

## La source Compton ThomX

Dans un format éventuellement libre – mais pourquoi pas s'en tenir à la table des matières proposée? – ce document devra ABSOLUMENT contenir les informations suivantes. Il fera MAXIMUM 20 pages, mais des renvois vers des documents externes (lettres d'intention, design reports, sites webs, etc.) permettront si besoin d'approfondir.

### Résumé

ThomX est une source de rayon X basée sur l'interaction Compton qui sera capable de délivrer des photons d'une énergie variable entre 45 et 90 keV, avec un flux maximal de  $10^{13}$  ph/s. Le CDR [CDR] donne le contexte scientifique, le positionnement de ThomX, et le TDR [TDR] de ThomX donne la description de la machine à travers les choix techniques qui ont été faits.

#### 1. Enjeux scientifiques

Quelle question scientifique le projet adresse-t-il ? Avant le projet lui-même, où en est la science dans le domaine concerné ? Comment en est-elle arrivée là ?

Cf CDR

#### 2. Projet

En quoi consiste exactement le projet, et comment il répond aux enjeux susmentionnés ? Quelles sont les productions scientifiques attendues (publications, brevets, thèses, réalisations, etc.) ?

Cf TDR

#### 3. Genèse et calendrier

Comment / quand le projet est-il né ? Quelles sont les étapes franchies / à franchir ? Au niveau global (si applicable), mais surtout à l'IN2P3. Le cas échéant, rappeler d'éventuels passages devant des conseils scientifiques (IN2P3, labo, comité d'expériences, etc.) et leur conclusion. Quelles sont les productions scientifiques passées (publications, brevets, thèses, réalisations, etc.) ?

Publications de ThomX :

in2p3-00635646v1 Communication dans un congrès

A. Variola. The ThomX Project

2nd International Particle Accelerator Conference (IPAC'11), Sep 2011, San Sebastian, Spain. Joint Accelerator Conferences Website, WEOAA01, pp.1903-1905, 2011

in2p3-00971281v1 Rapport

A. Variola, J. Haissinski, A. Loulergue, F. Zomer, (eds ). ThomX Technical Design Report 2014, 164 p

in2p3-00822949v1 Communication dans un congrès

I.V. Drebot, C. Bruni, N. Delerue, T. Demma, A. Variola et al.

Simulations and Studies of Electron Beam Dynamics under Compton Back-scattering for the

Compact X-ray Source ThomX

IPAC 13 - The 4th International Particle Accelerator Conference, May 2013, Shanghai, China. Joint Accelerator Conferences Website, pp.888-890, 2013

in2p3-00635611v1 Communication dans un congrès

C. Bruni, J. Haissinski, A. Loulergue, R. Nagaoka.

Electron Beam Dynamics in the 50 MeV ThomX Compact Storage Ring

2nd International Particle Accelerator Conference (IPAC'11), Sep 2011, San Sebastian, Spain. Joint Accelerator Conferences Website, MOPS050, pp.715-717, 2011

in2p3-01192845v1 Communication dans un congrès

H. Monard. ThomX : un démonstrateur d'une source Compton compacte de

rayonnement X , XXIIIe Congrès général de la Société française de Physique, Aug 2015, Strasbourg, France

in2p3-00823312v1 Communication dans un congrès

M. El Khaldi, I.V. Drebot, P. Lepercq, R. Marie, B. Mercier et al.

Simulations and RF Measurements of the Fundamental and Higher Order Modes of the ThomX 500 MHz Cavity

IPAC 13 - 4th International Particle Accelerator Conference, May 2013, Shanghai, China. Joint Accelerator Conferences Website, pp.2711-2713, 2013

in2p3-00448278v1 Rapport

C. Bruni, R. Chiche, R. Cizeron, Y. Fedala, J. Haissinski et al. ThomX - Conceptual Design Report 2009, pp.1-136

in2p3-00450372v1 Communication dans un congrès

C. Bruni, F. Couchot, Y. Fedala, J. Haissinski, M. Lacroix et al. The RADIOTHOMX project Particle Accelerator Conference (EPAC08), Jun 2008, Genoa, Italy. pp.1785-1787, 2008

in2p3-01206183v1 Communication dans un congrès

Mohamed El Khaldi, Luca Garolfi.

RF DESIGN OF A HIGH GRADIENT S-BAND TRAVELLING WAVE ACCELERATING STRUCTURE FOR THOMX LINAC

IPAC'15, the sixth International Particle Accelerator Conference,, May 2015, Richmond, United States. Proceedings of IPAC2015, Richmond, VA, USA, 2015

Communication dans magazine  
ThomX an X ray compact source demonstrator  
H Monard, Innovation Magazine, April 2016

Thèse :

tel-00920424v1

Illya Drebot. Electron beam dynamics with and without Compton back scattering  
Other [cond-mat.other]. Université Paris Sud - Paris XI, 2013.

Thèse en court :

Alexis Gamelin, « effets collectifs dans l'anneau », direction C. Bruni.

X Liu, « optimisation cavité Fabry-pérot »

#### 4. État de l'art

Comment se positionne le projet vis-à-vis de l'éventuelle concurrence (nationale, européenne et internationale) en termes de calendrier et de performances ?

ThomX est bien placé parmi tous les projets équivalents dans le monde.(voir CDR). Sur les anneaux de stockage, à part Lyncean [lyncean], ThomX est le projet le plus en avance en termes de réalisation. Lyncean est opérationnel depuis 2006. De plus, une version de Lyncean a été vendue en 2012 à l'Université de Munich [munich].

De son côté ThomX devrait être installé et qualifié en 2017, avec un premier faisceau de rayons X prévu en 2018. Une version industrielle de ThomX pourrait voir le jour. Des actions dans ce sens ont lieu : travail avec Thales partenaire du consortium, demande d'étude de marché à la SATT de Paris-Saclay.

	ThomX	Lyncean
Fréquence	Bande S (3 GHz)	Bande X (12 GHz)
Flux max	$10^{13}$ ph/s	$10^{10}$ ph/s
Brillance	$10^{12}$	$10^{10}$
Energie RX	45 à 90 keV	10 à 35 keV
F répétition	16.7 MHz	65 MHz
Circonférence anneau	18 m	4.6 m
1 <sup>er</sup> faisceau	2018 ?	2006
Vente 1 <sup>e</sup> exemplaire	?	2012

Tableau de comparaison ThomX, Lyncean

#### 5. Ressources et moyens

Quelles sont les ressources techniques et humaines disponibles pour le projet, et leur évolution temporelle passée (si applicable) et envisagée ? Pour un projet collaboratif, indiquer quelle fraction l'IN2P3 représente, en termes humains et financiers.

**Ressources humaines :** Lister les laboratoires impliqués à l'IN2P3, avec pour chacun, le nombre de physiciens permanents / non-permanents / ingénieurs impliqués, ainsi que l'équivalent FTE. Donner les noms, au moins des permanents, ainsi que la fraction de chacun dédiée au projet.

**Ressources financières :** Combien coûte le projet, globalement et à l'IN2P3 ? Quel budget est disponible ? Préciser les montants et les sources, ainsi que leur évolution temporelle. Un tableau année par année peut être judicieux.

Le projet est financé en grande partie par l'Equipex (10 M€) , mais aussi par un Sesame, et une participation directe de l'in2p3.

Voici le tableau du budget global de ThomX présenté au dernier comité de pilotage d'octobre 2015 :

	Demande initiale	ATtrib	ESTim (MAJ)	ESTim-ATtrib	DEP	DEP-EST
EQ LINAC	2496890	2371310,0	1970108,7	401201,3	502894,5	1467214,2
EQ RING and TRANSFER LINE	3120842	3041776,8	4024099,2	-982322,4	2705024,4	1319074,8
EQ OPTICAL SYSTEMS (laser + FP cav)	826436	797036,0	910755,1	-113719,1	552548,7	358206,4
EQ X ANALYSIS LINE	1492608	1343347,2	1495756,5	-152409,3	275651,0	1220105,5
EQ SECURITY AND RADIOPROTECTION SYSTEM	239200	239200,0	300000,0	-60800,0	0,0	300000,0
EQ SPARES	418600	320000,0	200000,0	120000,0	0,0	200000,0
EQ INDUSTRIALISATION SYSTEMS	3588800	1216200,0	1216200,0	0,0	0,0	1216200,0
PERS	272100	272100,0	252204,0	19896,0	252204,0	0,0
Autres (consommables, petits matériels)	456000	399030,0	583717,6	-184687,6	236627,0	347090,6
Travel and others	80000	0,0	181809,7	-181809,7	126327,7	55482,1
Undissociated (SESAME&In2p3)	0	0	0	1300000	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>12991476</b>	<b>10000000</b>	<b>11134650,8</b>	<b>165349,2</b>	<b>4651277,3</b>	<b>6483373,52</b>

La part de l'in2p3 se cache dans « travel and others ». Les versements de l'in2p3 s'élève à 675 k€ depuis 2010, en moyenne 100 k€/an. Ces versements contribuent comme fond de roulement. Sur cette ligne sont dépensés tous les items qui ne sont pas éligibles à l'Equipex : missions, formations, ... et pour contrebalancer la coupe budgétaire initiale, afin de maintenir ThomX dans un état de machine à l'état de l'art.

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
montant	75	200	100	100	100	100	115

Tableau de la participation de l'in2p3 à ThomX

Le fonctionnement de ThomX est estimé à 250 k€/an. Il faudra prévoir celui-ci après l'arrêt de l'Equipex en 2019.

### Ressources humaines

Voici le tableau des partenaires de ThomX et leur rôle respectif :

Nom	contribution
Thales TED (Vélizy)	Industrialisation
Synchrotron SOLEIL (Gif)	anneau, aimants, source RF, ...

Institut NEEL (Grenoble)	ligne X (design, installation)
ESRF (Grenoble)	Ligne X (design, utilisation médicale)
LAMS (Paris)	Ligne X utilisation (analyse patrimoine)
GIN(Grenoble Institut Neuroscience)	Ligne X (utilisation médicale)
CELIA (Talence)	Laser interaction
LAL (Orsay)	Management, linac, intégration, bâtiment, ...

Les efforts consentis et prévus en termes d'homme.mois sont les suivants

partenaire	Phase 1			Phase 2		
	prévu	réel	réel/prévu	prévu	réel	réel/prévu
LAL	894,6	1169,9	1,3	344		
SOLEIL	160	182	1,1	32		
CELIA	16	14	0,9	8		
Neel	25	36	1,4	16		
LAMS	15	0		65		
ESRF	1,5	0		4,2		
Inserm	4	0		4,2		
THALES	10	1	0,1			

La phase 1 concerne la période 2011-2016, pour les études, les passages de marchés, les suivis, les premiers tests de réception de matériel, ...

La phase 2 concerne la mise en service des dépendances, le commissioning, le support au fonctionnement. Cette phase devrait démarrer en 2017.

Le rapport réel sur prévu est globalement  $> 1$ , dans la phase 1. La phase du commissioning sera très motivante pour les équipes.

## 6. Réalisations techniques

Quelles réalisations techniques sont envisagées, et comment seront-elles réalisées (interne, sous-traitance...) ? Préciser ici les besoins en personnel technique. Si des équipements spécifiques doivent être acquis, préciser leurs potentielles utilisations futures.

Les réalisations techniques autour de ThomX sont faites en interne (canon RF par exemple) et en sous-traitance.

Les réalisations les plus pointues concernent la cavité Fabry-Pérot, qui permet un gain du nombre de photons remarquables (10000). Les développements faits ici pourraient intéresser le projet CAMPUS.

Les besoins en personnel technique concernent deux postes : les opérateurs qui seraient dédiés à ThomX (mais aussi pour les futurs projets) une grande partie de leur temps, et des câbleurs qualifiés pour l'installation.

Le pilotage de ThomX pendant le commissioning se fera par le personnel du Depacc et avec la contribution de certains partenaires (Soleil, Institut NEEL). Un passage de témoin est organisé à cette fin. Ce passage de témoin concerne aussi la ligne de transport des rayons X. Cependant, à termes, pour la phase d'exploitation, il faut prévoir des opérateurs dont un bon pourcentage de leur temps serait dédié au pilotage, le reste au développement. Ses postes d'opérateurs pourraient être mutualisés avec les autres projets du Depacc comme Phil, et PRAE. Phil peut alors servir de centre de formation des opérateurs.

## **7. Auto-analyse SWOT (facultative)**

Quelles sont les forces, faiblesses, opportunités et menaces qui pèsent sur le projet.

Forces :

- projet innovant et motivant pour les équipes
- partenaires compétents,
- bon financement,
- CPER obtenu pour le bâtiment
- Bon soutien au LAL, à l'in2p3

Faiblesses :

- occupation des partenaires sur des projets prioritaires autres que ThomX,
- quid après 2019 date d'arrêt du financement de l'Equipex ? Fonctionnement à prévoir en termes de budget, de personnel

Opportunités :

- valorisation, industrialisation,
- acquisition savoir-faire au LAL

Menaces et risques :

- retard livraison bâtiment,
- retards livraisons fournisseurs,
- retard techniques divers,
- passage relais partenaires -> LAL non effectif.

## Références

[CDR] Conceptual Design Report, HALid : in2p3-00448278

[TDR] Conceptual Design Report, HALid : in2p3-00448278

[Lyncean] <http://www.lynceantech.com/>

[munich] [http://www.eurekalert.org/pub\\_releases/2012-12/lti-lti121312.php](http://www.eurekalert.org/pub_releases/2012-12/lti-lti121312.php)

[compton] AH Compton, Phys. Rev. 21, 483 (1923)

[limburn] RH Milburn, Phys . Rev. Lett. 10, 75 (1963)

[ladon] L. Casano, et al. Laser and unconv. Optics journ, 55 (1974)