du progrès dans les connaissances** (dans quelle mesure le projet envisagé va faire progresser les connaissances) et **la dimension des conséquences économiques** (dans quelle mesure le projet envisagé contribuera au bien être des concitoyens et à la croissance économique). Ces deux dimensions sont difficilement commensurables¹⁶ ; elles ne sont pas sans lien, même si le lien est très probablement différent selon les disciplines¹⁷ ; L'évaluation d'un projet devra donc considérer séparément les apports possibles qu'il peut avoir à l'avancée des connaissances et ses conséquences économiques. La grille proposée qui est développée dans l'encadré plus bas, part de ces considérations et vise essentiellement à faire porter l'attention sur plusieurs aspects majeurs à prendre en considération dans l'évaluation socio-économique. On verra qu'on y distingue les coûts et les avantages du projet, l'évaluation étant une comparaison des deux.

Dans les coûts, on doit faire attention au fait que ceux de réalisation et de fonctionnement doivent être défalqués des gains de productivité qui les accompagnent si la réalisation et le fonctionnement conduisent à développer des produits et procédés nouveaux qui peuvent ensuite être utilisés par transfert dans l'industrie générale et conduire à des gains de productivité dans la fabrication d'autres biens ou pour créer de nouveaux biens ; une autre retombée possible des travaux de réalisation de l'infrastructure réside dans l'amélioration éventuelle du capital humain (formation à des disciplines qui autrement n'auraient pas eu lieu par exemple). En revanche l'emploi de chercheurs par l'infrastructure n'est pas en soi un avantage, c'est un coût, sauf à démontrer qu'en l'absence de cette infrastructure, les chercheurs en cause n'auraient trouvé d'emploi (voir ['L'évaluation socio-économique des investissements publics' CGSP, 2013](#)).

Dans les avantages, essentiellement constitués des résultats des recherches permises par l'infrastructure et leur impact sur la productivité de l'économie, il faut tenir compte des conséquences potentielles à long terme, une obligation dont on mesure aisément les difficultés. Par ailleurs, cet impact dépend beaucoup du bon fonctionnement des maillons de transmission de la recherche vers l'industrie ; il est important de créer les conditions favorables au transfert et cela sans dénaturer les objectifs scientifiques premiers reliés à la création de connaissance à un niveau d'excellence. Cela peut se faire entre autres par la sensibilisation des chercheurs, par des partenariats avec des industriels, des mobilités et par des liens actifs avec des dispositifs de valorisations existants (Carnot, SATT, etc.).

¹⁶ Encore qu'on pourrait imaginer estimer la valeur collective d'un certain domaine de connaissance, de la même façon que, par exemple, on estime la valeur collective d'un paysage ou d'une nature intacte, et ce en dehors de tout usages possible des dites connaissances, ce qui serait du ressort de l'évaluation économique. On pourrait par exemple envisager des enquêtes de préférences déclarées pour estimer ce que les agents sont prêts à payer pour améliorer les connaissances dans tel ou tel domaine. Mais, en dehors des difficultés de monter de telles enquêtes, celles-ci laisseraient de côté les générations futures, par nature non consultées. Il y a dans cette valeur collective des connaissances un aspect tutélaire qui ne pourrait être décidé que par une instance supérieure spécifiant la fonction d'utilité collective.

¹⁷ Ainsi on peut penser que l'archéologie n'a guère de dimension économique, hormis l'activité issue de la visite des sites, ou des conférences et publications qui en sont issues ; en revanche des recherches sur les matériaux ont certainement des conséquences importantes en termes économiques par les progrès techniques qu'elles permettent à plus ou moins long terme. En tout cas, à l'intérieur d'une même discipline, il y a, peut-on penser, pour un secteur de recherche donné, une forte proportionnalité entre les apports à la connaissance et les effets économiques : en archéologie, un projet conduisant à un apport élevé en termes de connaissances aura probablement également un apport élevé en termes économiques. Seul le coefficient de proportionnalité change d'un secteur à l'autre : pour reprendre l'exemple cité plus haut, il sera faible pour l'archéologie, et fort pour les matériaux.

Il convient de se rappeler que l'analyse coût-bénéfice ne fournit pas une évaluation dans l'absolu mais une comparaison entre des variantes ; la variante implicite la plus fréquente est le *statu quo*, dans lequel on ne fait rien ; mais, sans parler de la comparaison éventuelle avec des projets alternatifs, il faut aussi souvent se poser la question du dimensionnement de l'ouvrage : y a-t-il intérêt à le réaliser avec une ampleur accrue ou le contraire ; il faut aussi se poser la question du calendrier : y a-t-il intérêt à avancer la réalisation ou au contraire à la reculer ?

Ces considérations sur le dosage fin du projet et de son calendrier prennent d'autant plus d'importance qu'un projet arrive rarement isolé dans un paysage vide : d'autres équipements qui rendent des services similaires existent ; quelle est leur relation avec le projet, sont-ils concurrents ou complémentaires, vont-ils pâtir l'un de l'autre ou entrer en synergie ? Comment le projet s'insère-t-il dans les éventuels plans directeurs de développement de la recherche ? On doit aussi se poser la question des conditions d'environnement dans lesquelles le projet s'insérera : quelles dispositions pour assurer une bonne transmission des résultats de la recherche dans la machine économique, pour optimiser son résultat ?

Grille d'évaluation sommaire

Coûts de construction et d'exploitation

- Coût de construction, part française dans le cas de projets internationaux (en €)
Modalités de financement, en particulier part privée éventuelle (les fonds publics ont un coût collectif supplémentaire). (en €).
- Retombées technologiques liées à la construction pour les parties où celle-ci met en œuvre des techniques de pointe et/ou nécessite des avancées technologiques transférables ultérieurement. (mesures : brevets potentiels, nombre et le niveau des agents impactés par ces avancées technologiques).
- Durant l'exploitation : Coût d'exploitation et part financée par les pouvoirs publics français (en €) ; personnel permanent employé (mesure en nombre) ; niveau de qualification (échelle des qualifications) ; possibilités de débouché pour des emplois industriels ultérieurs,
- Lors du démantèlement : date et coût prévus (en €)
- Risques concernant les coûts

Bénéfices liés à l'utilisation de l'infrastructure

- Les utilisateurs : degré d'utilisation de l'infrastructure ; nombre d'unités de recherche et nombre de chercheurs concernés, par secteur disciplinaire, secteurs interdisciplinaires et par origine ; caractère plus ou moins collaboratif du projet de recherche ; retombées attendues par secteur scientifique et secteur d'activité relié ; mesures en nombres de publications, brevets, mobilités, insertion professionnelle doctorants et post-doctorants.
- Les implantations scientifiques, de valorisation ou industrielles (start-up, sous-traitances, SATT, incubateurs...) autour du site : état existant, perspectives de développement
- Risques concernant les bénéfices

Contexte

- Les concurrence-complémentarité avec les autres IR : Impact sur les IR « voisines » : en termes de niveau d'activité et de durée de vie ? Idem si concurrence ?
- Quelles dispositions prises pour la valorisation des recherches ?
- Dimensionnement et calendrier du projet : est-il possible et opportun d'augmenter/réduire la taille du projet ; d'avancer/reculer sa date de réalisation ?

Evaluation de l'ESS

On évaluera l'ESS à l'aune de la grille précédemment définie. On notera que les informations disponibles pour l'ESS pour chacun des points de la grille d'analyse précédente ne sont pas disponibles sous forme quantifiée et encore moins sous forme monétaire, sauf pour les coûts de construction et d'exploitation ; pour beaucoup de points même, la quantification n'est pas possible, ainsi les bénéfices ne peuvent être appréciés que sous forme subjective, à travers des jugements appréciatifs de spécialistes, alors que la grille devrait comporter des nombres que ce soit en terme de chercheurs ou d'emplois mobilisés ou en termes de résultats scientifiques à travers les publications et les brevets. On va donc être réduit à une analyse coût-bénéfice simplifiée, peu monétarisée, correspondant à ce que la théorie range sous le terme d'analyse coût-efficacité. La vertu de ce type d'analyse est de pouvoir comparer des projets entre eux, et sous cet aspect la comparaison naturelle se fera entre l'ILL et l'ESS, deux infrastructures aux objectifs et champs d'utilisation similaires. Dans ce qui suit, on prendra donc comme référence fréquente le cas de l'ILL.

Coûts de construction et d'exploitation

Le coût de construction de l'ESS est évalué à 1 850 M€, avec les aléas inévitables qu'implique la construction d'un objet qui comporte de nombreux défis technologiques, mais qui semblent avoir été cernés, sinon déjà maîtrisés. La France ne participe qu'à 8 %, ce qui se conçoit en raison des contraintes budgétaires mais réduit notre place dans la prise de décision vis-à-vis de l'Allemagne (11 %) ou de l'Angleterre (10 %) ; cela est en partie compensé par la reconnaissance forte de l'expertise française jugée essentielle pour la réussite du projet. Le pourcentage élevé de fourniture in kind est une très bonne chose ; à noter que la France semble avoir fait le choix de faire ces fournitures dans les domaines où nous sommes déjà en pointe ; l'Angleterre semble avoir fait un choix différent, en plaçant ses fournitures in kind dans des domaines où elle n'aura pas d'expertise, ce qui lui permettra d'en acquérir une ; notre choix est moins hardi, et c'est peut-être dommage ; centrer ces fournitures sur les secteurs de haute technologie où nous sommes en retard, pour maximiser l'effet d'apprentissage dans l'industrie pourrait constituer un investissement accroissant notre compétitivité.

Coûts d'exploitation annuels : Ceux-ci sont évalués à 140 M€ ; le partage se fait en fonction de l'utilisation de chaque pays. La France prévoit une participation à hauteur de 8 % ce qui semble faible par rapport à la part potentielle de l'utilisation française, sachant que, actuellement, les français représentent 23 % de l'utilisation de l'ILL. Il y a un risque de perte de suprématie. Il faut en outre considérer que la communauté d'utilisateurs pourrait être élargie du fait des nouvelles recherches rendues possible par la technique de spallation, on pense par exemple à l'imagerie au bénéfice de la biologie structurale qui peut avoir des retombées pour la conception de médicaments.

Bénéfices liés au fonctionnement de l'IR : ils reviennent à la Suède ; on sait qu'ils peuvent être très importants. Dans le cas de l'ILL, il y a d'abord le multiplicateur des dépenses publiques françaises : 1 € de la France s'accompagne d'un apport, qui constitue une certaine forme de subvention de la communauté scientifique internationale d'environ 0,75 €. Ensuite il y a les dépenses induites et les emplois induits par les chercheurs étrangers : l'installation d'un emploi de haut niveau entraîne la création d'emplois induits (sous-traitance, emplois logistiques...) dans des proportions qu'on ne connaît pas bien, mais qui sont très probablement non négligeables. Enfin il y a un effet de rendements croissants lié à la taille de l'agglomération scientifique (diffusion des connaissances par contacts et proximité) ; cet effet sera probablement plus faible pour l'ESS car l'agglomération de Lund est plus réduite que celle de Grenoble (encore qu'il y a des liens avec le Danemark, l'université de Lund regroupe 24 000 étudiants et la ville 100 000 habitants contre 700 000 habitants dans l'aire urbaine de Grenoble et 22 000 chercheurs avec une interpénétration de la recherche et des entreprises), et surtout il bénéficiera en premier lieu à la Suède et non à la France.

Démantèlement : les études font état, comme précédemment signalé, d'un montant de 177 M€. A noter que le démantèlement de l'ILL envisagé à partir de 2030 est estimé à 93 M€ et prendrait 8 ans. L

Bénéfices liés à l'utilisation

Les retombées économiques des travaux de recherche réalisée par des chercheurs français à ESS ne peuvent pas être estimées avec précision sans des études approfondies que la contre-expertise ne saurait mener dans les délais impartis. Néanmoins il apparaît que les recherches qui seront menées à l'ESS sont d'un intérêt majeur pour la communauté scientifique en général et européenne en particulier : au-delà de l'intérêt général des IR, la recherche en neutrons semble spécialement intéressante sur le plan économique en raison de la variété des domaines qui peuvent l'utiliser (étalement des risques et gage de réduction du risque moyen), et de la variété des applications industrielles qui peuvent découler des recherches menées avec cet outils. Par ailleurs, la spallation est présentée comme complétant et prolongeant les méthodes par réacteur telles que celles utilisées par l'ILL ; ainsi une part du plan de charge actuelle d'ISIS est remplie par des chercheurs venant de l'ILL. Au total l'intérêt européen est clair, et le risque de sous-utilisation de l'ESS est faible. Les enjeux pour la France sont autres : on ne bénéficie pas des effets locaux (cf. plus haut) ; En l'absence d'une participation forte à ESS, il y a de fortes chances que le leadership actuel de notre pays en matière de neutron s'estompe. Ces différences de point de vue entre le point de vue européen et le point de vue français sont bien marqués par les différences d'évaluation européenne (ESS est mis en première priorité par SFRI) et française (l'avis prudent du HC-TGIR). En regrettant que nos moyens ne nous aient pas permis de garder le leadership sur les neutrons, on ne peut que s'associer à ESS : faire ESS est mieux que ne rien faire, ou que simplement upgrader ILL.

Contexte

La relation la plus évidente entre centres de recherche est celle qu'il y a entre ILL et ESS. Les deux sont ou seront des infrastructures majeures pour la science neutronique ; ils utilisent chacun des techniques qui semblent complémentaires plus que concurrentes, comme le prouve le fait que nombre de chercheurs français fréquentent les deux types d'infrastructures. Mais il n'est pas possible de prévoir sûrement les mouvements d'intérêt que la présence d'ESS va susciter, et en particulier de savoir si l'arrivée d'ESS ne va pas entraîner une diminution d'intérêt pour ILL. Il faut aussi voir qu'en termes de calendrier leur période de recouvrement est lointaine et courte. Dans l'immédiat, ILL reste l'infrastructure essentielle de la neutronique ; en outre elle va être rénovée: après Millénium d'un coût de 80 M€, le projet Endurance (60 M€) devrait lui permettre d'atteindre l'horizon 2030, date à laquelle est envisagé son démantèlement. Une stratégie possible serait de pousser la rénovation d'ILL en agissant pour faire adopter le projet Endurance et de voir autour des années de recouvrement comment se présentent les relations entre les deux infrastructures. Ces considérations donnent également à penser qu'en terme de calendrier **l'ESS doit être réalisé le plus vite possible.**

En terme d'optimisation de l'environnement de l'infrastructure, on peut escompter que le pays d'accueil, la Suède, mette en place les bonnes incitations, et on ne peut que se réjouir des efforts menés par le ministère pour faire connaître et diffuser les résultats des recherches auprès du secteur privé ; il est à souhaiter que les grands organismes de recherche en fassent autant.

Comment améliorer la rentabilité pour la France ? Il convient d'abord, comme cela a été souligné plusieurs fois, d'augmenter notre participation à l'usage pour amortir notre participation à la construction et maintenir le plus possible notre leadership ; il convient aussi de développer les coopérations avec l'industrie privée pour maximiser les retombées pour l'économie nationale ; l'analyse des documents disponibles pour LLB et ILL ne permettent pas de faire d'extrapolations car ils ne comportent pas de données relatives aux brevets et licences. Néanmoins, l'évaluation du laboratoire Léon Brillouin (LLB) publiée en janvier 2014 par l'AERES souligne que les projets avec des industriels ne concernent qu'un nombre limité de chercheurs et que ces activités peuvent être développées. Le projet ESS concernant la même communauté scientifique une attention devra être prêtée à créer des conditions plus favorables pour la valorisation de ses travaux de recherche.

Conclusions et recommandations

La réalisation de l'ESS est une opération rentable au niveau français et européen et encore plus au niveau suédois. Notre participation au projet est justifiée, et il convient que le projet soit réalisé sans tarder. Pour assurer la participation la plus efficace, la France doit faire partie des membres fondateurs de l'ERIC-ESS pour laquelle la demande doit être déposée avant la mi-novembre 2014.

L'option retenue d'une participation faible au coût de construction est défendable compte-tenu des contraintes budgétaires, mais elle met en péril le leadership actuel de notre pays en matière de neutrons. Dans la phase d'utilisation il faudrait augmenter notre participation pour que nos chercheurs puissent utiliser à un taux supérieur aux 8 % actuels la nouvelle infrastructure. Cette possibilité est offerte du fait de la participation décroissante des deux pays hôtes. La définition du taux de participation devra être basée sur une estimation objectivée des besoins.

Bien que l'outil soit dédié principalement à la recherche fondamentale il faudra créer un environnement favorable au transfert de connaissances et permettre de saisir les opportunités d'innovation qui peuvent se traduire en création d'emplois. La mise en place d'un équivalent d'un ingénieur de liaison pour examiner les opportunités créées par les projets pourrait être envisagé, le transfert proprement dit étant réalisé au travers des dispositifs existants.

Pour amortir pleinement l'investissement national dans cet outil, la contre-expertise recommande une plus grande sensibilisation et ouverture aux sciences biologiques et autres domaines scientifiques. Une attention particulière devra également être prêtée à la diffusion des connaissances issues des recherches menées à l'ESS par les biais des enseignements dispensés au niveau des formations de master et d'ingénieur par l'association d'enseignants chercheurs à même d'assurer ce relais.

Enfin sur le plan méthodologique, il serait souhaitable que des études *ex post* soient menées sur les impacts socio-économiques des infrastructures de recherche, à l'image de ce qui a été fait pour le CERN, mais en englobant dans l'étude, non seulement les conséquences de la réalisation, mais aussi celles issues des résultats des recherches menées grâce à l'infrastructure. De ces études *ex post*, qui serait déjà en elles-mêmes pleines de fruit, il serait possible d'améliorer les méthodes *ex ante* d'évaluation des projets et d'établir les bases de données nécessaires à ces évaluations. Il serait également souhaitable que soient entrepris des relevés de bonnes pratiques, tant françaises qu'étrangères, permettant de mieux valoriser les résultats des recherches et de les traduire plus rapidement en amélioration de la compétitivité de notre pays.

Il est souhaitable de mettre en place dès à présent les modalités de l'évaluation des retombées de la participation française à l'ESS, que ce soit au niveau de l'acquisition des connaissances scientifiques dans l'ensemble des domaines de recherche pour les utilisateurs actuels et futurs ou pour les retombées économiques directes et indirectes, ou encore en termes d'employabilité des docteurs. Cela permettra d'avoir des mesures le plus objectives possibles par le recueil des données dès l'initiation du projet, et permettra des ajustements en fonction des observations là où cela s'avèrera nécessaire.