

N° 302

# SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2012-2013

---

---

Enregistré à la Présidence du Sénat le 29 janvier 2013

## RAPPORT

FAIT

*au nom de la commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées (1)*  
*sur le projet de loi autorisant la ratification de la **convention** relative à la **construction***  
*et à l'**exploitation** d'un **laser européen à électrons libres** dans le domaine des **rayons***  
**X,**

Par M. Xavier PINTAT,

Sénateur

---

(1) Cette commission est composée de : M. Jean-Louis Carrère, *président* ; MM. Christian Cambon, Jean-Pierre Chevènement, Robert del Picchia, Mme Josette Durrieu, MM. Jacques Gautier, Robert Hue, Jean-Claude Peyronnet, Xavier Pintat, Yves Pozzo di Borgo, Daniel Reiner, *vice-présidents* ; Mmes Leïla Aïchi, Joëlle Garriaud-Maylam, MM. Gilbert Roger, André Trillard, *secrétaires* ; M. Pierre André, Mme Kalliopi Ango Ela, MM. Bertrand Auban, Jean-Michel Baylet, René Beaumont, Pierre Bernard-Reymond, Jacques Berthou, Jean Besson, Jean-Marie Bockel, Michel Boutant, Jean-Pierre Cantegrit, Luc Carvounas, Pierre Charon, Marcel-Pierre Cléach, Raymond Couderc, Jean-Pierre Demerliat, Mme Michelle Demessine, MM. André Dulait, Hubert Falco, Jean-Paul Fournier, Pierre Frogier, Jacques Gillot, Mme Nathalie Goulet, MM. Alain Gournac, Jean-Noël Guérini, Joël Guerriau, Gérard Larcher, Robert Laufoaulu, Jeanny Lorgeoux, Rachel Mazuir, Christian Namy, Alain Néri, Jean-Marc Pastor, Philippe Paul, Bernard Piras, Christian Poncelet, Roland Povinelli, Jean-Pierre Raffarin, Jean-Claude Requier, Richard Tuheiyava, André Vallini, Paul Vergès.

Voir le(s) numéro(s) :

Sénat : 527 (2011-2012) et 303 (2012-2013)



## SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
<b>INTRODUCTION</b> .....	5
<b>I. LE PROJET XFEL</b> .....	7
1. <i>Description, enjeux scientifiques et objectifs</i> .....	7
2. <i>Classification, dates et chiffres clés</i> .....	8
3. <i>Investissements présents et programmés</i> .....	9
<b>II. LE TEXTE SOUMIS A VOTRE EXAMEN</b> .....	10
1. <i>Le cadre politique et économique</i> .....	10
2. <i>Le cadre juridique</i> .....	10
3. <i>Les accords de même type déjà signés par la France</i> .....	11
4. <i>Les spécificités de la convention</i> .....	11
<b>CONCLUSION</b> .....	13
<b>EXAMEN EN COMMISSION</b> .....	15



Mesdames, Messieurs,

Le projet de loi soumis à votre examen demande l'approbation d'une convention signée le 30 novembre 2009 à Hambourg dont l'objet est de fixer les conditions de construction et d'exploitation en commun par plusieurs Etats européens, actuellement au nombre de douze, d'une grande installation de recherche scientifique : le laser européen à électrons libres, le XFEL (*X Ray Free Electron Laser*).

Les lasers à électrons libres (FEL) créent une lumière considérablement plus puissante et plus précise que toutes les autres sortes de lasers, grâce à un effet d'auto amplification ou effet SASE (*self amplifying spontaneous emission*).

En outre, cette lumière peut être ajustée dans une gamme très large, allant de la lumière infrarouge aux rayons « X-durs ». Pour cette raison, ils ouvrent un vaste domaine d'expérimentation et de recherche dans plusieurs disciplines. Ils constituent une porte d'accès au monde de l'infiniment petit et de l'infiniment rapide.

Ces lasers ont été imaginés en 1971 par le physicien américain John M.J. Made qui mettra en œuvre le premier laser en 1997 à l'université de Stanford. La première démonstration expérimentale de l'effet SASE caractéristique des lasers à électrons libres a été effectuée en 2003, par la machine TESLA au sein du centre allemand DESY à Hambourg. Cette installation, rebaptisée FLASH (*Free Electron LAsEr Hamburg*), est maintenant utilisée à la fois comme un démonstrateur technologique et comme une installation de production.

Des lasers à électrons libres sont en développement aux USA et au Japon en utilisant des accélérateurs linéaires (LINAC) existants. Le projet des Etats-Unis, *Linac Cohérent Light Source* (LCLS) à l'Université Stanford est basé sur le Linac SLAC. Son exploitation a commencé en 2009. Le projet japonais, *SPring-8 Compact SASE Source* (SCSS) a produit ses premiers photons en 2011.

Le projet européen XFEL entrera en fonctionnement en 2013, sur le site DESY à Hambourg.



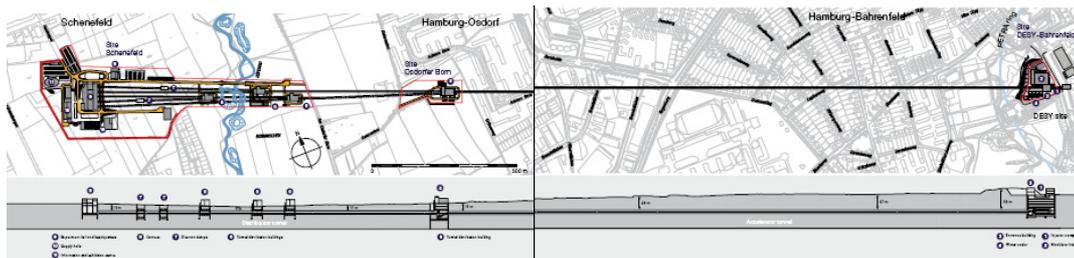
## I. LE PROJET XFEL

### 1. Description, enjeux scientifiques et objectifs

La phase préparatoire de XFEL a démarré fin 2007 pour conduire à la construction d'une nouvelle installation organisée comme une société à responsabilité limitée de droit allemand (European XFEL GmbH) selon les termes établis par une convention intergouvernementale signée par le Danemark, la France, l'Allemagne, la Grèce, la Hongrie, l'Italie, la Pologne, la Russie, la Slovaquie, la Suède et la Suisse. La France est à ce jour observateur au Conseil, dans l'attente de l'autorisation de ratification par le Parlement.

La construction des bâtiments (Hambourg) a commencé en début 2009 et le forage des tunnels en juillet 2010. La mise en service est prévue pour fin 2015, début 2016 (début des premiers essais).

Les installations du XFEL, d'une longueur de 3,4 km, s'étendront du Land de Hambourg jusqu'au Land voisin de Schleswig-Holstein où seront construites les installations d'expérimentation. Elles entrent dans la catégorie des très grandes infrastructures de recherche (TGIR).



Source : rapport annuel XFEL 2011

L'objectif est de produire des impulsions extrêmement brillantes de rayons X transversalement cohérents avec des longueurs d'onde très courtes et de les exploiter pour des expériences scientifiques nouvelles dans de nombreuses disciplines. Cette source de photons produits sur large gamme d'énergie (300 électronvolt à 12 400 électronvolt) aura une brillance supérieure de dix ordres de grandeur par rapport à celle du rayonnement synchrotron et une durée d'impulsion inférieure à 100 femtosecondes (fs)<sup>1</sup>.

Le principe de fonctionnement d'XFEL est basé sur un accélérateur linéaire supraconducteur d'une longueur de 2 km (dans un tunnel de 3.4 km) qui confère une énergie de 17,5 giga-électronvolt (GeV) à des paquets d'électrons, technologie déjà développée sur le site DESY en Allemagne. Ces électrons en traversant des onduleurs généreront des bouffées de rayons X cohérents grâce au phénomène SASE.

<sup>1</sup> Une impulsion femtoseconde ou ultra-brève est une oscillation sinusoïdale propagative du champ électromagnétique (de fréquence éventuellement variable dans le temps), modulée en amplitude par une enveloppe dont la durée caractéristique est petite devant 1 picoseconde (1 picoseconde = 1 ps = 10<sup>-12</sup> secondes)

Technologiquement, le projet XFEL devrait avoir des performances supérieures à celles du LCLS américain ou du SCSS japonais. Il intégrera en effet les avancées technologiques acquises de l'expérience des autres machines et en particulier du FLASH allemand. Il a par ailleurs été prévu dès l'origine qu'il utiliserait les technologies plus performantes de la supraconductivité.

Ces flashes permettront des expériences inédites : comme la visualisation directe des mouvements atomiques et les analyses temporelles, l'imagerie de particules individuelles et la détermination de la structure de macromolécules.

Cela permettra, notamment, d'explorer très finement, avec le même outil, les caractéristiques de la matière inerte ou vivante dans ses différentes phases (diluée ou solide), en surface ou à l'intérieur du volume, en deux ou trois dimensions (imagerie...), dans des conditions de laboratoire, proches de celles que l'on retrouve en nature, y compris sous conditions extrêmes (biologie in vivo, matériaux sous très forte pression et/ou température, ...).

## 2. Classification, dates et chiffres clés

<p><b>Statuts</b></p> <p><b>European XFEL GmbH,</b></p> <p>société à responsabilité limitée de droit allemand.</p>	<p><b>Partenariat 12 pays :</b> convention intergouvernementale entre l'Allemagne et 11 pays dont Danemark, France, Grèce, Hongrie, Italie, Pologne, Russie, Slovaquie, Espagne, Suède et Suisse</p> <p><b>Organismes opérateurs :</b> le CEA (50%) et le CNRS (50%), en attente de l'autorisation de ratification par le Parlement sont observateurs.</p>
<p><b>Finalité</b></p> <p>TGIR de service monosite</p>	<p><b>Dates clés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- septembre 2009 : création de la GmbH</li> <li>- nov 2009 : signature de l'accord international</li> <li>- 2009 : début de construction des bâtiments</li> <li>- juillet 2010 : forage du tunnel</li> <li>- juin 2012 : fin du forage</li> </ul> <p><b>Jalons clés :</b></p> <p>fin 2015 tests 1<sup>er</sup> faisceaux</p>
<p><b>Avancement</b></p> <p>En construction</p> <p><b>Institut pilote :</b></p> <p>CNRS/IN2P3</p> <p>CEA/IRFU</p>	<p><b>chiffres clés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• coût de construction. 1,148Md€ (valeur 2005), dont 40 M€ en nature pour la France en valeur juillet 2009</li> <li>• coût complet d'exploitation annuel : 80M€ (conditions 2005). 2% de participation française (cf Final Act)</li> </ul>

<p><b>Mots clés et communauté scientifique.</b></p> <p>Physique, chimie, science des matériaux, biologie,</p>	<p><b>Autres chiffres clés :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• personnels de la TGIR : (<i>construction en cours</i>)</li> <li>• utilisateurs : (<i>construction en cours</i>)</li> <li>• publications/an : (<i>construction en cours</i>)</li> </ul>
<p><b>Localisation :</b> Hambourg (Allemagne)</p>	
<p><b>Page web :</b> <a href="http://www.xfel.eu/">http://www.xfel.eu/</a></p>	

Source : CEA

### 3. Investissements présents et programmés

Les opérateurs français, le CEA et le CNRS, seront actionnaires à parts égales à la ratification.

Les coûts de construction (l'investissement, le personnel et la mise en service) ont été ré-estimés en 2012 à 1,147 milliard d'euros (aux conditions économiques 2005).

La France s'est engagée à fournir, pour la construction, 40 millions d'euros de contribution en nature aux conditions économiques 2009. Il est intégralement apporté en nature, moitié par le CEA, moitié par le CNRS. Les contrats correspondants seront signés une fois la Convention ratifiée. Ils concerneront, pour le CNRS, l'ensemble des coupleurs (c'est-à-dire l'équipement qui permet de transférer l'énergie extérieurement fournie à l'intérieur de l'enceinte accélérant le faisceau), et, pour le CEA, le montage et l'intégration des ensembles accélérant le faisceau.

Au terme de cette phase, la participation au fonctionnement sera limitée à 2 % selon les modalités suivantes :

<p>Construction 2009 – 2015</p>	<p>CEA : 20 M€</p>	<p>CNRS : 20 M€</p>
<p>Fonctionnement</p>	<p>2% de 83,6 M€ (conditions économiques 2005)</p> <p>NB : une nouvelle estimation des coûts de fonctionnement effectuée en 2012 donne une valeur de 103,3 M€ (valeur 2012).</p>	

Source : CEA

En tant que pays hôte, l'Allemagne couvre 54 % des coûts de construction.

La Russie participe à 23 %, le reste se partage sur les autres membres, entre 1 % et 3,5 % chacun.

## **II. LE TEXTE SOUMIS A VOTRE EXAMEN**

### **1. Le cadre politique et économique**

Pour la France, la participation à ce projet ouvrira, à un coût modeste, à nos chercheurs, un accès à un instrument sans équivalent en Europe. Les chercheurs français intéressés à ces différents domaines relèvent pour l'essentiel du CNRS et du CEA, mais il est probable que les projets seront portés par des équipes multidisciplinaires et multinationales.

L'Allemagne peut espérer des bénéfices voisins de ceux attendus par la France. Ces bénéfices seront bien entendus plus importants dans tous les domaines dans lesquels son statut d'Etat hôte lui donne un avantage : contrats de faible ou moyenne importance passés sur le marché local, recrutement de personnels et cadres moyens, notamment dans le domaine administratif.

### **2. Le cadre juridique**

S'agissant du cadre juridique, la convention prévoit que l'installation XFEL est gérée par une société à responsabilité limitée à but non lucratif de droit allemand avec des associés internationaux et dont les statuts constituent l'annexe de la convention (**article 1<sup>er</sup>**). Les associés français de cette société, qui agiront pour le compte de l'État, seront deux grands organismes publics de recherche, le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et le Commissariat à l'énergie atomique (CEA). La société est dirigée par un conseil, regroupant la totalité des associés, et un comité de direction (**article 3**).

La construction de l'installation se déroulera en deux phases mais le coût total ne pourra excéder 1 082 millions d'euros valeur 2005, y compris les coûts liés à la mise en service (**article 4**). L'Allemagne, outre la mise à disposition gratuite des terrains nécessaires, apporte 580 millions d'euros, la France contribuera à hauteur de 36 millions d'euros sous la forme exclusive de contributions en nature (**article 5**).

La répartition des coûts d'exploitation entre les associés sera adoptée par le conseil de la société dans les trois ans suivant le début de la construction, en tenant compte de l'utilisation effective de l'installation par les

communautés scientifiques des différents Gouvernements signataires (**article 6**).

### **3. Les accords de même type déjà signés par la France**

La Convention XFEL a été négociée en même temps que la Convention « FAIR », actuellement soumise au Parlement, et qui concerne la recherche sur les ions et les antiprotons. La Convention FAIR, qui intéresse aussi une infrastructure établie en Allemagne, est construite sur le même modèle juridique : convention intergouvernementale et société à responsabilité limitée à but non lucratif de droit allemand.

D'autres textes plus anciens concernant des équipements scientifiques construits en France (*European Synchrotron Radiation Facility* - ESRF et *Institut Laue-Langevin* -ILL à Grenoble), sont d'un modèle très voisin : convention intergouvernementale et société civile de droit français.

### **4. Les spécificités de la convention**

Il s'agit d'un texte très classique en matière de très grandes infrastructures scientifiques de recherche, sans originalité particulière en ce qui concerne son architecture juridique.

On notera toutefois que les textes légaux reconnaissent une minorité de blocage à la Fédération de Russie pour les décisions à prendre à la majorité qualifiée, qui s'explique par le montant élevé de sa contribution à la construction de XFEL : 250 millions d'euros – aux conditions 2005 - à comparer aux 580 millions d'euros apportés par la République fédérale d'Allemagne et aux 36 millions d'euros français, la France étant le troisième contributeur financier au projet.



## **CONCLUSION**

**Le projet soumis à votre approbation œuvre dans l'intérêt de notre pays et en particulier de notre communauté scientifique. Il renforce la coopération européenne.**

**Votre rapporteur vous recommande donc sans hésitation de l'adopter et de procéder à son examen sous forme simplifiée en séance publique.**



## **EXAMEN EN COMMISSION**

Réunie le 29 janvier 2013 sous la présidence de M. Jean-Louis Carrère, la commission des affaires étrangères, de la défense et des forces armées du Sénat a procédé à l'examen du présent projet de loi.

La commission a adopté le projet de loi et a proposé son examen sous forme simplifiée en séance publique.