

ThomX

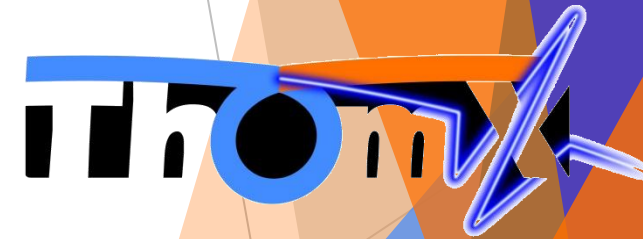
compact X ray source demonstrator

Status

MAC 20/03/2017

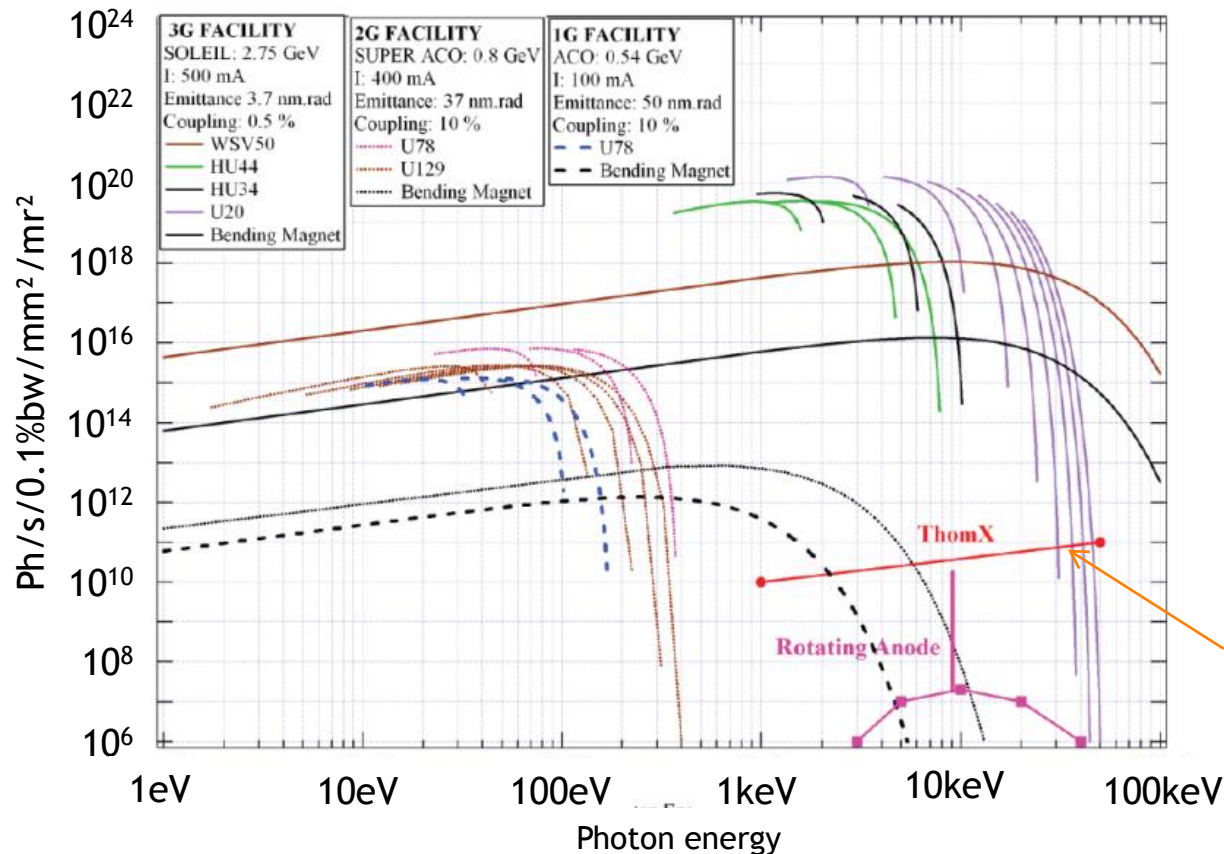
Hugues MONARD, Head of project

CNRS/In2p3/LAL



THOMX is a demonstrator for a X ray source using backward Compton interaction

- ▶ Demonstrator high flux X ray Source, « compact » affordable for museums, hospital complex,...



▶ Synchrotron flux > ThomX but
Not so bad 10^{13} ph/s

- ▶ Source size small
- ▶ « affordable cost »
- ▶ Continuous Tunable x ray

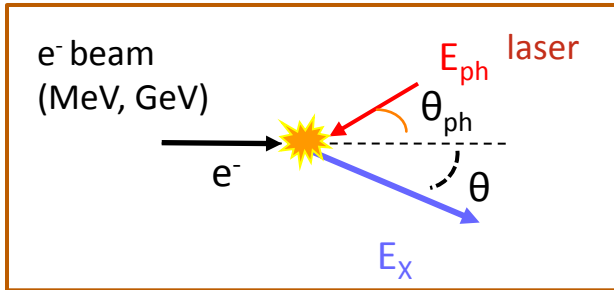
Flux $\sim 10^{12} - 10^{13}$ ph/sec

Brightness $\sim 10^{11}$ ph/sec/mm²/mrad²/0.1%bw

- ▶ users : cultural heritage, bio-medical, cristallography, therapy, X ray imaging

Compton interaction

▶ electron-photon Interaction

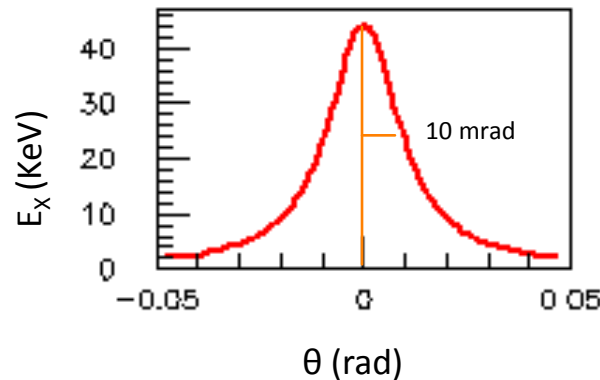


$$\text{Flux} \sim \frac{\sigma_{\text{compt}} N_e N_{ph} f_{\text{rep}}}{2\pi (\sigma_e + \sigma_\gamma)}$$

Weak cross section $\sim 6.6 \cdot 10^{-25} \text{ cm}^2$

E_{ph} : initial photon energy
 E_x : scattered photon energy

$$E_x \sim \frac{2 \gamma^2 E_{ph} [1 - \cos(\theta_{ph})]}{1 + (\gamma\theta)^2}$$



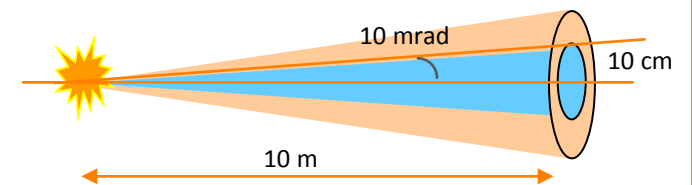
$E_e = 50 \text{ MeV}$
 $\gamma = 100$
 $E_{ph} = 1 \text{ eV}$
 $\theta_{ph} \ll 1$

$E_x = 45 \text{ keV}$

$E_e = 70 \text{ MeV}$
 $\gamma = 140$

$E_x = 90 \text{ keV}$

RX source geometry



For high flux :

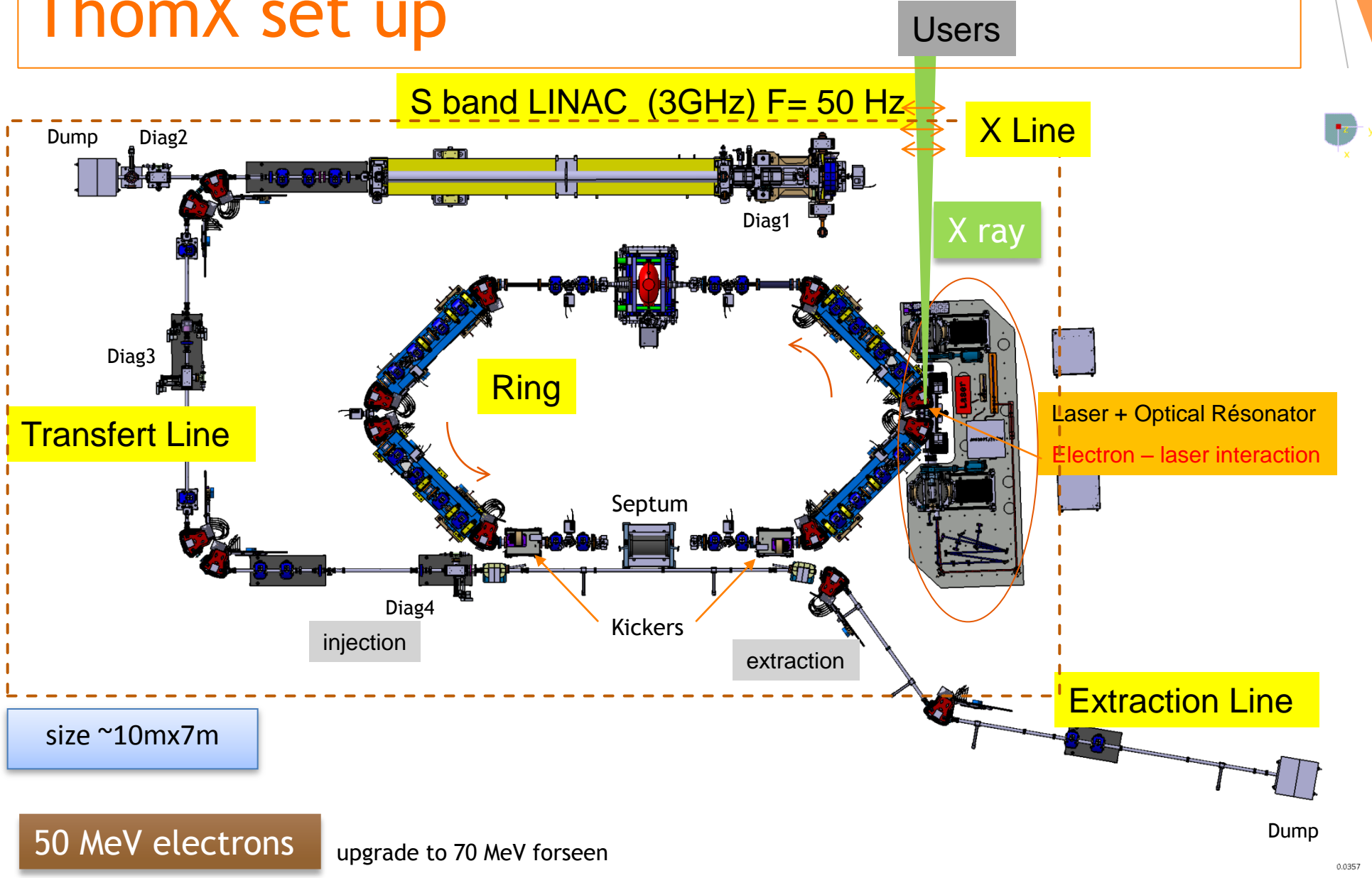
- ➔ large N_e et N_{ph} : high charge/pulse + high mean laser energy
- ➔ focusing beam both beams and keep alignment

ThomX set up

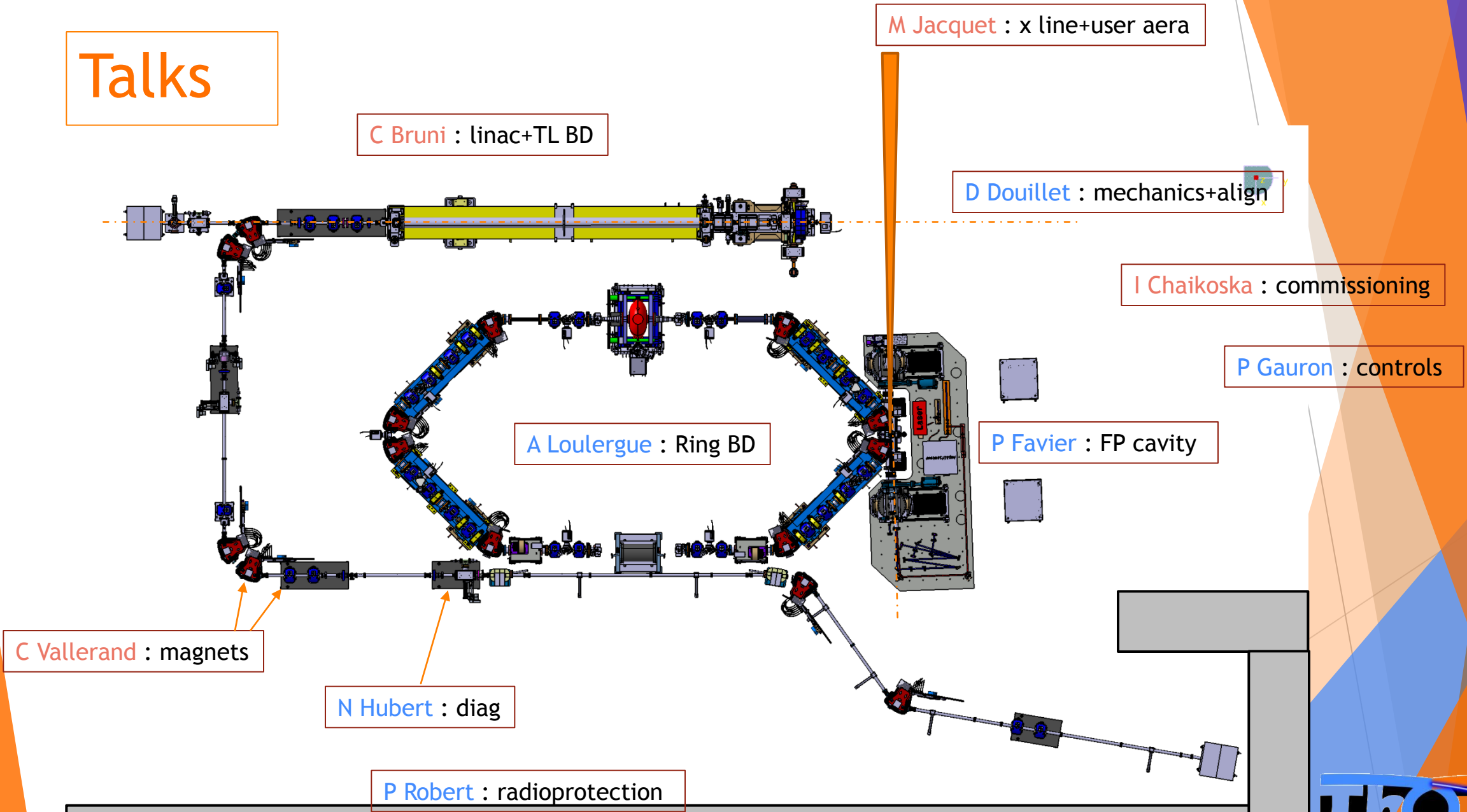
LINAC + RING

- ▶ electrons accelerator
- ▶ linear accelerator (linac) + ring
linac = photoinjector + accelerating section
- ▶ Interaction Laser
- ▶ High mean power + FP cavity
- ▶ X ray transport line
- ▶ Users experimental area

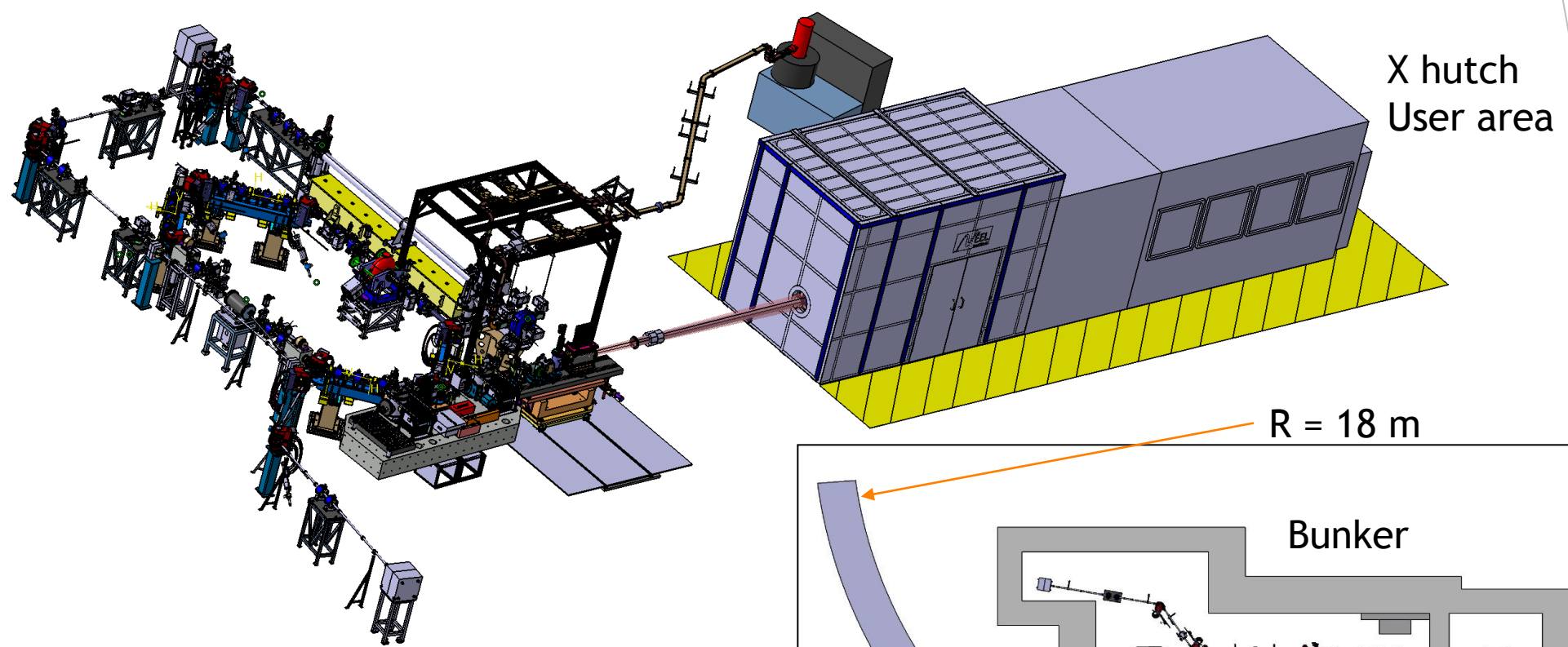
ThomX set up



Talks

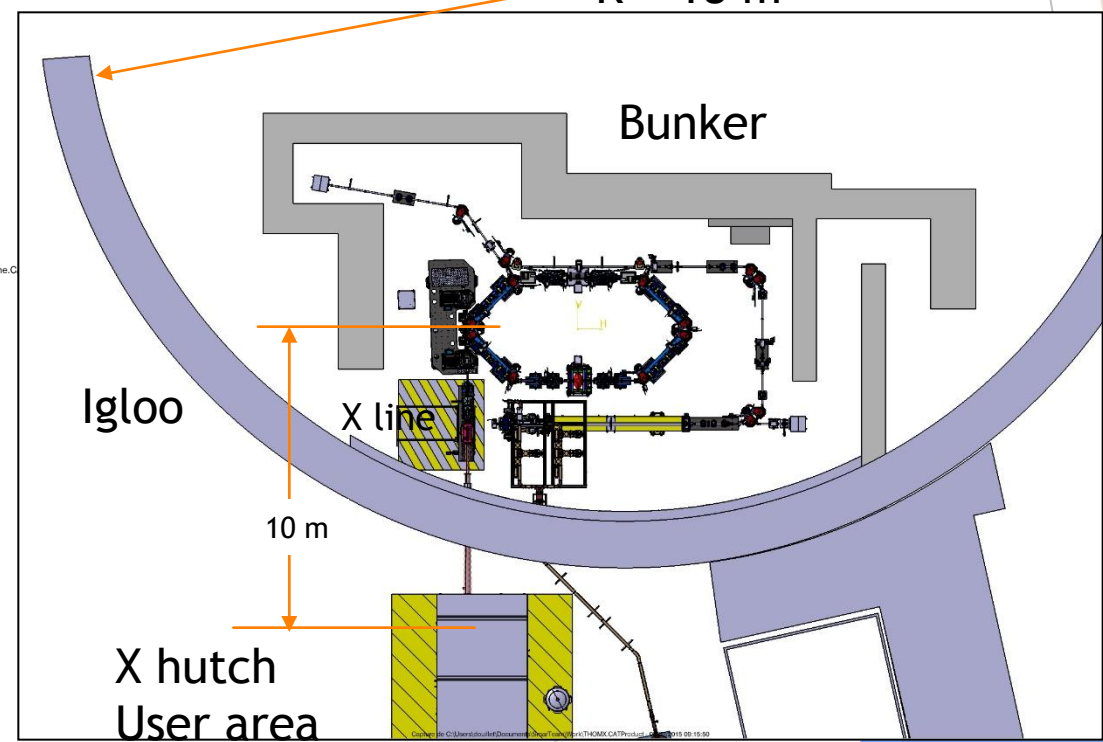


Linac RF source



X hutch
User area

R = 18 m



Capture de C:\Users\douillet\Documents\SmartTeam\Work\ThomX Machines.C



Project Consortium

- ▶ Funding in 2012 : programme Equipex - ANR : 10 + 2 M€
- ▶ CPER for building in 2015 (2,5 M€ + 4,5 M€)
- ▶ 8 Partners in project :

Consortium signed in 2013

Nom	contribution
Thales TED (Vélizy)	Industrial partner
Synchrotron SOLEIL (Gif)	Ring, magnets, power supplies, FBT, RF cavity, ...
Institut NEEL (Grenoble)	X ray transport (design, installation)
ESRF (Grenoble)	X ray line test, medical use
LAMS (Paris)	Cultural heritage user
GIN(Grenoble Institut Neuroscience)	Medical user
CELIA (Talence)	Interaction laser
LAL (Orsay)	Management, linac, integration, building, mechanics, machining, FP cavity, lasers, simulations, ...

Committees

Steering Committee

CNRS/In2p3/LAL
Achille STOCCHI

CNRS/In2p3
Jean-Luc BIARROTTE

SOLEIL
Amor NADJI

CNRS/LAMS
Philippe WALTER

Institut NEEL
Jean-Loui HAZEMANN

ESRF
Alberto BRAVIN

CNRS/CELIA
Philippe BALCOU

THALES
Pascal DUPIRE

Scientific Board

CNRS/In2p3/LAL
Hugues MONARD

SOLEIL
Alexandre LOULERGUE

CNRS/LAMS
Philippe WALTER

Institut NEEL
Jean-Loui HAZEMANN

ESRF
Alberto BRAVIN

CNRS/CELIA
Eric CORMIER

INSERM
François ESTEVE

Valorisation/Industry Board

CNRS/In2p3/LAL
Hugues MONARD
François WICEK
Fabian ZOMER
Bruno MOAL

CNRS/SPV
Annabelle ALVES
Hellen BARBOZA DA SILVA

UPS/SATT
Emeric PERCHANT
Svetlana IVANOVA

SOLEIL
Philippe DEBLAY

THALES
Pascal DUPIRE
Serge SIERRA

ESRF
Edward MITCHELL

CNRS/CELIA
Eric CORMIER

Machine Advisory Committee

➤ DESY
Siegfried SCHRIEBER

➤ ESRF
Pantaleo RAIMONDI

➤ DARES BURY
Deepa ANGAL KALININ

➤ SOLEIL
Laurent NADOLSKI

➤ CERN
Hans ZIMMERMAN

➤ INFN
Alessandro GALLO
Alessandro VARIOLA

Organisation, FTE

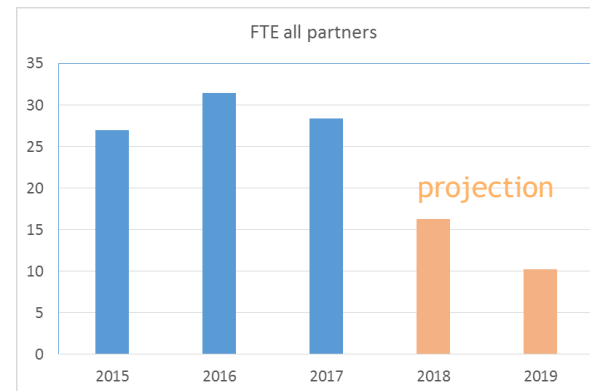
Technical machine responsible : LAL, SOLEIL, NEEL, CELIA

Association 1 LAL \leftrightarrow 1 Partner : relay take-over during installation (2017)

Aimants continus	Cynthia VALLERAND Fabrice MARTEAU
Alimentations	Yannick DIETRICH Cynthia VALLERAND
Aimants Pulsés	Patrick ALEXANDRE Maher OMEICH
RF	
Source RF	Jean-Pierre POLINA Maher OMEICH
Section accélératrice	Jean-Pierre POLINA Mohammed EL KHALDI
Cavite RF anneau	Patrick MARCHAND Mohammed EL KHALDI
LLRF	Mohammed EL KHALDI
Alignement&méetrologie	Alain LESTRADE Denis DOUILLET
Diagnostics	Nicolas HUBERT Nicolas DELERUE
Electronique acquisition	François WICEK
Infrastructure	Bernard PIEYRE
Mécanique & intégration	Denis DOUILLET
Interconnexions&nomenclature	Patrick CORNEBISE
Synchronisation	Nicolas DELERUE
Technique du Vide	Bruno MERCIER
Cavité Optique et laser	Fabian ZOMER
Ligne X	Marie JACQUET Jean-Louis HAZEMANN
Contrôle Commande	Philippe GAURON
Radioprotection	Pierre ROBERT
Sécurité	Patricia BERTHO

En bleu : LAL En orange SOLEIL

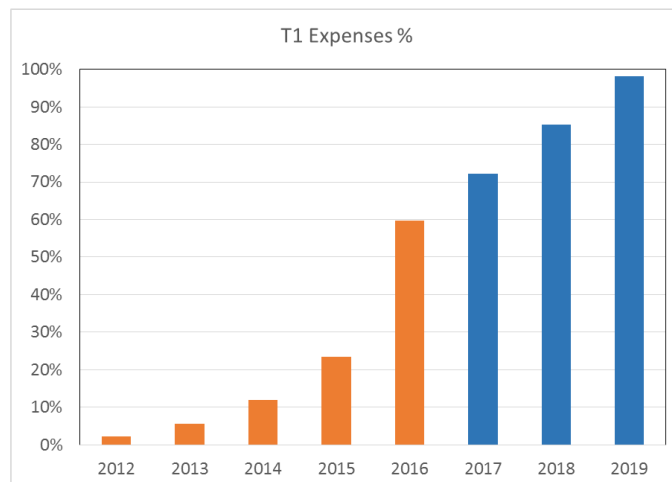
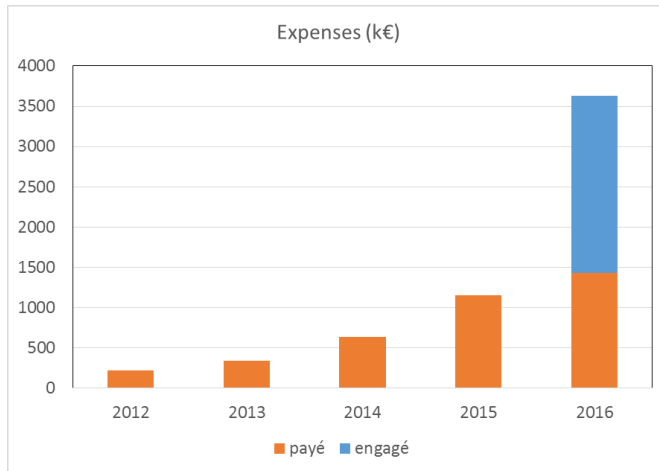
WP	Title	Responsible	LAB
WP1	Management	H. Monard	CNRS/LAL
WP2	Injector	JP. Pollina	SOLEIL
WP3	Ring & Transfert line	A. Loulergue	SOLEIL
WP4	Optical system	F. Zomer	CNRS/LAL
WP5	X Line	M. Jacquet	CNRS/LAL
WP6	Infrastructure	H. Monard	CNRS/LAL
WP7	Industrialisation	C. Goffin	THALES



FTE : 80% LAL, 15% Soleil, 5% others
~ 100 p in 2016

Budget

End dec 2019



Equipment budget T1 : 10 M€

Postponed to dec 2019

Already spent

2016 : 6.0 M€

Beginning 2017 : 7.2 M€

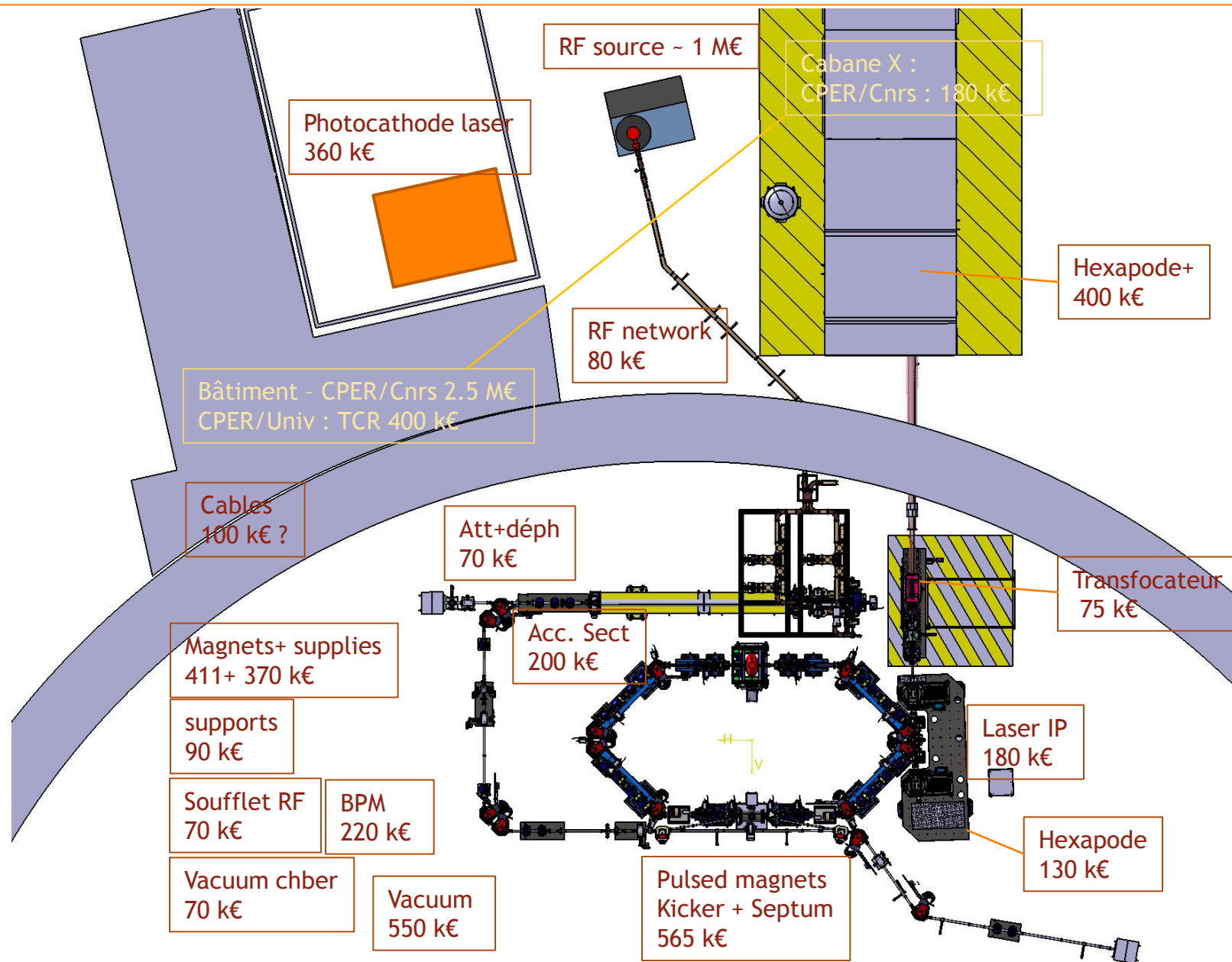
Forseen : 2017/2018 : x hutch : 1.5 M€

Operation budget T2 : 1.9 M€

Already spent : 300 k€

Spares, maintenance, consommable, (optical, laser, RF, vacuum,...)

Localisation of equipment



Equipment status

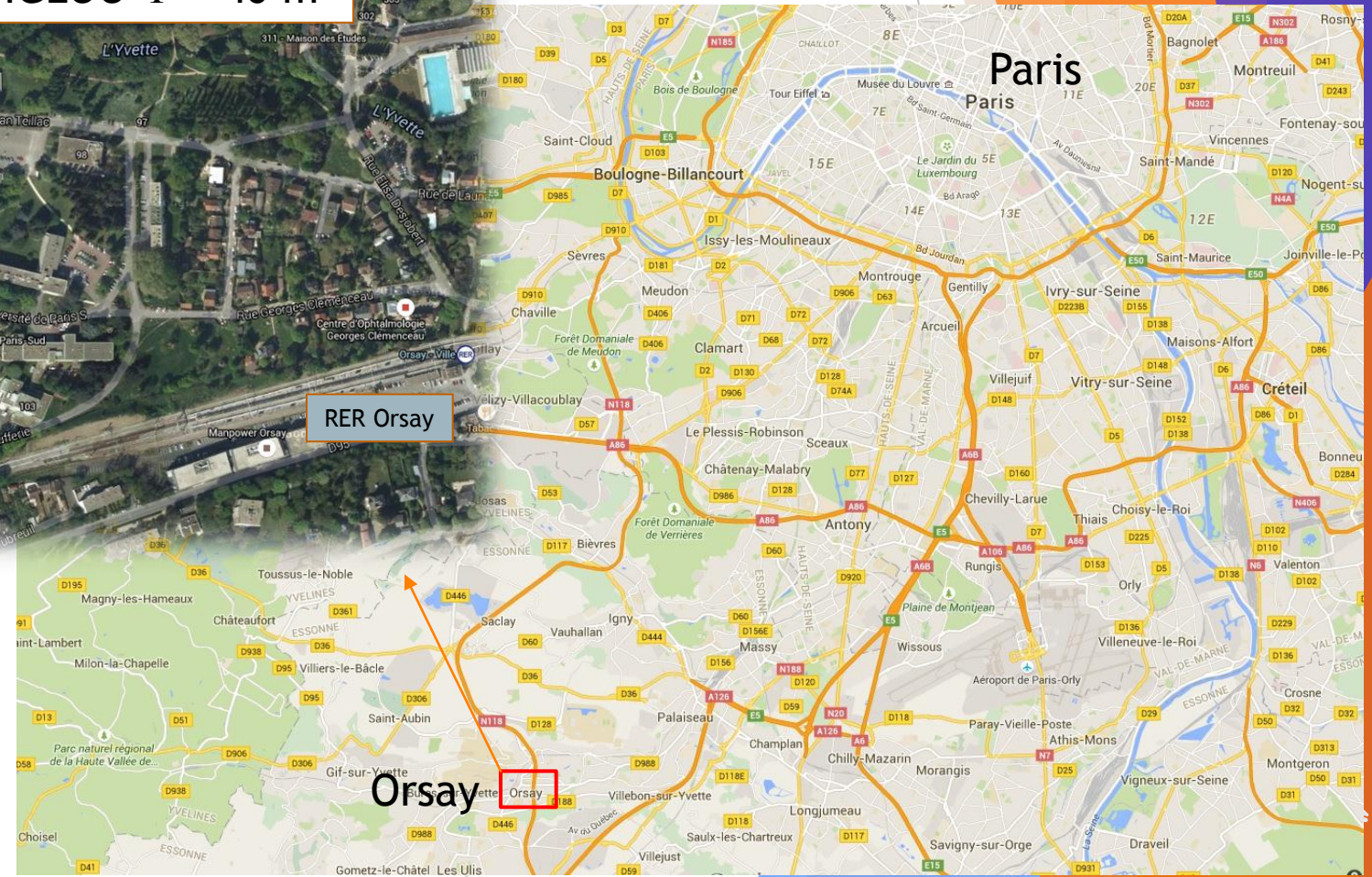
Table of main component procurement

	OBJET	prévu	réel	ACTEUR	Resp. technique	deliv	comments
1	RF Linac Circulateur & Atténuateurs Dephaseur	90	69	PUMA LAL	SOLEIL	may	leaks ! Plan B : may 2017
2	RF Linac Network > réseau guide d'ondes	100	85	PUMA LAL	SOLEIL	stocked	ok:95%
3	RF Source (Modulateurs + 2 klystrons)	1010	1000	DDAI	SOLEIL	april	tests done @ Scaninova : ok
4	Cooling rack cavité RF anneau	400	35	PUMA LAL	SOLEIL	april	ready in march 2017
5	Aimants	600	411	DR	SOLEIL	stocked	ok : all measured and sorted
6	Alims	300	377	DR	SOLEIL	stocked	ok
7	Kicker & Septum	565	565	DDAI	SOLEIL	sept?	fabrication phase
8	Laser photocathode	450	360	DR	LAL	april	ok : in april @ LAL
9	laser oscillateur Cavité FP	200	180	DR	LAL	fev	ok : test @ LAL
10	BPM (Beam Positionnt Monitor)	300	223	DR	SOLEIL	may	ok: test@ Soleil in may
11	Chambres à vide anneau	100	198	PUMA LAL	LAL	aug	proto ok, @LAL in july
12	Soufflets RF anneau	80	69	PUMA LAL	LAL	may	fabrication phase end @ LAL in may
13	Matériels vide (plusieurs lots + PUMA)	600	550	DR	LAL	stocked	ok : all @ LAL
14	Poutres mécano-soudées en alu	100	90	PUMA LAL	LAL	stocked	ok : all @ LAL
15	Table motorisée (hexapode laser IT)	300	128	DR	LAL	stocked	ok : all @ LAL
16	PMB - section accélératrice	200	200	DR	LAL	2018:final	proto Cu : sept 2017
17	X line + X hutch	1450	~450*	DR	LAL	table1:april	x line : ok, user area to equip
18	cables	100	~51	DR	LAL	end : may	on going : 65%
19	TCR ThomX	350	?	DR	LAL	sept?	on going: CCTP
	TOTAL CDES A ENGAGER	6945	4540,1				

4.1 ThomX on campus

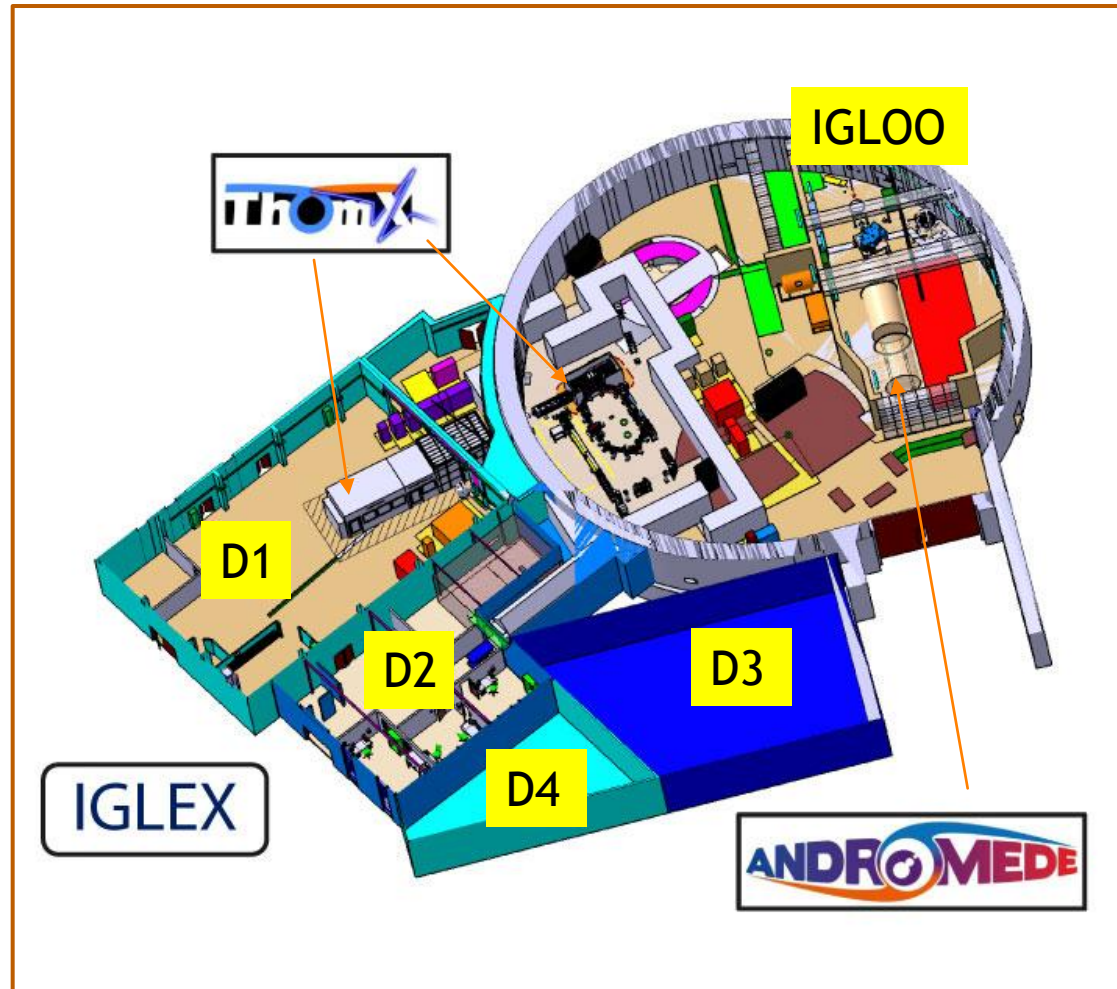


Université Paris-Sud
Laboratoire Accélérateur Linéaire



4.1 ThomX Building

- ▶ IGLEX : 2 Equipex
- ▶ Andromède (IPN)
- ▶ ThomX (LAL)
- ▶ CPER : 7 M€
- ▶  île de France
- ▶ 2.5 M€ phase 1
start : feb 2016
end : feb 2017



IGLOO+D1+D2

- Lot 1 : Démolition - Gros Œuvre - Maçonnerie - Voirie et réseaux
- Lot 2 : Charpente métallique - Réalisation d'une salle blindée
- Lot 3 : Plomberie Sanitaires,
- Lot 4 : Cloisons - Doublages - Faux Plafonds - Menuiseries intérieures
- Lot 5 : Peinture - Carrelage - Faïence - Revêtement Sols,
- Lot 6 : Climatisation Ventilation Chauffage,
- Lot 7 : Electricité,
- Lot 8 : Refroidissement et Fluides,
- Lot 9 : Salle Laser,
- Lot 10 : Système de Sécurité Incendie,
- Lot 11 : Serrurerie.

Thanks to LAL infrastructure + help of CNRS/Pôle Patrimoine



Percement du corridor de circulation entre la future salle de contrôle et le bunker

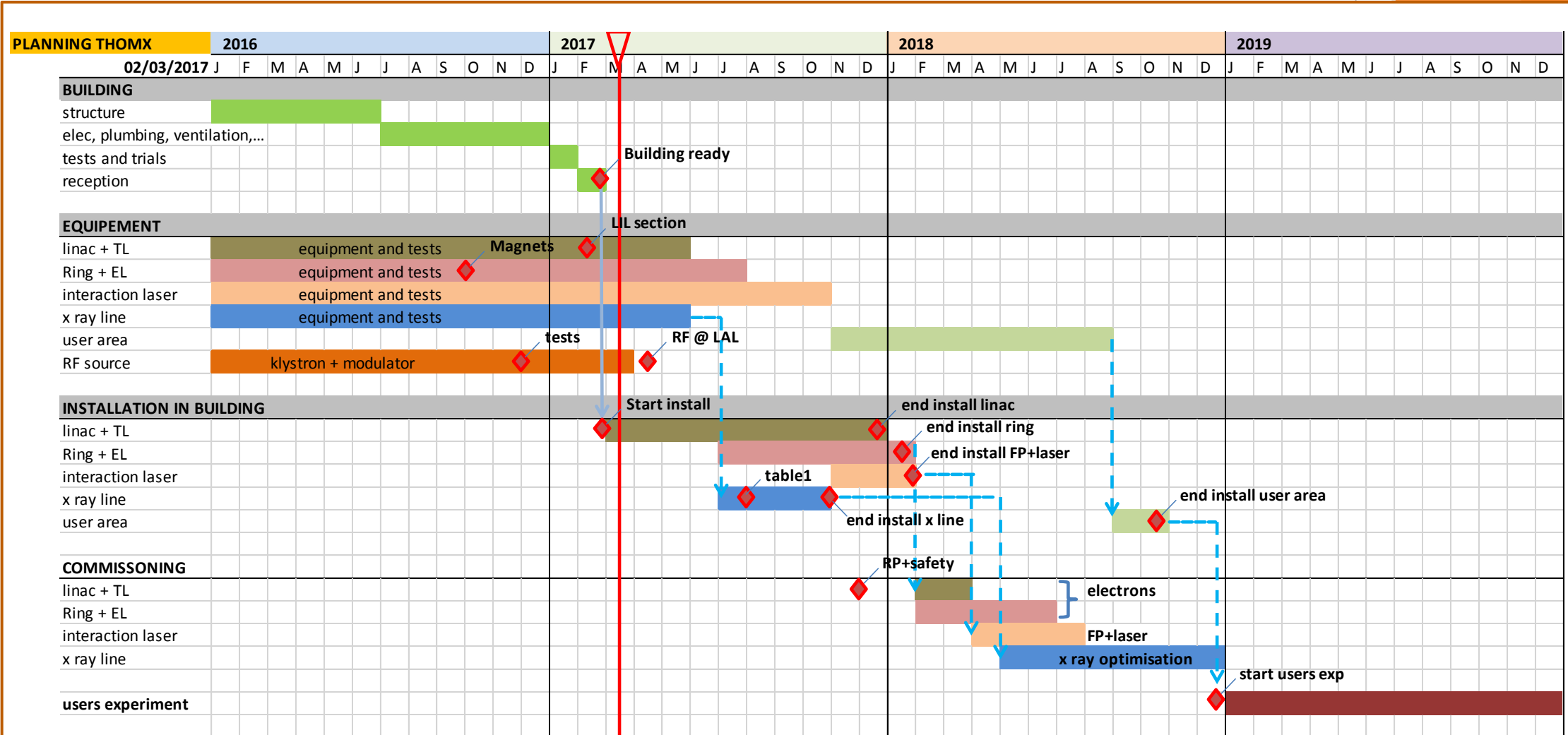


Building
Duration ~1 year
delay ~ 2 month

Future : igloo ext, D3, D4



Planning



END



Backup slides

Industrialization

THOMX = RX **demonstrateur** CBS

« Lab » Version



Industrial

R&D possible

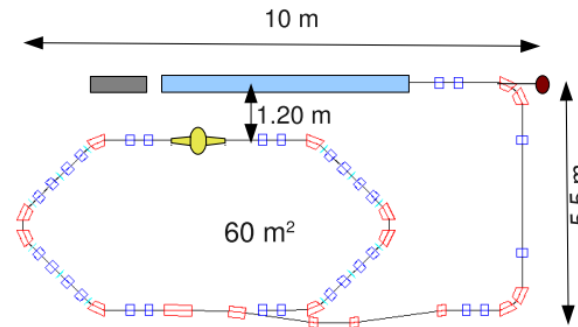
Identify viable & profitable fields of CBS x ray source use

Identified fields

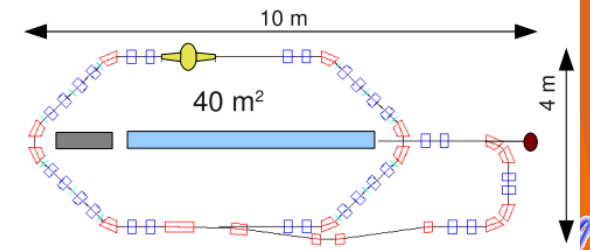
- A1) Compact
- A2) reliability → Analyse machine operation and flaws
- A3) non-expert use → Automatisation, CC choices
- A4) cost Reduction → What is the price of an industrial CBS machine ?

Compact Machine

identified	Status	gain
1) C band linac (6 GHz)	Abandonned	-5 m
2) High gradient acc. S band (3 GHz)	<i>On going</i> <i>PMB Alcen</i>	-1,5 m
3) Laser near RF gun	To do	-45m ²
4) RF in bunker	To do	-10m ²
5) Accelerator design	To do	-20m ² ?



Lyncean design



In 2016



Workshop IGLEX "Andromède & ThomX"

Jeudi 23 juin 2016
Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire
Bâtiment 200 Auditorium Pierre Lehmann

PROGRAMME

MATINEE

- 08:45 *Accueil Cafétéria*
- 09:00 **Ouverture du Workshop**
- 09:10 **Présentation de l'état d'avancement de ThomX et d'Andromède**
Hugues Monard
Responsable scientifique et technique de l'Equipex ThomX, LAL
Serge Della-Negra
Responsable scientifique de l'Equipex Andromède, IPNO
- 09:30 **Présentation de l'avancement de l'IGLEX**
Alexandre Chouleur
Conducteur de l'opération (Délégation CNRS DR1)
- 09:50 **The X-line of ThomX**
Marie Jacquet & Jérôme Lacipière
LAL & Neel/SERAS
- 10:20 **Preclinical imaging and therapy at ThomX**
Alberto Bravin
ESRF
- 10:40 *Pause Café*
- 11:00 **A la recherche des empreintes bactériennes**
Martine Caroff et Aude Breton
LPS-BioSciences SAS

12:30 *Passage par l'IGLEX & Déjeuner*

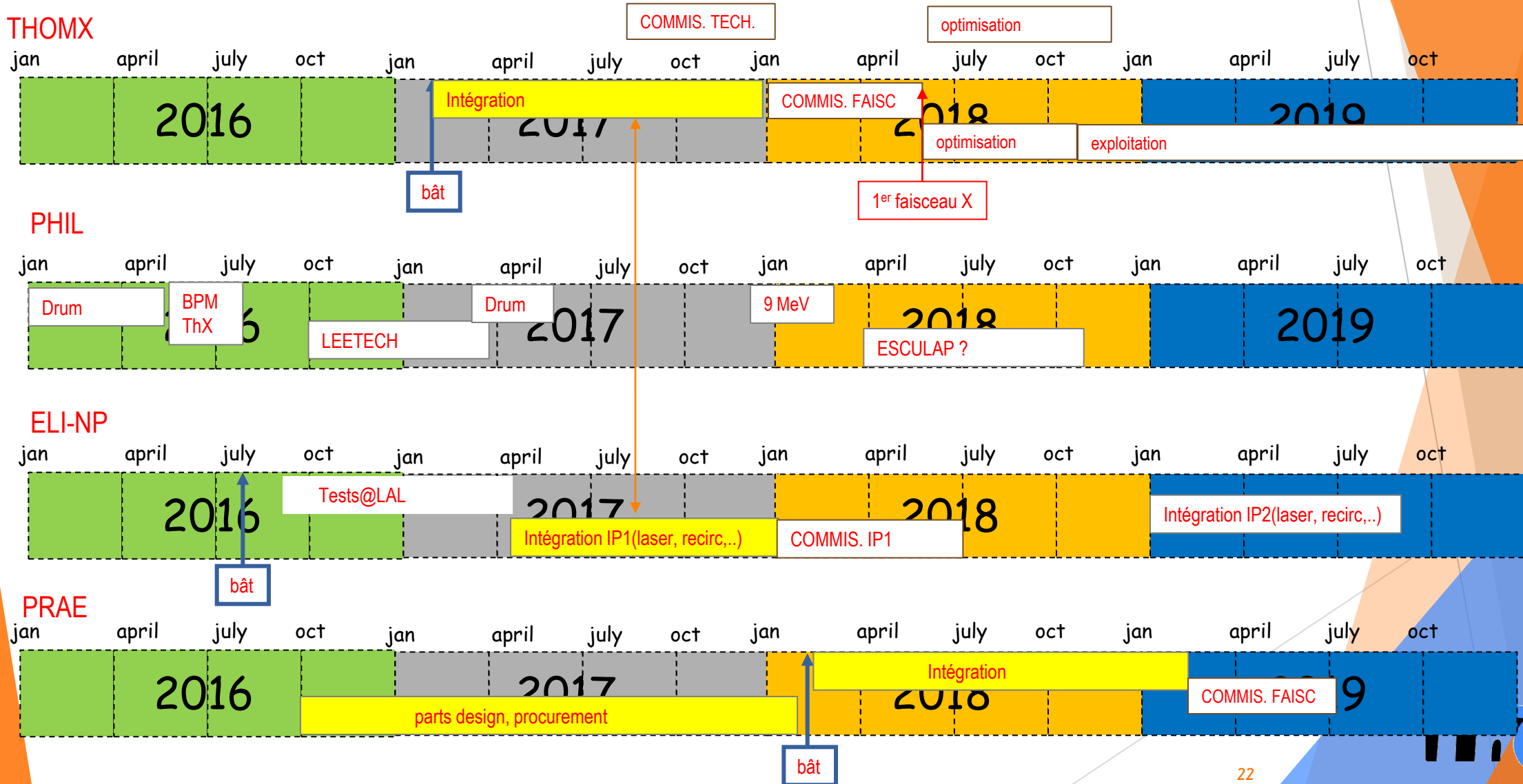


APRES-MIDI

- 14:00 **Collecte et analyse de poussières cométaires par l'instrument COSIMA embarqué sur la sonde Rosetta**
Donia Baklouti
CSNSM
- 14:20 **Analyses élémentaires et isotopiques de poussières interplanétaires, qu'apprenons nous sur la formation du système solaire ?**
Jean Duprat
CSNSM
- 14:40 **Irradiation de matière interstellaire avec les rayons cosmiques, les UCAMMs dans le système solaire externe et au delà...**
Emmanuel Dartois
IAS
- 15:00 **Le dispositif d'analyse des matériaux sur ThomX**
Philippe Walter
LAMS/UPMC
- 15:30 **Nouveau dispositif pour l'étude de la fragmentation de molécules d'intérêt astrochimique**
Marin Chabot
IPNO
- 15:50 *Pause Café*
- 16:10 **Physique Stellaire à Andromède**
Guillaume Fruet
IPHC
- 16:30 **Développements pour l'expérience STELLA**
Daniele Montanari



Planning Projets Accélérateurs LAL



Assembly

- Several rooms of assembly & stock
209 ; 208: HL, S05; 200; SuperAco, Igloo : casemate, D1

- Teams

mounting : EQ1(2) linac
EQ2(3) LT + LE
EQ3(3) ring
EQ4(3) Modul+klystron

EQ vacuum (3)
EQ alignment (2)
EQ cabling (1+2ext)

Assembly+vacuum tests

transport

Position+alignment

Nbre poutres (p), support

Linac : 2p + laser + source RF + réseau
209 D2 D1 D1

LT : 10p :

Anneau : 6p + 6p + cavité + alim + IP

LE : 3p

L+IP : 1 marbre (5t !)+CFP+laser

Nom de la tâche
linac
poutre A : canon RF
poutre B : section LIL
réseau RF
Laser
Ligne transfert
poutre A: 1er triplet
poutre B : dipôles D1&D2
tour eiffel Cerenkov : diag 1
beam dump
poutre D : quad Q4
poutre E : scraper+diag2
poutre F : quad Q5
poutre G : dipôles D3&D4
poutre H : doublet quad Q5&Q6
poutre I : diag 3
poutre J : dipôle injection
raccordements mécaniques
test sous vide de l'ensemble
installation klystron
anneau C1
poutre A' : kicker
poutre A : quads+BPM
poutre B : septum
poutre C : quads+BPM
poutre C' : kicker
poutre D : DPA1+QP+SXT+DPA2 avant IP
chambre IP
anneau C2
poutre A : 2 quads+ stripline
poutre B : cavité Elletra
alimentation RF
refroidissement cavité
poutre C : 2 quads + BPM
poutre D:DPA5+QP+SXT+DPA6
poutre E : DPA7+QP+SXT+ DPA8
tout eiffel rayon synchro
transport diag CR/SR
test sous vide de l'ensemble
ligne extraction
laser interaction
ligneX casemate
contrôle accès
radioprotection
salle de contrôle

In 2017

PS : Project Steering
EQ : Equipment
COM : Commissioning

- ▶ May : Project Steering (PS) : autorisation documents sent to ASN - LAL/IPN convention
- ▶ May : EQ : call for tender : user area
- ▶ May : start cabling + plumbing
- ▶ June : PS : next steering comity
- ▶ June : PS : Equipex audit by ANR
- ▶ June : EQ : call for tender : safety+radioprotection : CPER
- ▶ June : EQ : control room equipment
- ▶ Sept : COM : Technical commissioning
local + distance : control & command
- ▶ Dec : COM : End of install : beam commisioning starts

Need attention

- ▶ *ASN : Authorisation*

radioprotection Iglex : IRSD+SRp(IPNO) *authorisation for commissioning*

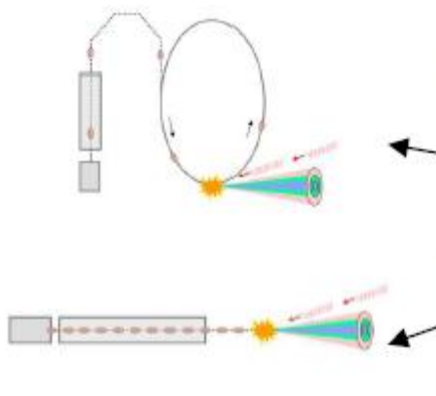
- ▶ *pulsed magnets : delay*

- ▶ *Ring vacuum chamber : july 2017*

- ▶ *Saftey & radioprotection : call for tender - CPER*

Projets source Compton RX dans le monde

Compact Compton projects (X-ray flux > 10^{12} ph/sec)



Project	type	E_x (KeV)	Flux	σ_s (μm)	Brightness
Lyncean	SR	10-20	10^{11}	50	
TTX	SR	20-80	10^{12}	50	
LEXG	SR	33	10^{13}	20	
NESTOR	SR	30-500	10^{13}	70	
ThomX	SR	20-90	10^{13}	70	$\sim 10^{11}$
KEK QB	Linac	35	10^{13}	10	
KEK ERL	Linac	67	10^{13}	30	
MIT	Linac	3-30	10^{14}	2	$\sim 10^{15}$

- In operation
- Funded
- Project



To be updated



Lyncean Technologie

2002 : fondation Lyncean

Source compacte de RX américaine (Palo Alto) protégée par des brevets
Technologie accélérateur en bande X (12 GHz)

2004 : Assemblage

2006 : Opérationnelle

2009 : *J. Synchrotron Rad.* (2009). 16, 43-47

Hard X-ray phase-contrast imaging with the Compact Light Source based on inverse Compton X-rays

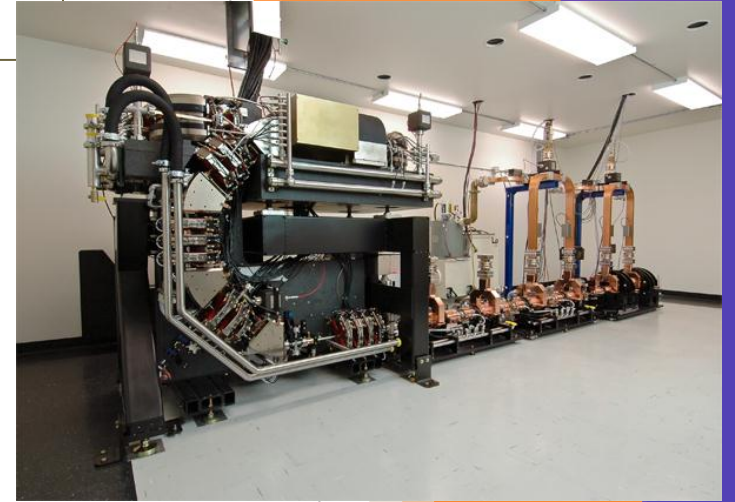
Financement 1.2 M\$ National Center for Research Resources (NCRR)

2012 : 1^{ère} vente en 2012 en Allemagne

Ludwig Maximilians University of Munich and the Technical University Munich (TUM)

2013 : financement 1 M\$ DOE

2014 : Livrée en décembre à Munich - application bio-médicale - IMETUM facility



Specifications

Expected performance of the MuCLS for 2014

Repetition rate	60 MHz
Source size	45 x 45 μm^2
Cone angle	4 mrad
Energy range	15-35 keV
Bandwidth	3 %
Brilliance ¹	1 x 10 ²⁰
Flux	0.5 * 10 ²¹ ph s ⁻¹

¹ In units of ph s⁻¹ mrad² mm⁻² per 0.1 % bandwidth

Data partly from [8].