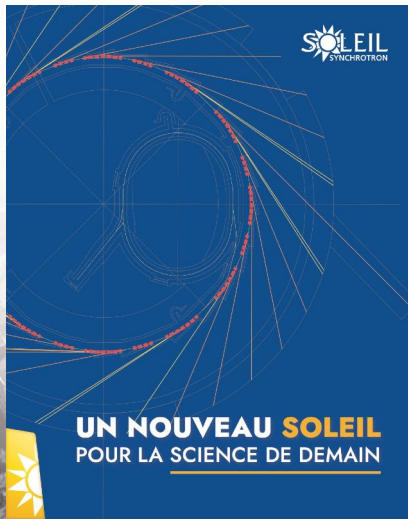




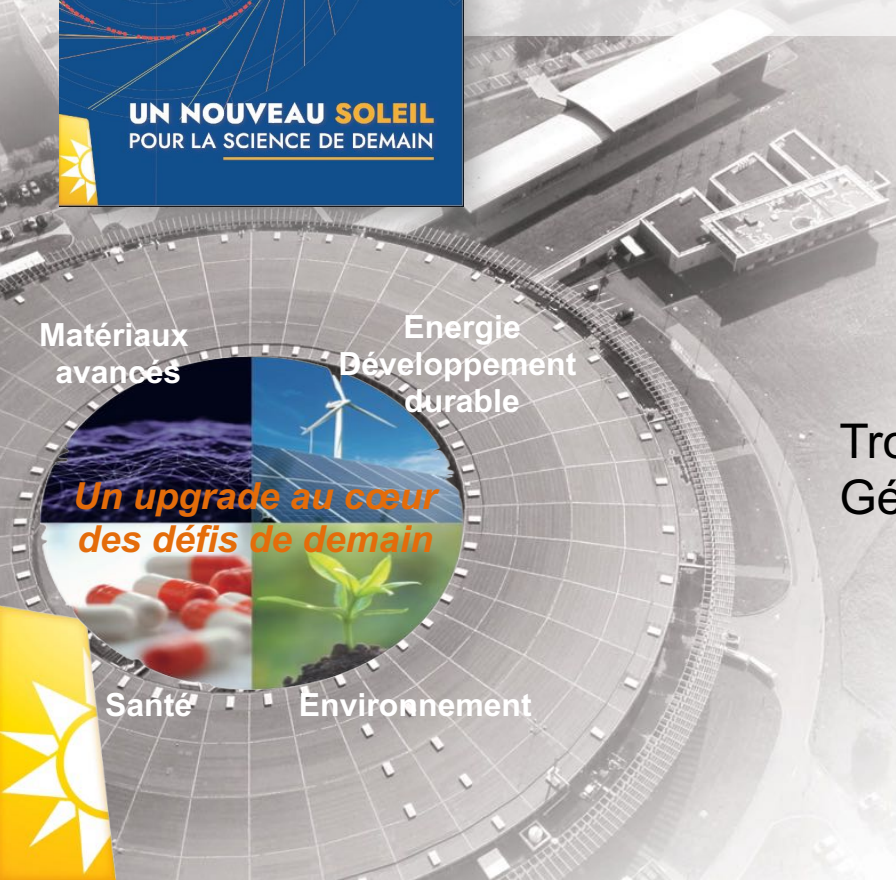
UPGRADE



SOLEIL II : un Projet Ambitieux d'Upgrade des Accélérateurs du Synchrotron SOLEIL



*Laurent S. Nadolski, Coordinateur des Accélérateurs
Pour l'équipe de l'Avant Projet Détaillé (TDR)*



Matériaux avancés

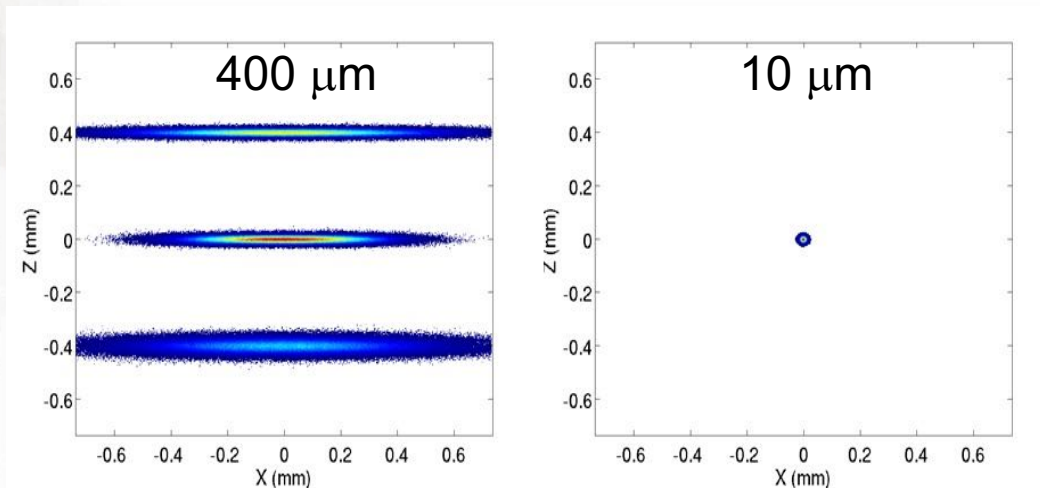
Energie Développement durable

Un upgrade au cœur des défis de demain

Santé

Environnement

Troisième Génération



Quatrième Génération

SOLEIL  **SOLEIL II**

- Introduction
- SOLEIL II en bref : les ambitions du projet
- Sélection d'avancées significatives du programme intense de R&D accélérateur
- SOLEIL comme banc de test pour SOLEIL II
- Point sur le planning
- Conclusions

SOLEIL (3GLS)

1^{er} faisceau : mai 2006

Circonférence : **354 m**

24 sections droites

SDL : 4 x **12 m**

SDM : 12 x **7 m**

SDC : 8 x **3.6 m**

29 lignes de lumière

- 12 000 utilisateurs
- 1000 industriels
- 50 000 visites

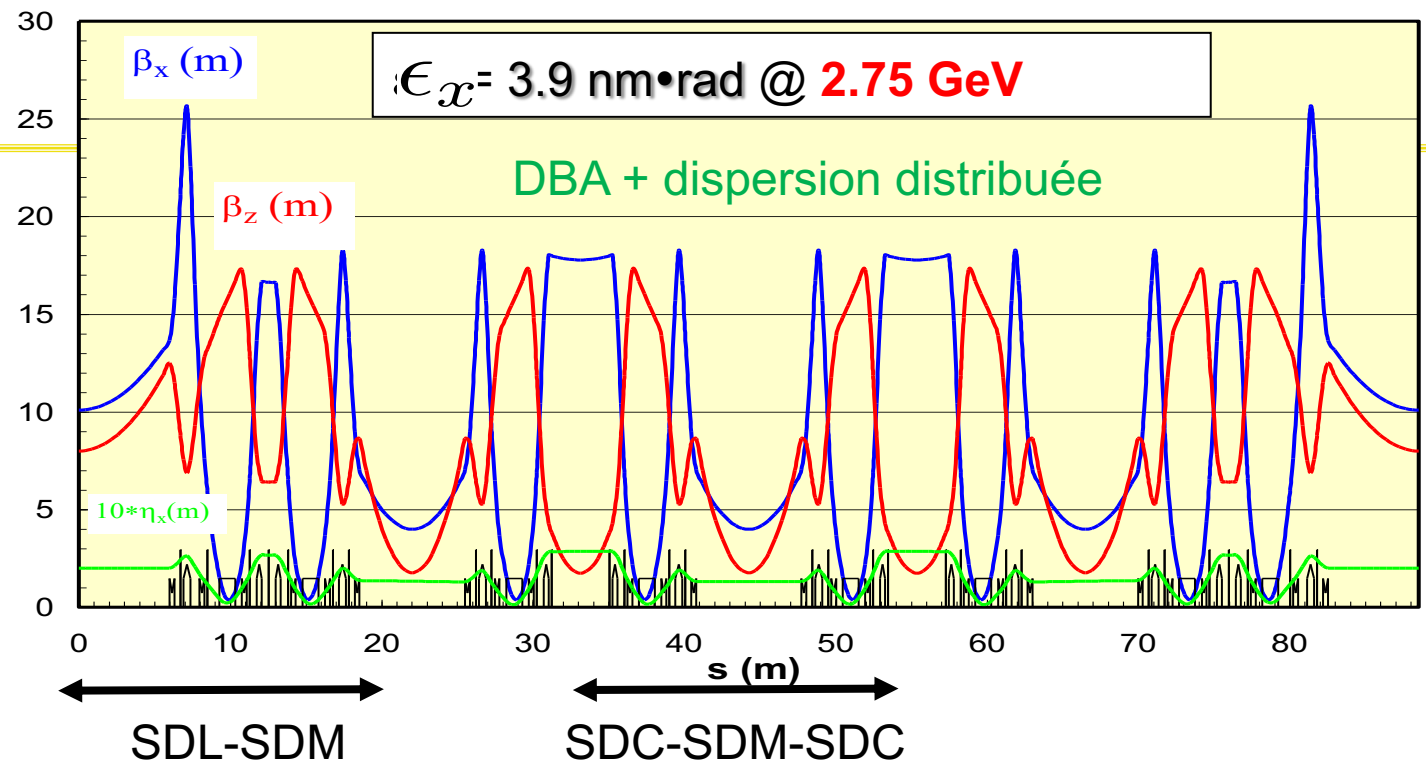


Table 1: Storage Ring Main Parameters

Parameters	Values
Energy	2.75 GeV
Circumference	354.097 m
Natural chromaticities (H/V)	-53/-19
Natural Emittance	4.0 nm · rad
Number of Cells/Symmetry	16/1
Tunes (H/V)	18.155 / 10.229
RF frequency (harmonic number)	352.197 MHz (416)
Total RF Voltage	2.8 MV

08/10/2021
13:23:13

Function Mode
TOP-UP

Filling Mode
Hybrid

Lifetime
8.73 h

Integrated Current
27246.4 A.h

Average Pressure
3.7e-10 mbar

Bending Magnet	Insertion Devices		
ODE	I02_C	PSICHE	PLEIADES
MARS	DESIRS	PUMA	CRISTAL
DISCO	DEIMOS	GALAXIES	TEMPO
METRO	I09_L	HERMES	PX1
SAMBA	PX2	SWING	ANTARES
ROCK	ANATOMIX	NANOSCOPIUM	SEXTANTS
DIFFABS	SIXS	CASSIOPEE	SIRIUS
	LUCIA		

Infrared: SMIS, AILES

	Orbit(RMS)	Emittance	Tune
h	52.8 μm	4.34 nm.rad	0.1449
v	73.1 μm	43.7 pm.rad	0.2218

Shift Lignes

Delivery Since: **Tue Oct 5 07:00**

End Of Beam: **Oct-11 07:00**

Remaining Time: **65:36:48**

Injection continue (top-up)

Fri Oct 8 11:16

SOLEIL II en bref : Principaux Paramètres

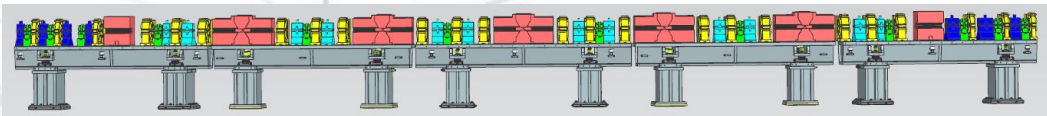
1. Maille MBA non standard : 12 x 7BA + 8 x 4BA / 2.75 GeV / 354 m.
2. ~85 pm.rad (~63 pm.rad with avec insertion et faisceau rond [but ultime]).
3. « 22 » section droites (7 longueurs différentes).
4. Domaine spectrale couvrant 9 ordres de grandeur (IR lointain aux X-durs).
5. Chambre à vide de faible diamètre avec dépôt de NEG (diamètre = 12 mm).
6. Utilisation extensive des aimants permanents (dip., rev. bend et **quadrupôles**).
7. Miniaturisation.
8. Injection hors-axe.
9. Un kicker d'injection multipolaire de haute performance (MIK).
10. Sobriété énergétique.

+

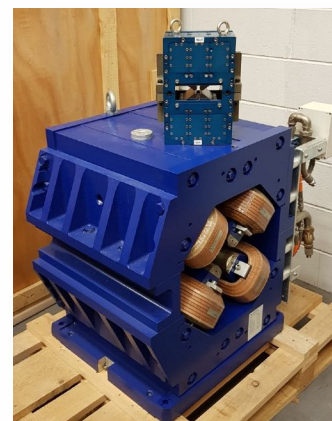
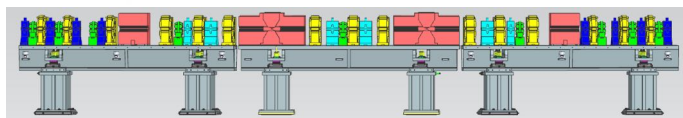
LINAC* (100 → 150 MeV)
 Nouveau Booster faible emit.
 Des insertions innovants

* pré-upgrade

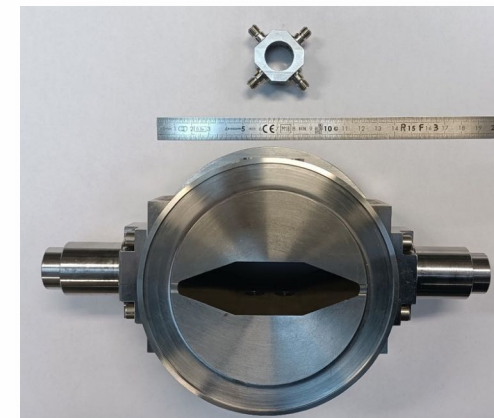
7BA



4BA



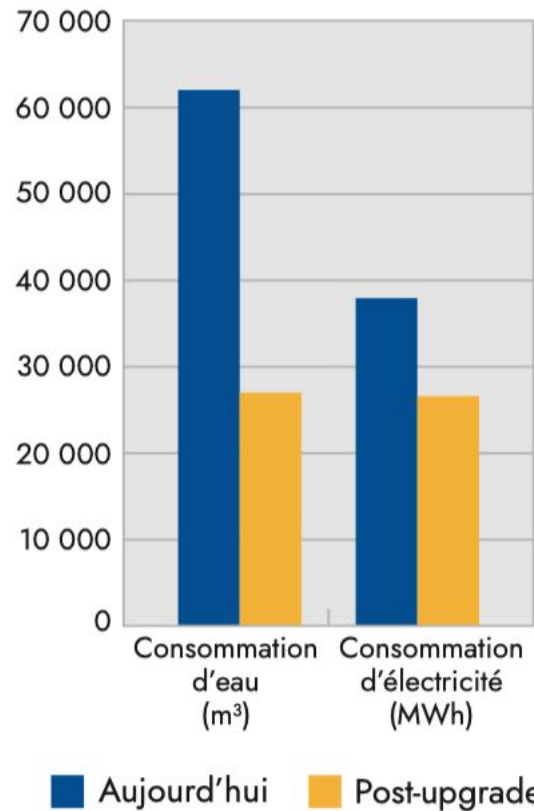
Quadrupôle à aimants permanents (prototype SOLEIL II) en haut et quadrupôle électromagnétique (SOLEIL) en bas



BPM de SOLEIL (bas) et BPM prototype SOLEIL II (haut)

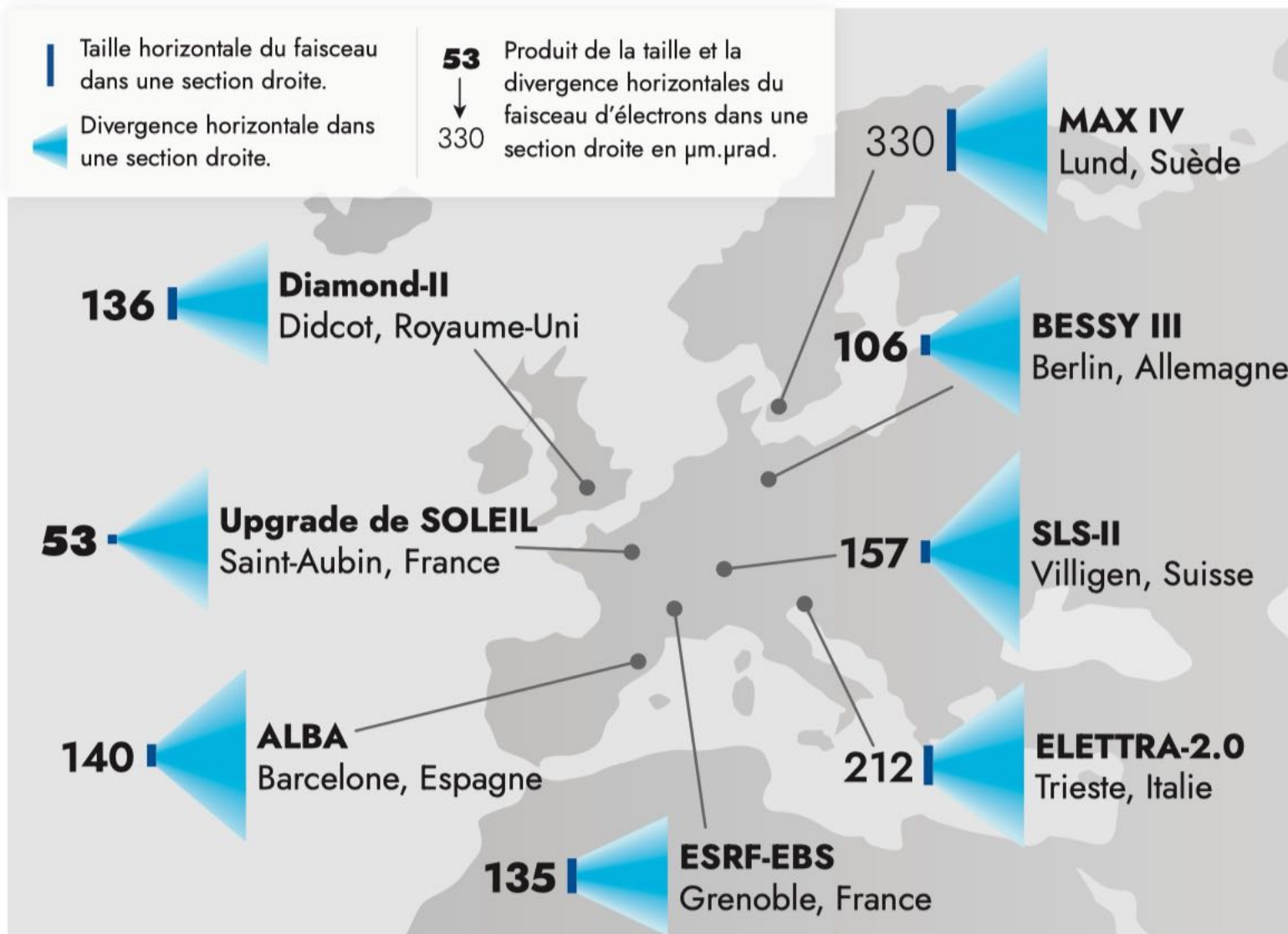
Utilisation raisonnée de l'énergie

Évolution de la consommation électrique et en eau.



SOLEIL, LE PROJET LE PLUS AMBITIEUX DE SA CATÉGORIE DANS UN ÉCOSYSTÈME EN PLEINE MUTATION

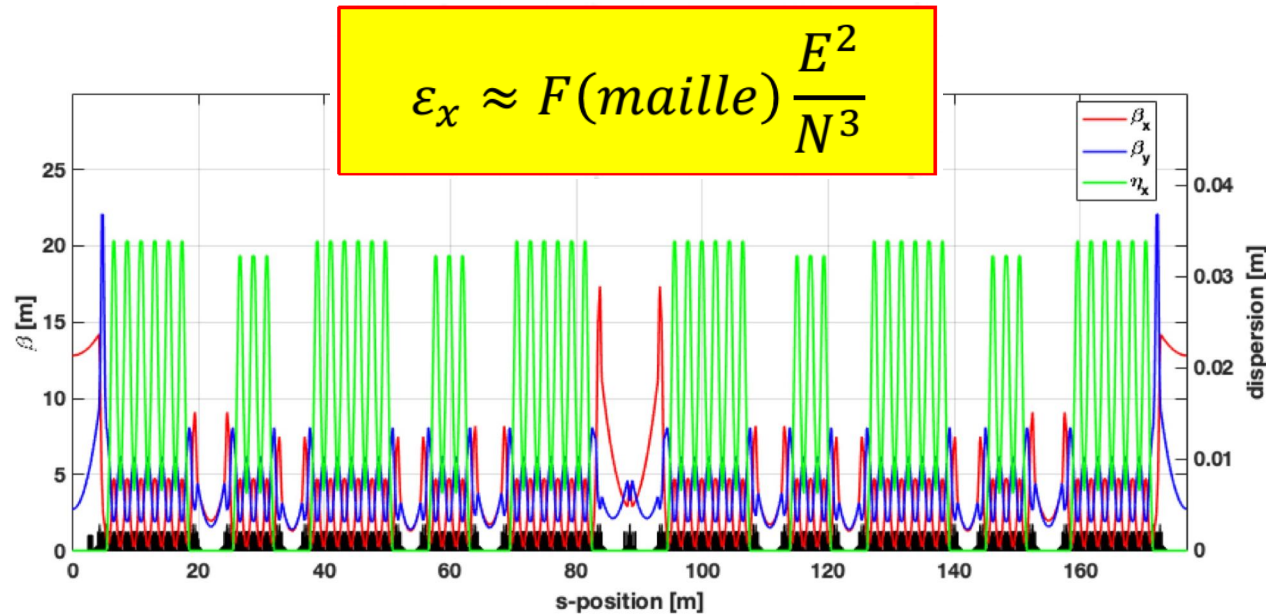
Carte des synchrotrons européens de nouvelle génération.



LEAPS (League of European Accelerator-based Photon Sources)

Upgrade Project of the SOLEIL Accelerator Complex
SRN, 2023

<https://doi.org/10.1080/08940886.2023.2186661>



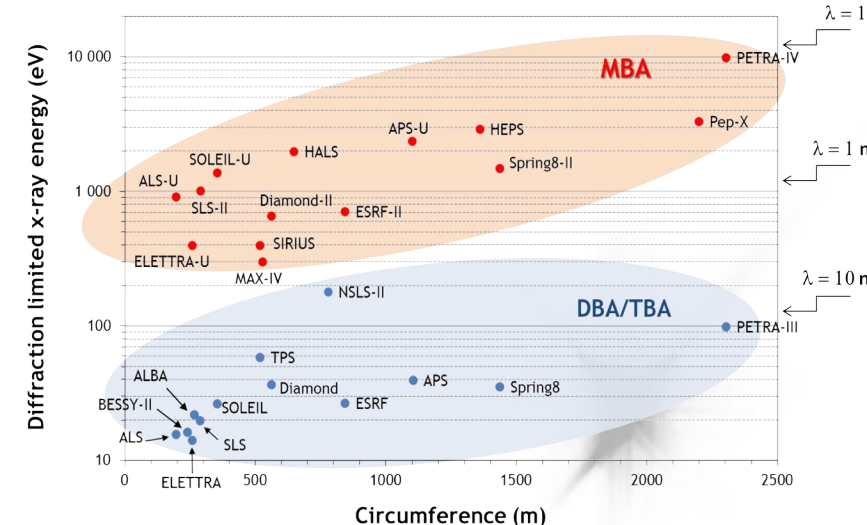
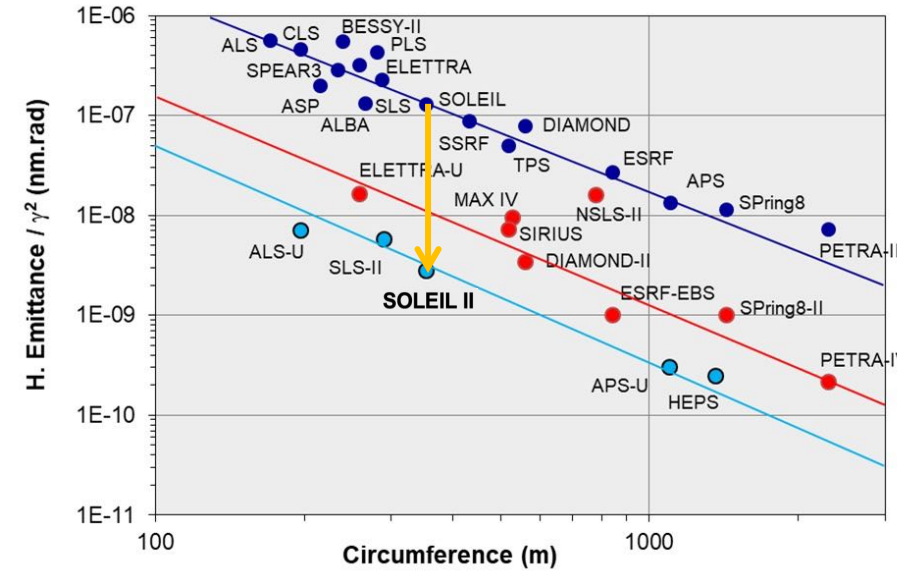
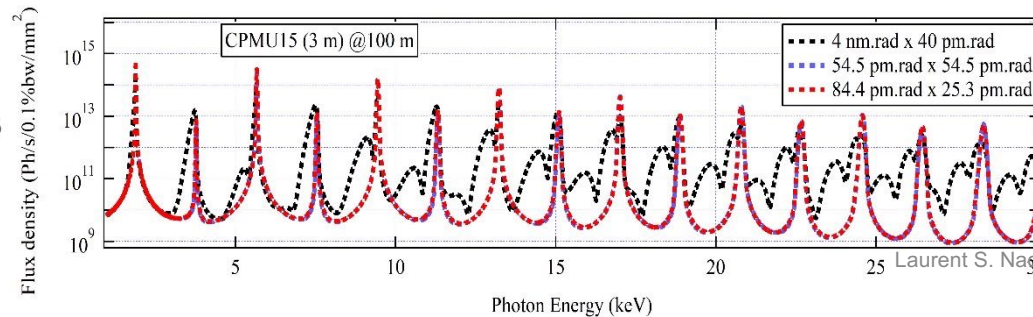
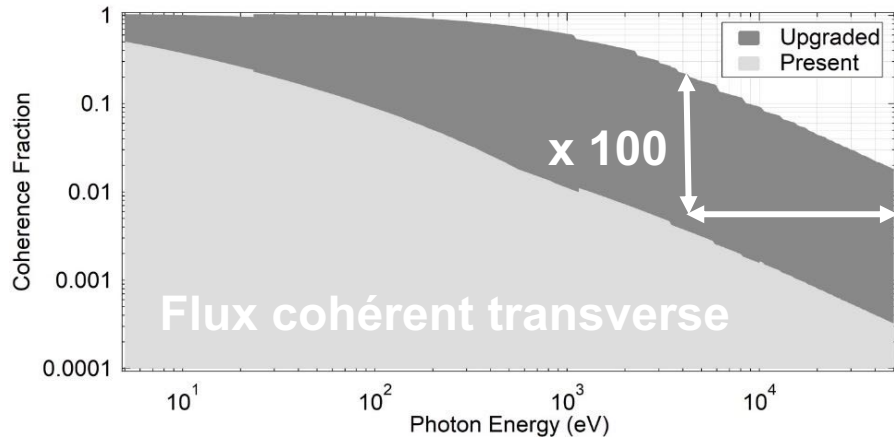
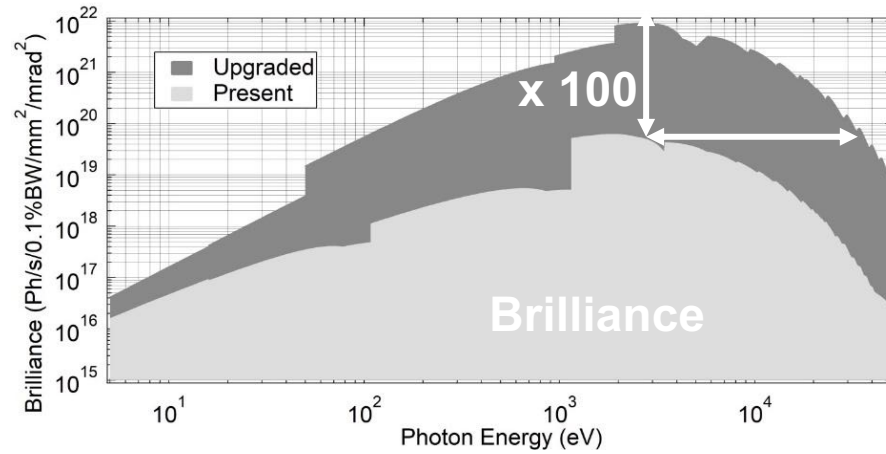
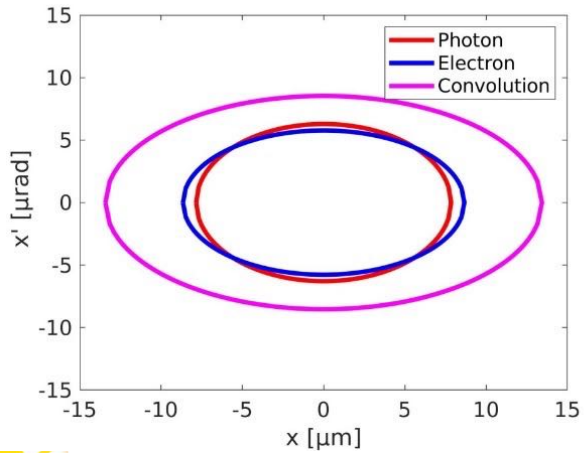
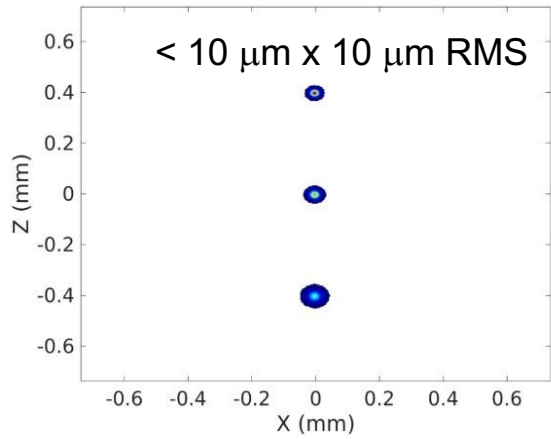
Fonctions de beta horizontale et verticale en rouge et bleu
Dispersion horizontale en vert le long d'un demi anneau.

Anneau de symétrie 1 avec l'introduction d'une chicane pour permettre d'installer deux onduleurs sous vide pour desservir les 2 lignes longues de SOLEIL.

Parameters	SOLEIL	SOLEIL II
Energy [GeV]	2.75	2.75
Circumference [m]	354.10	353.97
Maximum Beam Current [mA]	500	500
Lattice Type	DBA	7BA-4BA
Cell Number	24	20
Natural Emittance [pm.rad] Round beam (100% coupling)	3 900 -	83 53
Energy Spread	1.02 E-3	0.91 E-3
Natural RMS Bunch Length [ps]	16.1	8.6
Transverse Damping Times, $\tau_x / \tau_y / \tau_s$ [ms]	6.9 / 6.9 / 3.5	7.8 / 14.3 / 12.4
Momentum Compaction Factor	4.2 E-4	1.06 E-4
Energy Loss per Turn [keV]	917	453
Overall RF Voltage [MV]	2.6	1.8
RF Frequency [MHz]	352.20	352.33
RF Power into the Beam [kW]	575	245
Synchrotron Frequency [kHz]	4.2	1.8

Paramètres sans l'effets des éléments d'insertion et sans les cavités harmoniques

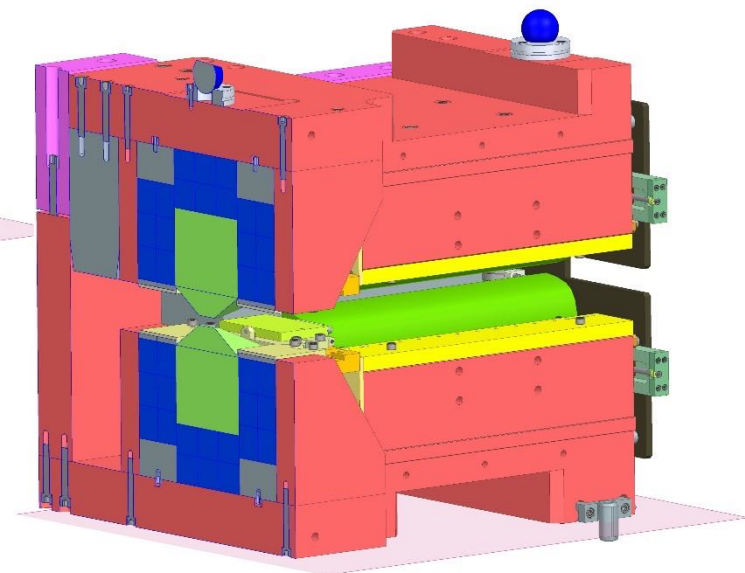
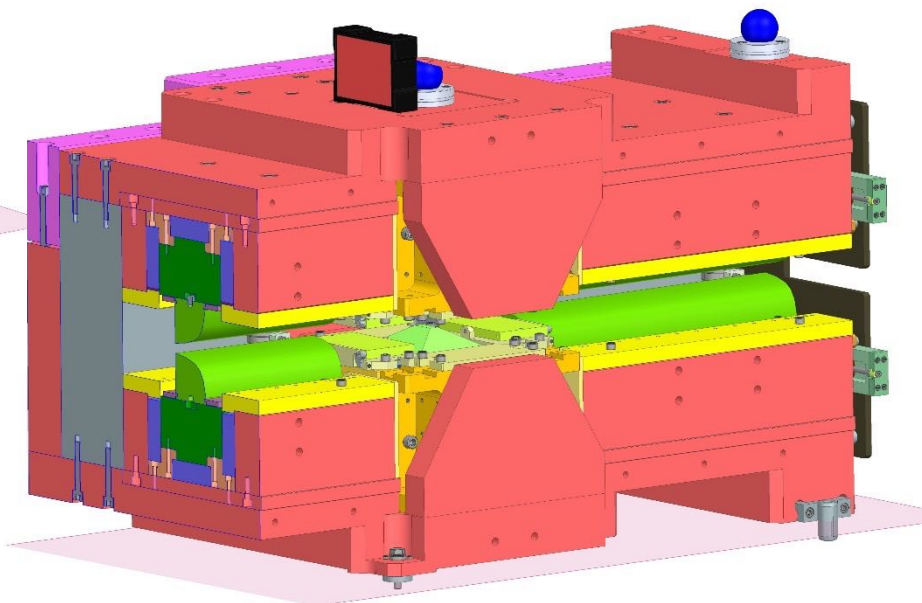
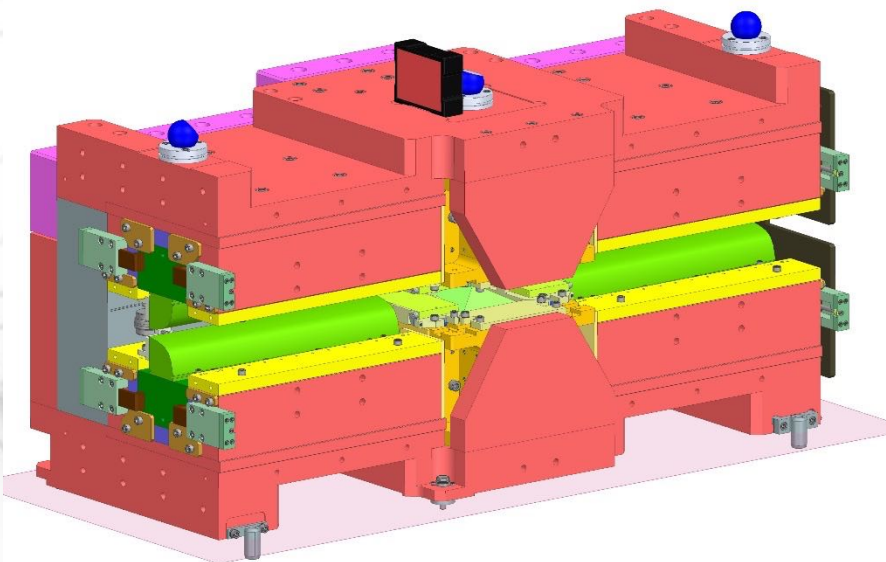
UPGRADE



SOLEIL II : Un condensé d'Innovations



Aimants permanents
Conception en 3 parties



Finalisation de la conception en cours pour lancer un prototype

Quadrupôle en Aimants Permanents

- Forme de l'extrémité des pôles
- Absence de bobine d'ajustement
- Plus de place pour les thermo-shim
- Moins en pièces à assembler
- Shunt entre pôles (ajustement)
- Plaques de garde simplifiées

Prototype N01
L=100 mm

Prototype N02
L=180 mm

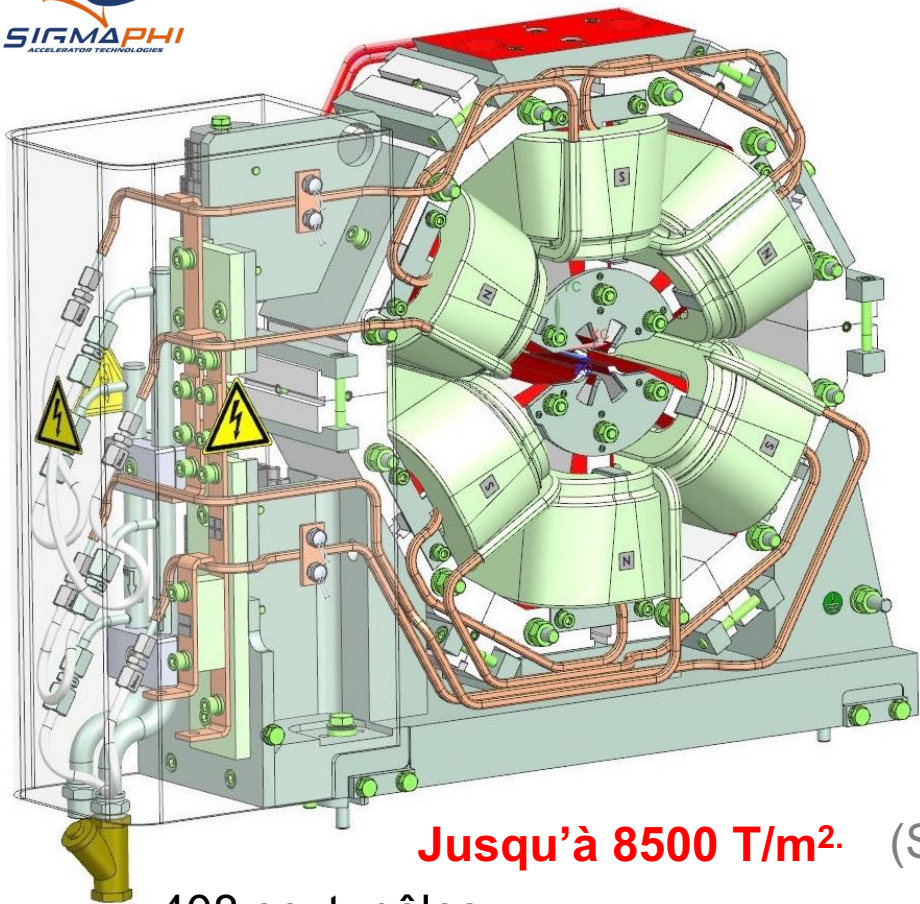
Gradient max: 120 T/m

(SOLEIL : 20 T/m)

144 quadrupôles

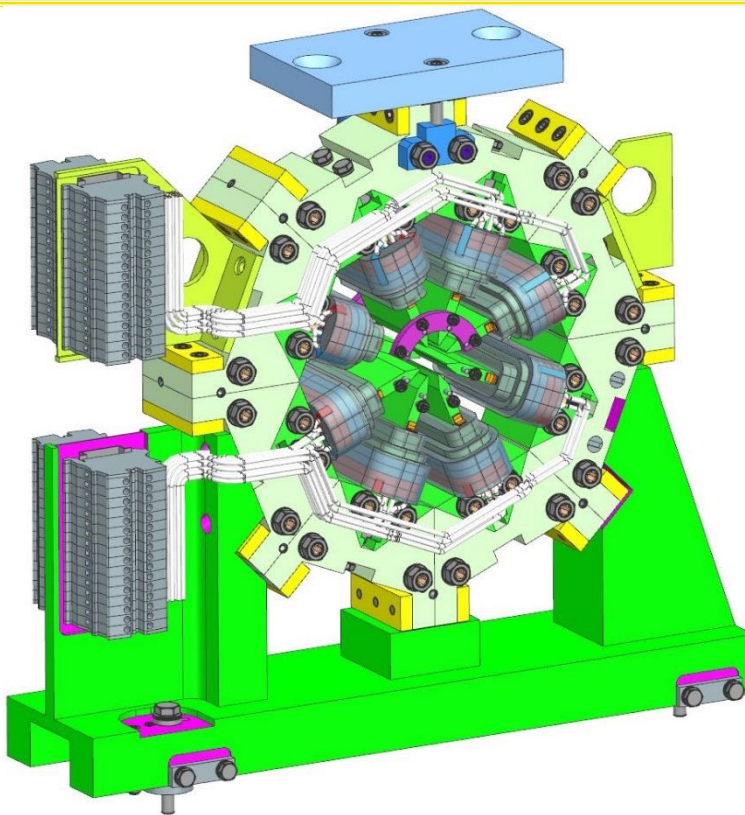


Conception SOLEIL du prototype



408 sextupôles

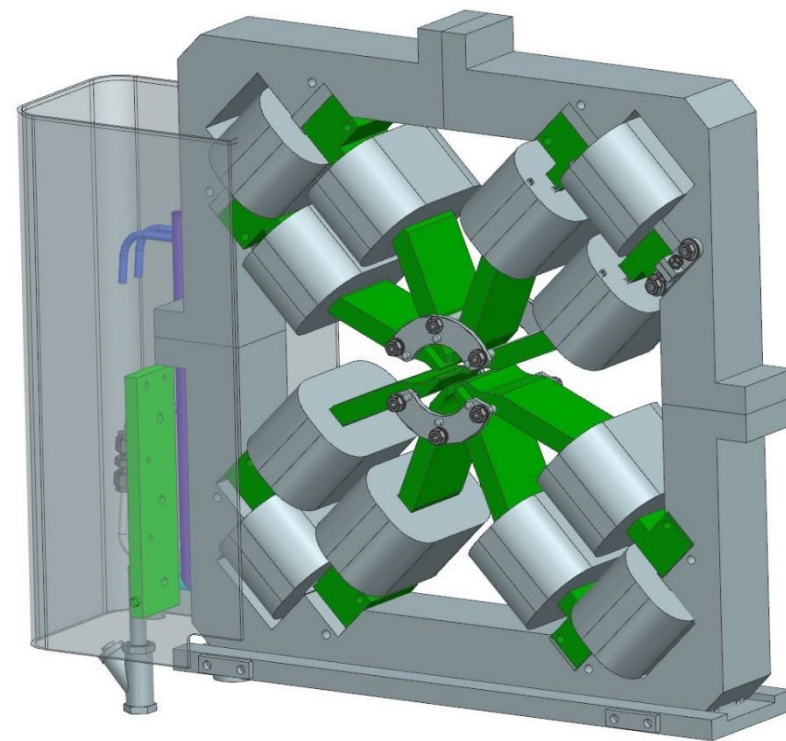
Jusqu'à 8500 T/m². (SOLEIL : 320 T/m²)



Première conception:
difficultés rencontrées pour
l'extraction des photons

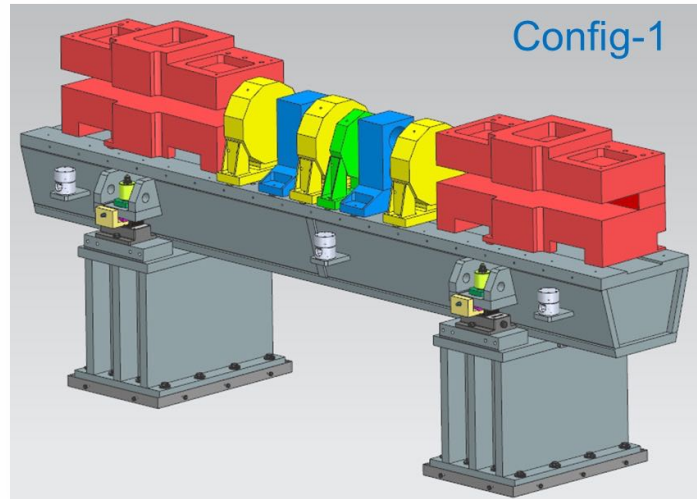
216 octupôles

Nouvelle version en cours
d'étude

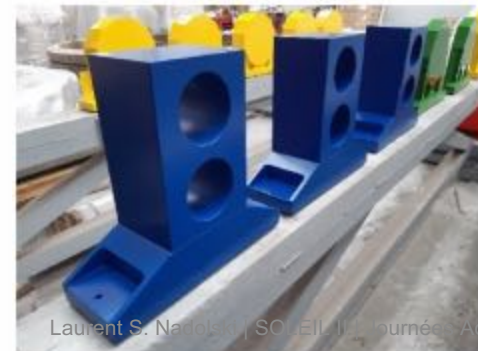


Prototype des Poutres

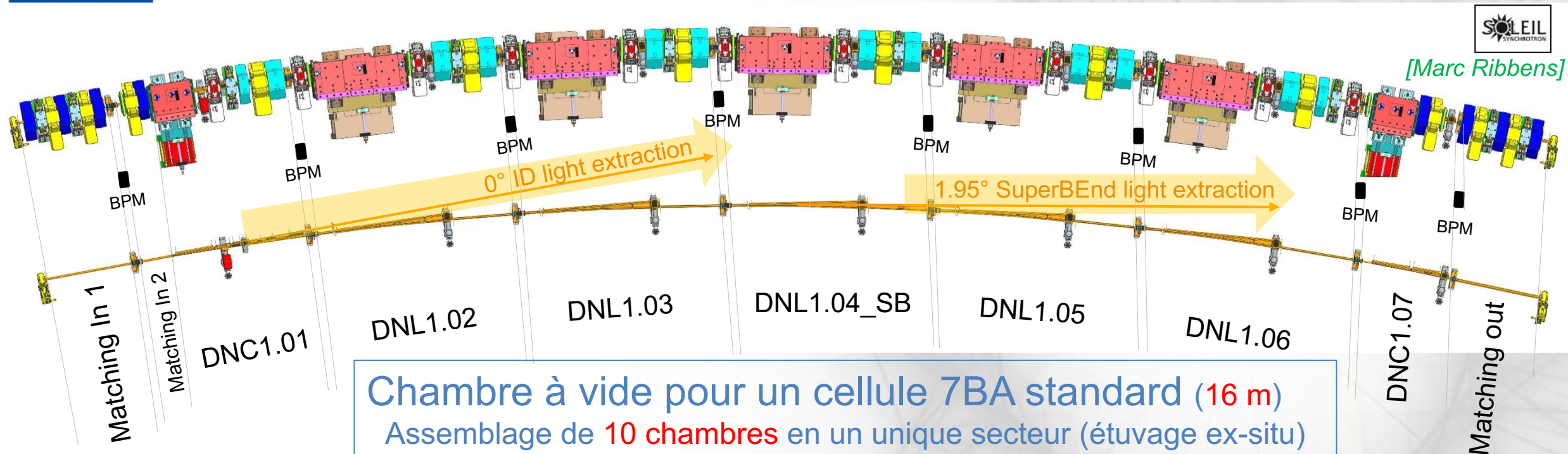
- 284 → 86 poutres
- Standardisation



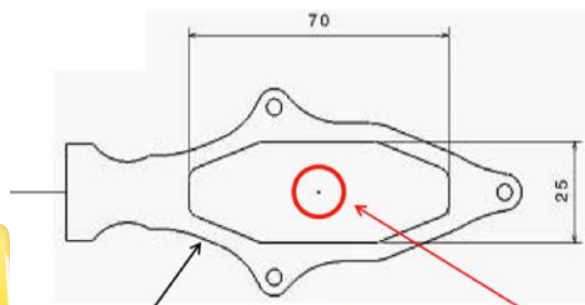
Premier mode propre simulé
autour de 49 Hz



Les Défis des Chambres à Vide des Arcs



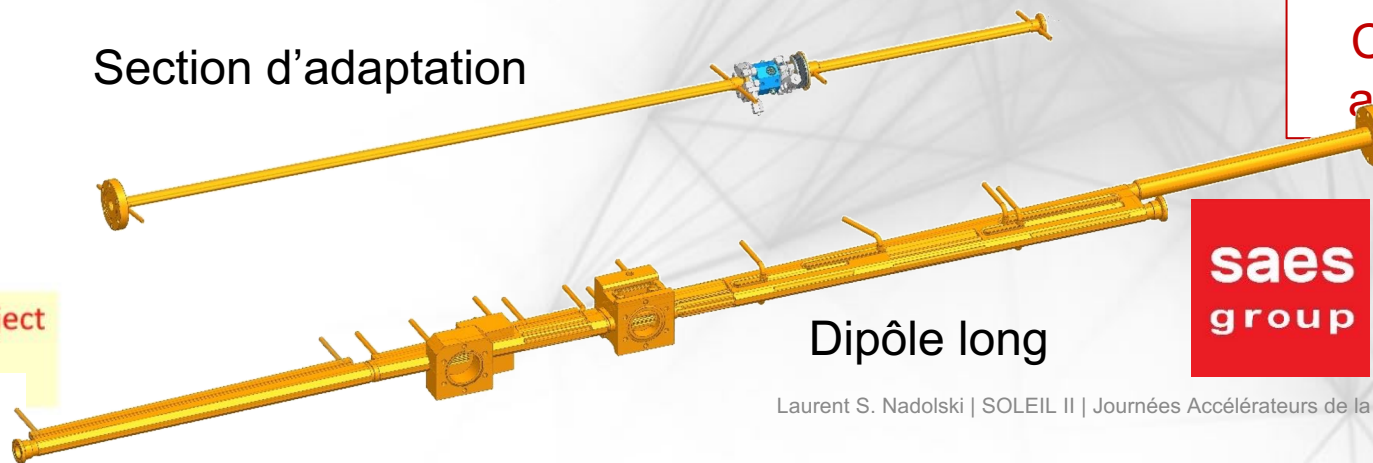
Chambre à vide pour un cellule 7BA standard (16 m)
 Assemblage de 10 chambres en un unique secteur (étuvage ex-situ)



SOLEIL today
 Standard vac. Chamber
 Qpole, Spole

SOLEIL UPGRADE project
 center achromat
Ø 12 mm interne

Section d'adaptation



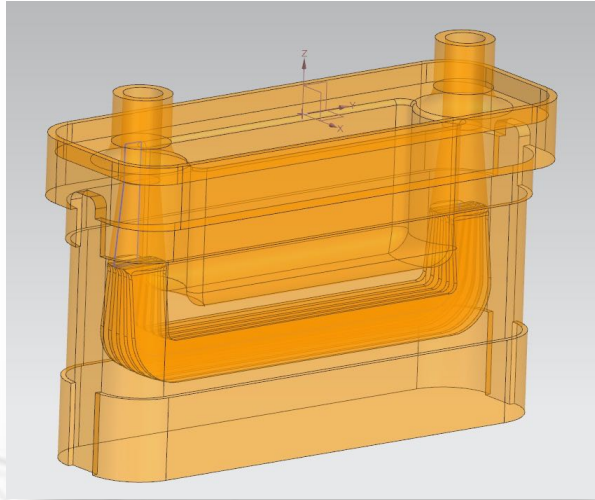
Matériau :
 Cu-OFS ou CuCrZr
 avec dépôt de NEG

Marchés innovants

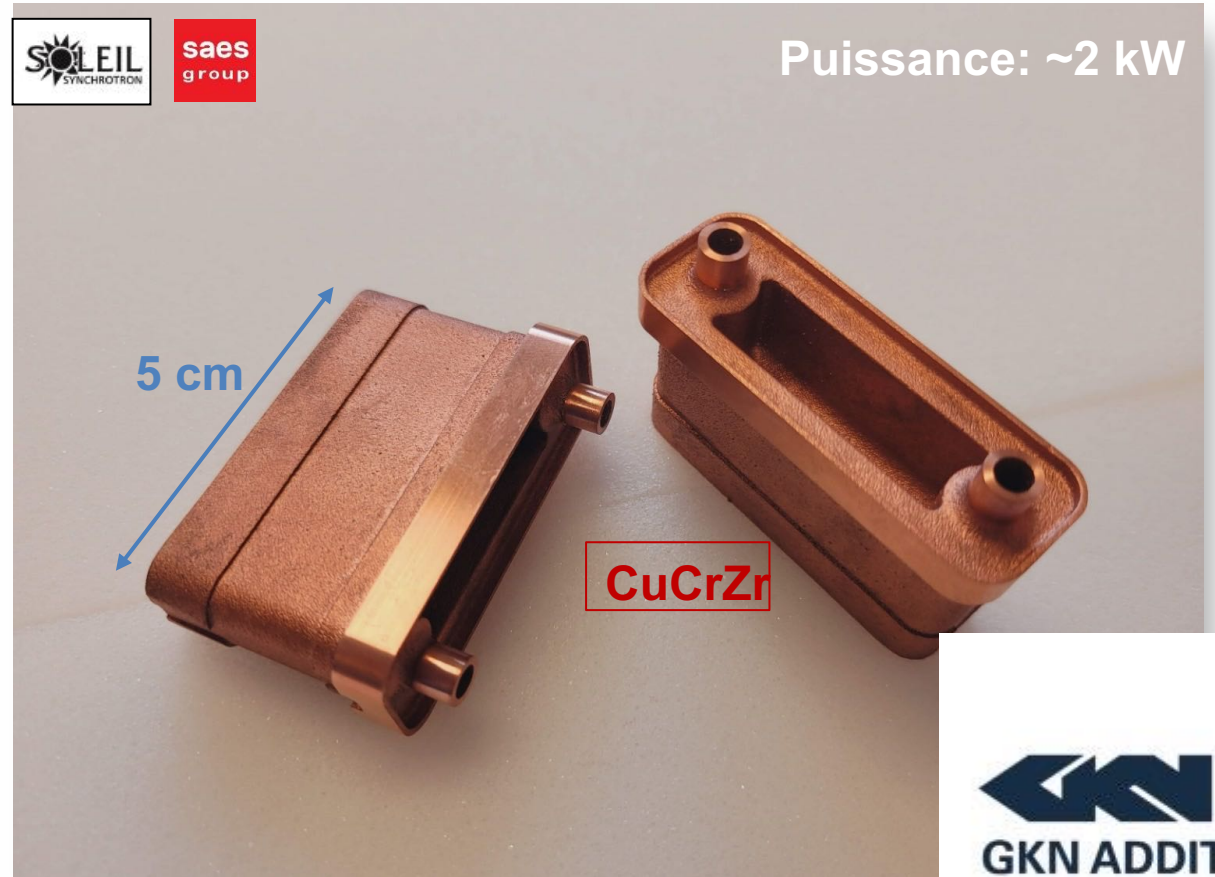


Preuve de Concept d'un Absorbeur Dipôle par Fabrication Additive

[Marc Ribbens ; Keihan Tavakoli]



Dans le cadre de de la collaboration avec SAES : exploration de l'impression 3D pour les absorbeurs crotch des dipôles (tout en conservant la conception mécanique standard)



2 x "blocs **CROTCH**" ont été déjà réalisés en **CuCrZr** par GKN Additive

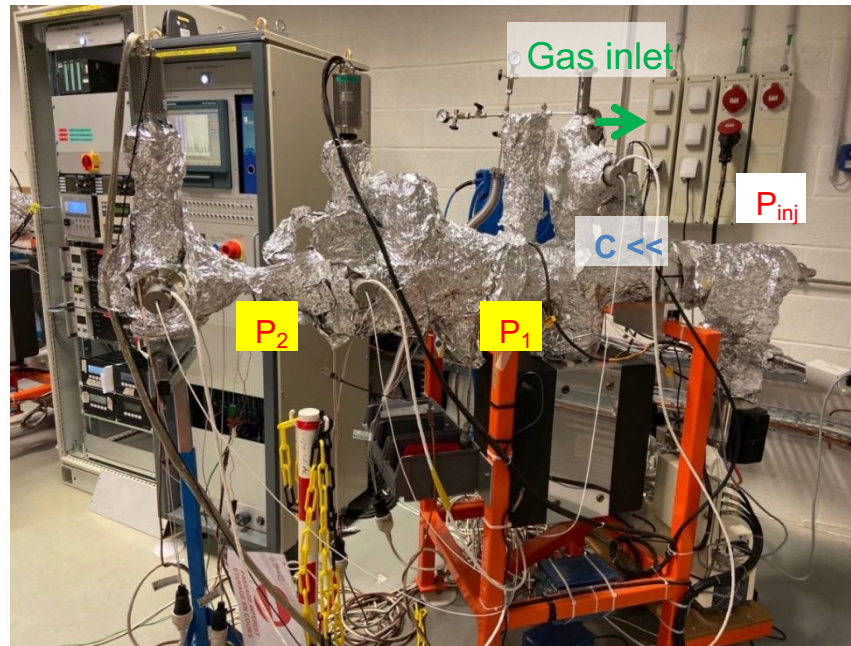
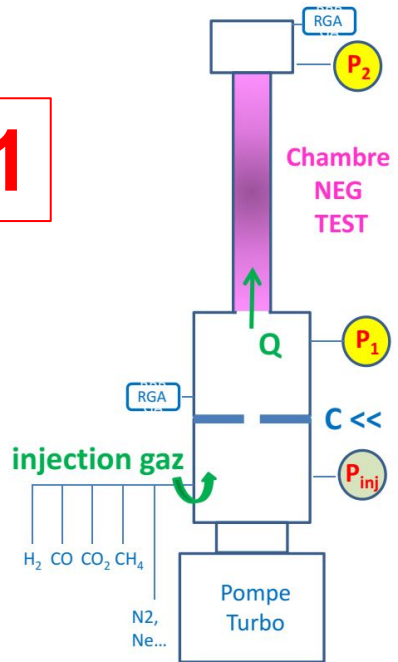
Prêts à être usinés.

Des tests de vide, d'usinage de surface et de soudage sont prévus avec le groupe SAES

Moyens mis en oeuvre :

- 1 - BANCS de test en laboratoire → propriétés “intrinsèques” des NEG [TiZrV, 0,5µm]
- 2 - LIGNE “PSD” sur sortie D08-1 → comportement du NEG sous faisceau
- 3 - Moyens de SIMULATION

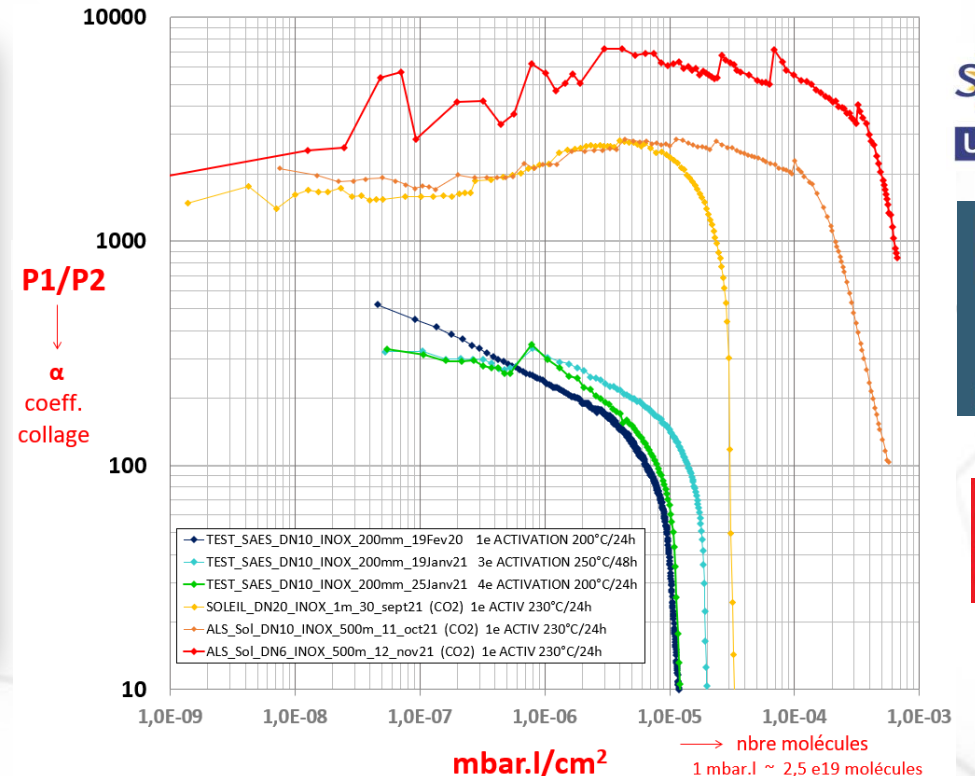
1



Methode de transmission

P. Costa Pinto, P. Chiggiano, A. Sapountzis, T. Sinkovits, M. Taborelli,
CERN

80th IUVESTA Workshop, NSRRC, Hsinchu, Taiwan (2016)

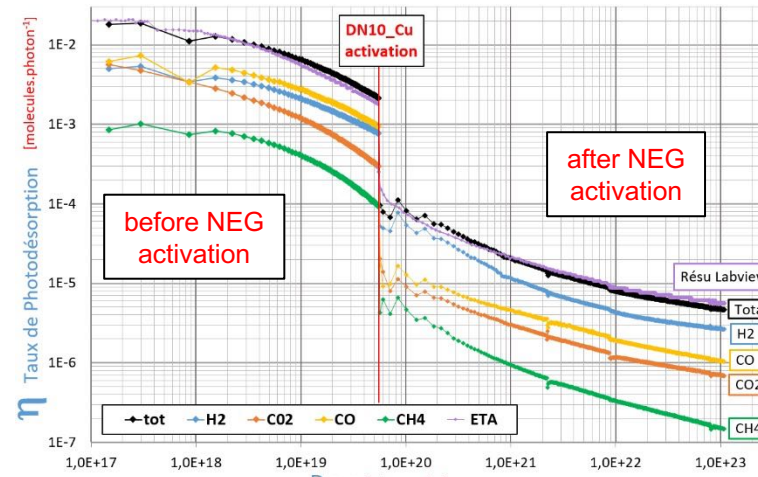


Laurent S. Nadolski | SOLEIL II | Journées Accélérateurs de la SFP 2023 | Roscoff

LIGNE PSD / D08-1



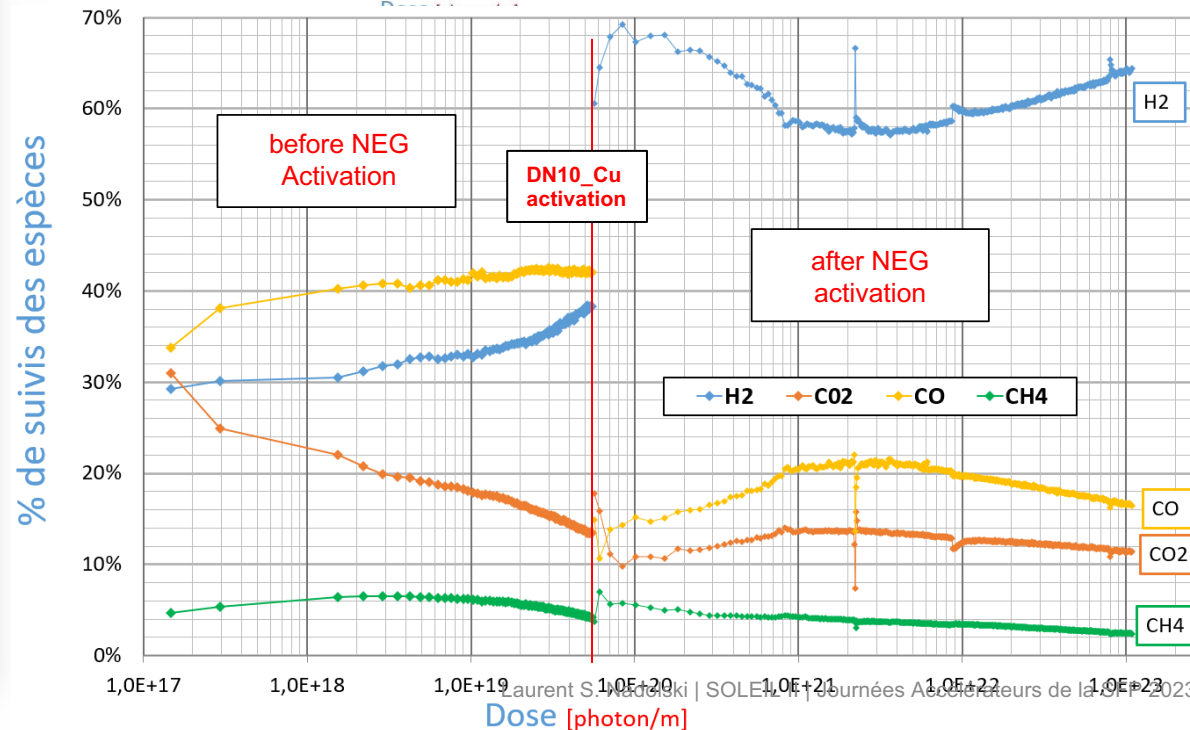
Moyens de Tests et de Simulation



Evolution PSD
Pour \neq espèces
H₂, CO, CO₂, CH₄



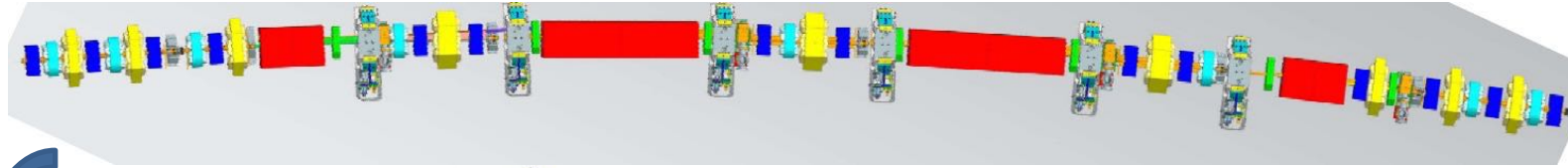
[T. Souske]



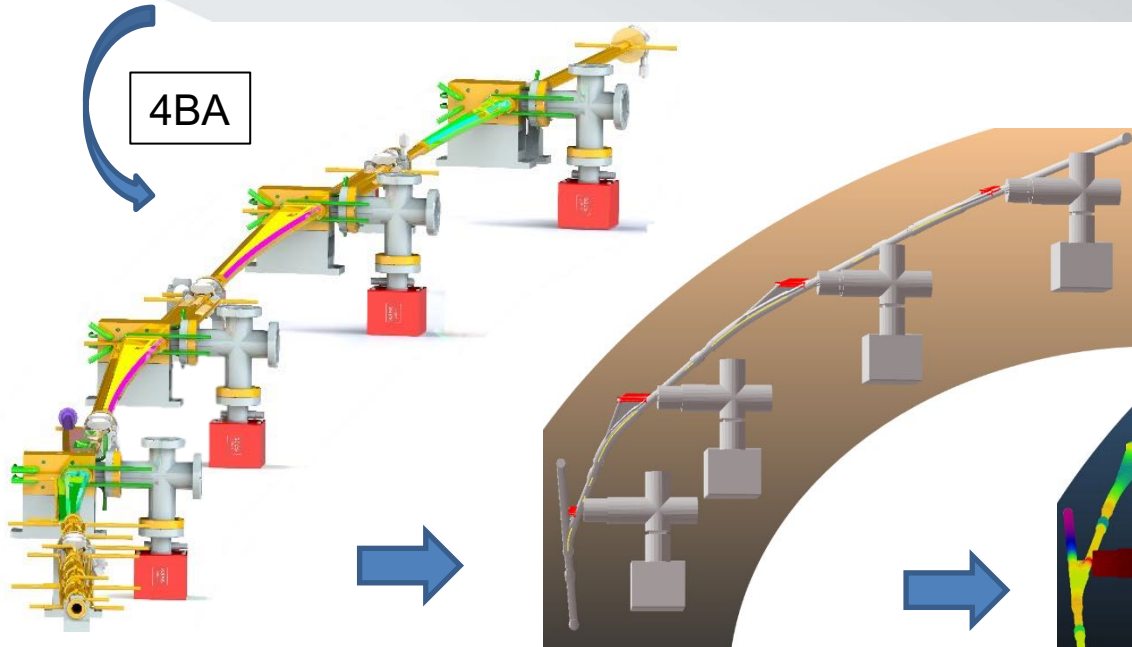
Evolution
des ratios
en
fonction
de la dose

SIMULATIONS

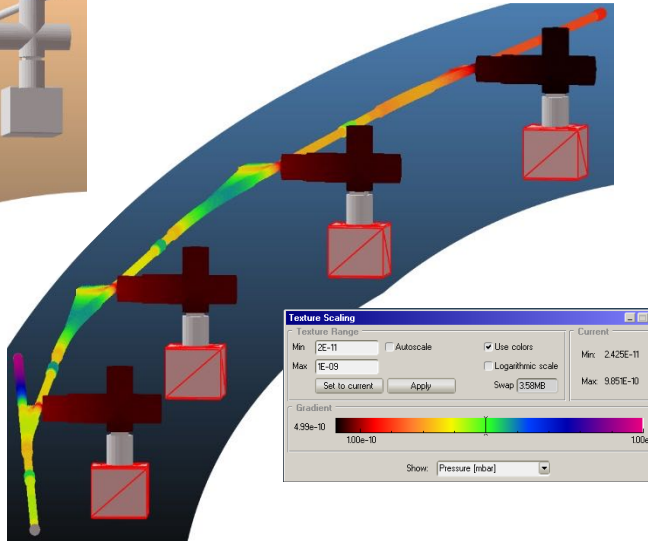
3



4BA



SOLEIL SYNCHROTRON [T. Souske]



3D CAD → fichier STL
Achromat 4BA

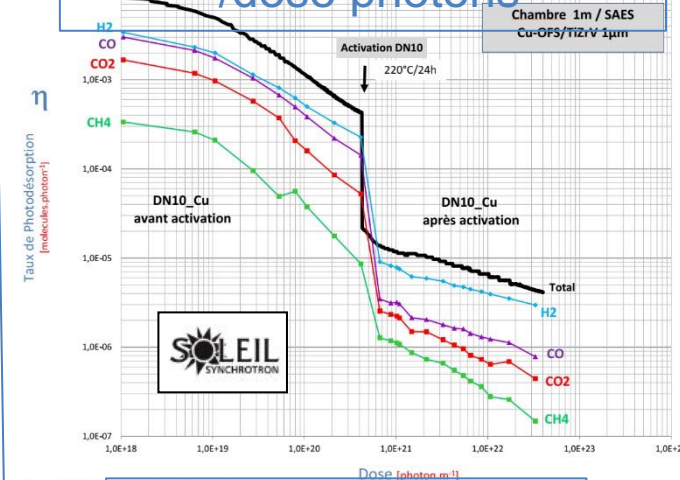
SYNRAD + → Flux de photon sur les parois

MOLFLOW+
→ Pressions partielles H₂ CO CO₂ CH₄

Simulations préliminaires prenant en compte les dipôles seuls sans les rev. bends et les éléments d'insertion

Sans prise en compte de la réflectivité du NEG et de sa structure

Données SOLEIL pour la photo-désorption
PSD taux η
/dose photons



Dépôt NEG sur 100% de l'anneau

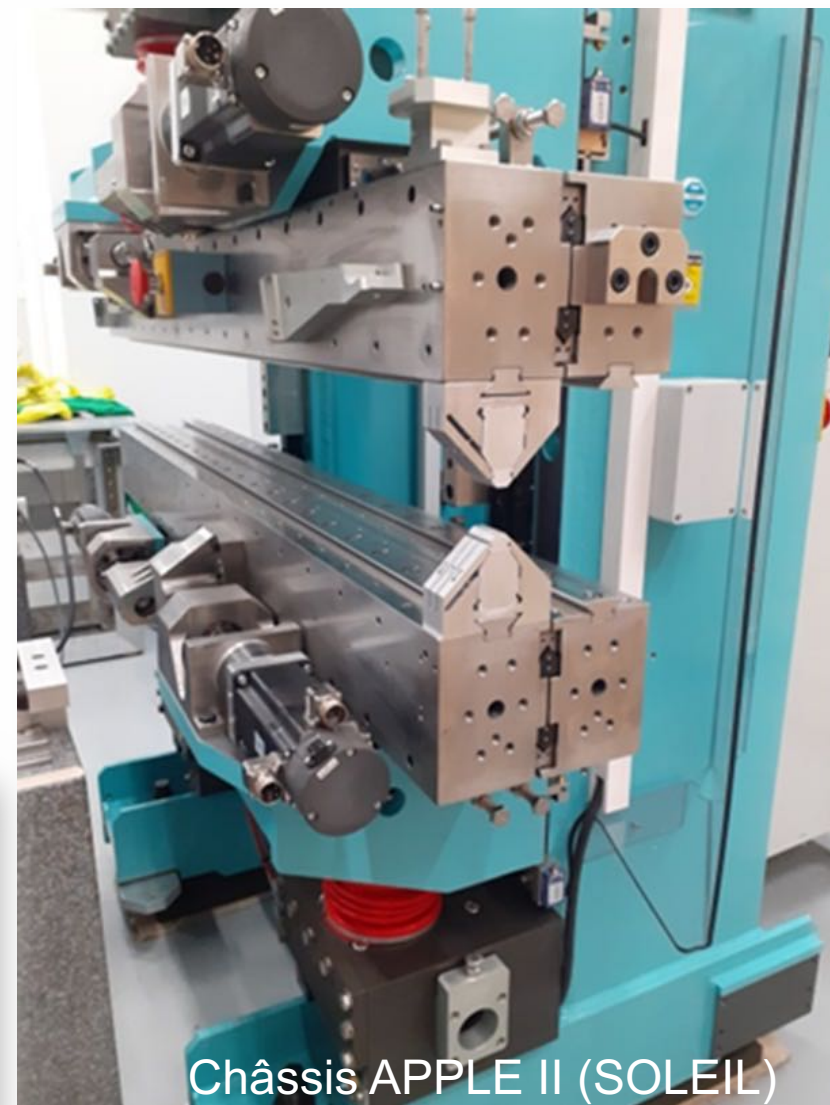
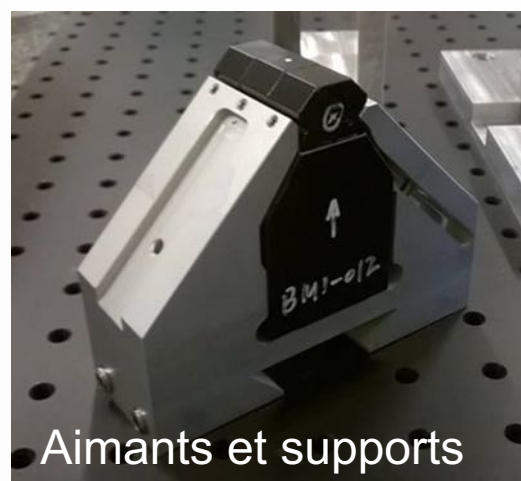
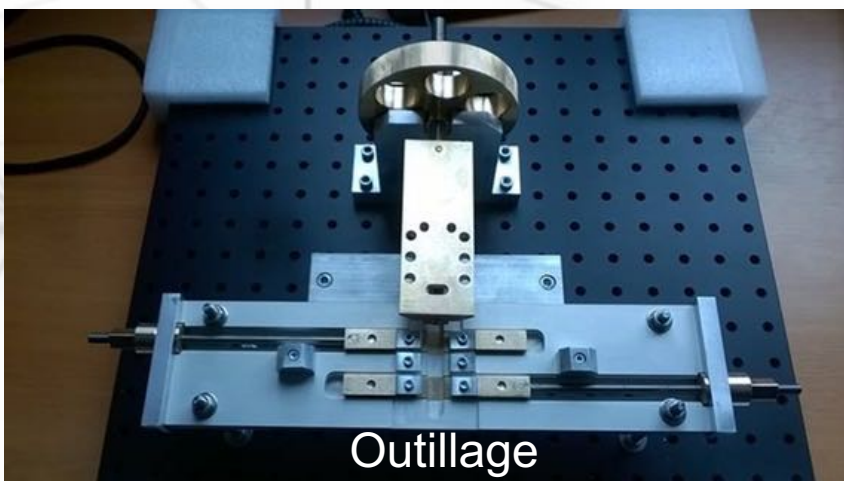
Premières simulations sur un seul gaz → CO

PROTOTYPE d'un Onduleur Bipériodique

Carriage type	Existing APPLEII carriage
Permanent magnet grade	NdFeB
Operation mode	Mechanical shift: 0 mm \rightarrow λ_0 : 50 mm Mechanical shift: 0 mm \rightarrow λ_0 : 150 mm
Magnetization :	
• Period: 50 mm	Required 1.37 T (delivered: 1.38 T)
• Period: 150 mm	Required 1.37 T (delivered: 1.42 T)
Magnetic length	1500 mm
Minimum magnetic gap	14 mm
Maximum magnetic field at minimum gap	λ_0 : 50 mm \rightarrow 0.64 T λ_0 : 150 mm \rightarrow 0.53 T
Spectral range	λ_0 : 50 mm : 320 eV \rightarrow 1370 eV λ_0 : 150 mm 17 eV \rightarrow 450 eV

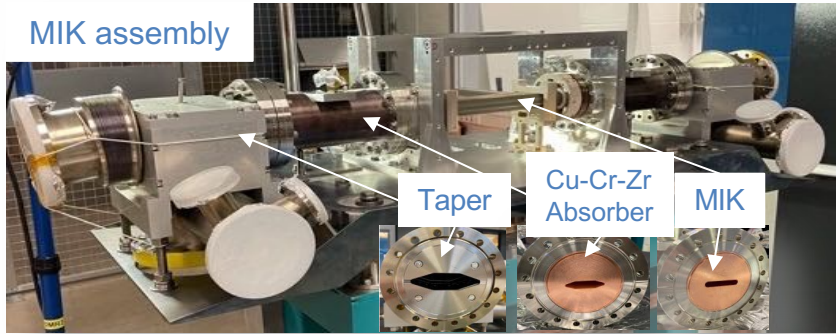
O. Marcouillé
A. Potet

Poster



SOLEIL SOLEIL II

MIK assembly

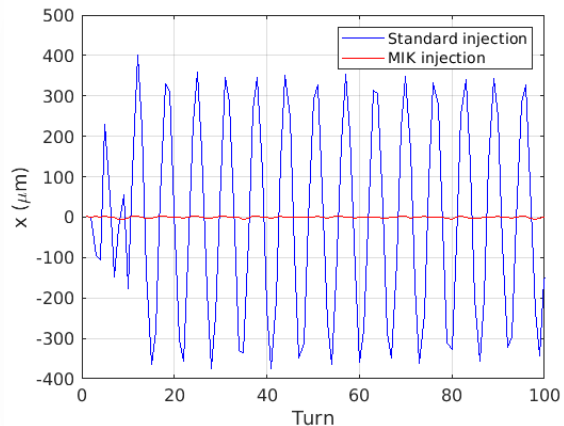


Efficacité d'injection maximale mesurée : 97%

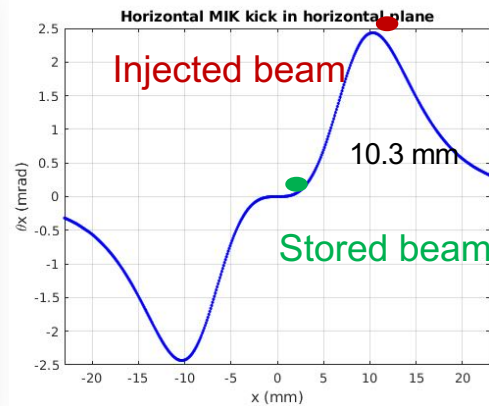
Perturbation de l'orbite fermée < 2% $\sigma_{x,y}$ (avec correcteur actif)

$$\Delta\sigma_x = 3.5\% \sigma_x$$

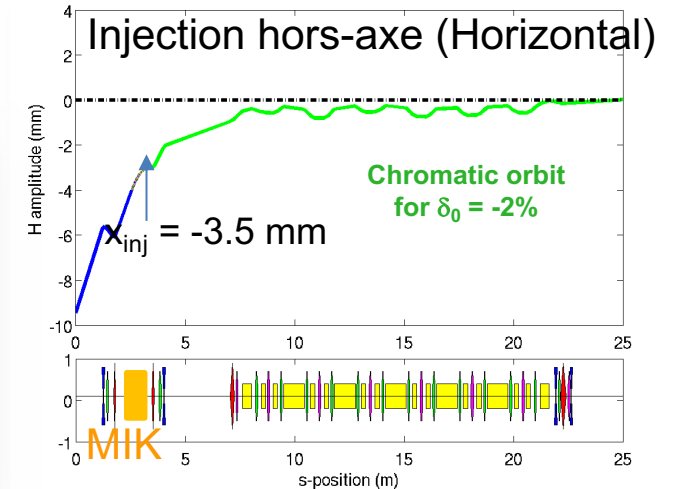
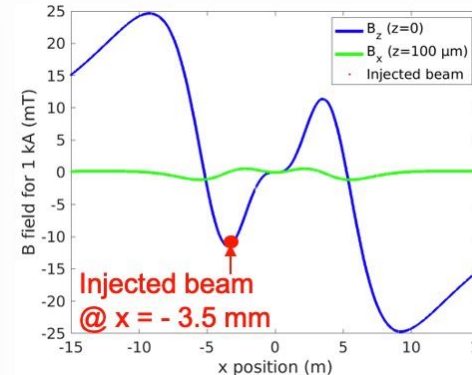
- Un nouveau MIK (Multipole Injection Kicker)
 - Prototype #2: MACOR
 - Test en tension / pulser : 16-18 mT pour 6.5 kV/2 kA
 - Etude thermique et conception mécanique
 - Simulation des effets transitoires
 - Prochaine étape : test sur un accélérateur
- Septum fin collaboration (CERN).



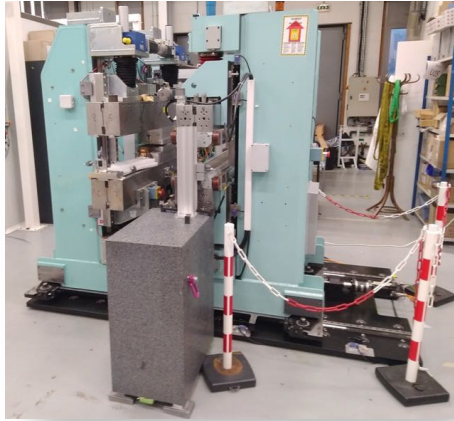
Hors vide



Sous vide



SOLEIL comme Banc de Test pour SOLEIL II



Onduleurs Compacts
Automatisation/robotisation



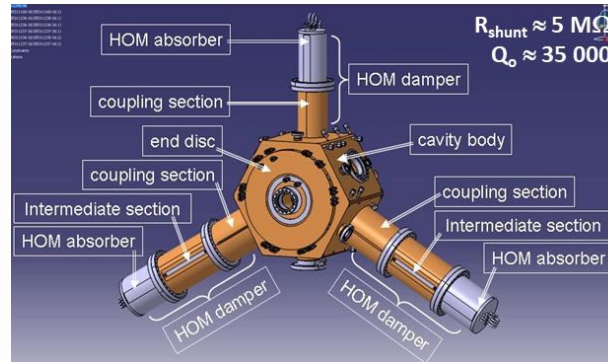
Performance des
Chambres à vide



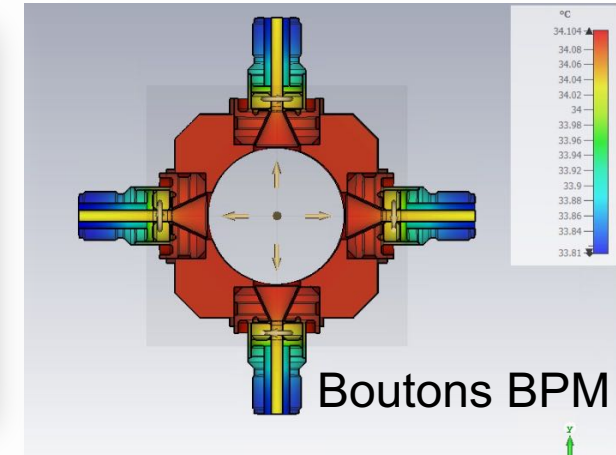
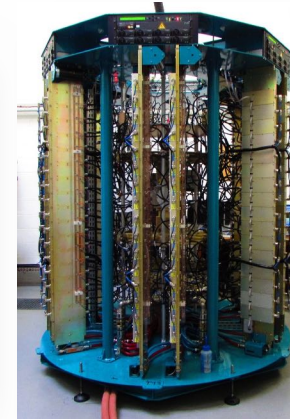
Carte / alimentations



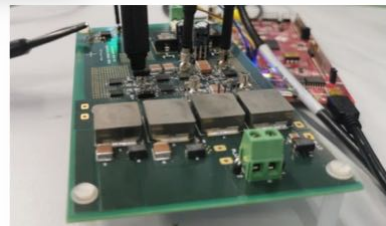
Optimisation énergétique



Cavités EBS-type 352 MHz HOM-damped



Boutons BPM



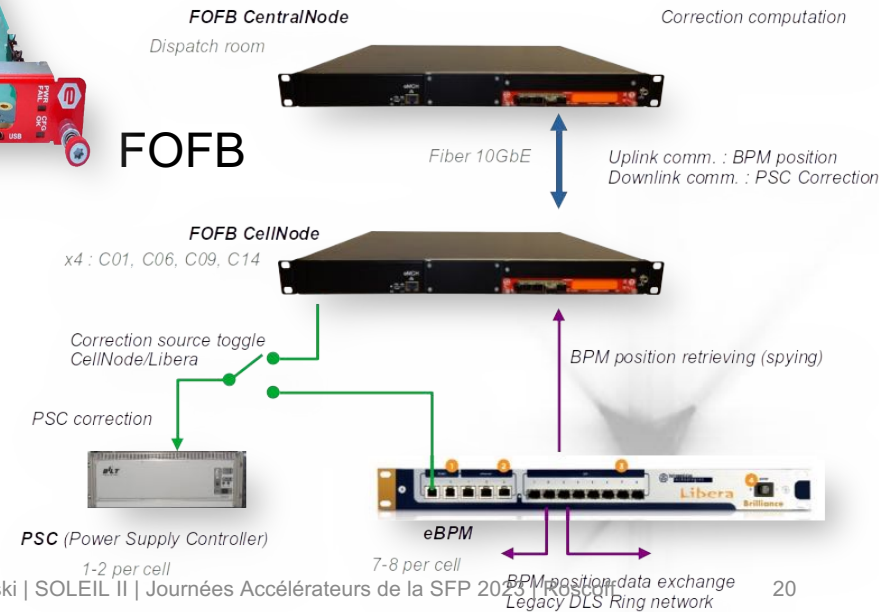
Carte / alimentations

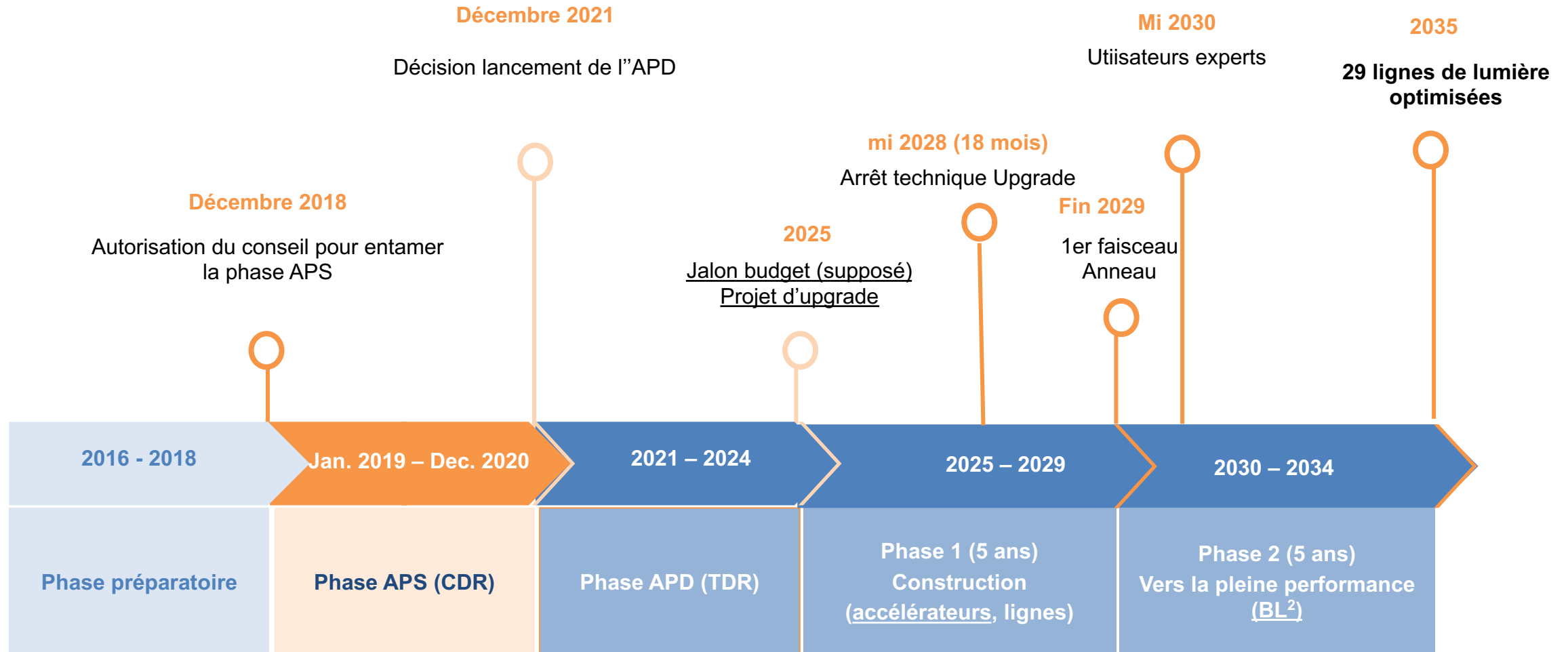


LLRF

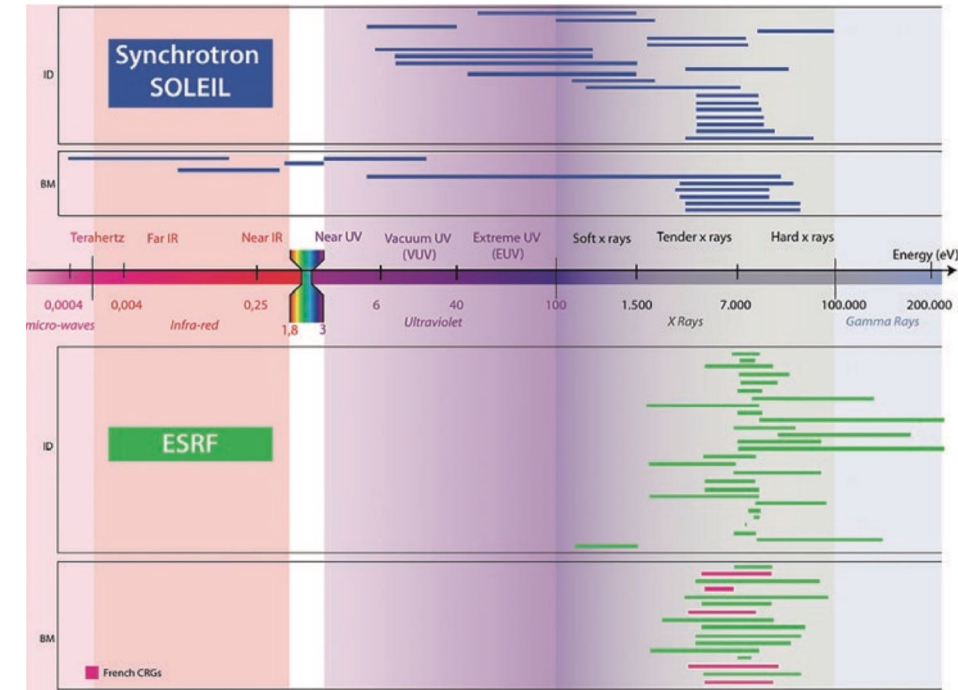
FOFB

Feedback rapide d'orbite





- **SOLEIL : upgrade très ambitieux et complémentaire à l'ESRF-EBS**
 - Un nouveau SOLEIL pour la science de demain
 - La plus haute brillance dans sa catégorie ne résulte pas d'une recherche de la performance à tout prix mais est un gage d'adaptabilité à l'avenir.
 - Un triple upgrade : Anneau / Booster, Lignes de lumière / laboratoires, Informatique
- **Asseoir la faisabilité technique à travers**
 - Une intense phase R&D avec les différents prototypes
 - Des tests in-situ (SOLEIL, MAX-IV, etc.)
- **Finir l'intégration mécanique de l'anneau d'ici le printemps**
- **Valider la stratégie d'alignement corrélé sur une poutre (10 µm RMS)**
- **Interfaces fortes avec le programme Expériences BL² et le programme transverse informatique**
- **Les Injecteurs**
 - Montée en énergie de LINAC à 150 MeV (pré-upgrade)
 - Finaliser l'intégration mécanique du BOOSTER 5 nm.rad
- **Consolidation des plannings et des surfaces de stockage**
- **Préparation des premiers appels d'offres**




**EXPÉRIENCES
JUSQU'À 10 000 FOIS
PLUS RAPIDES**



**RÉSOLUTION À L'ÉCHELLE
NANOMÉTRIQUE**



**EXPÉRIENCES
JUSQU'À 1 000 FOIS
PLUS SENSIBLES**



**ÉTUDE DE DISPOSITIFS
EN CONDITIONS RÉELLES
DE FONCTIONNEMENT**



**SOURCE DE LUMIÈRE
UNIQUE, DE L'INFRAROUGE
AUX X DURS**



**DES LIGNES DE LUMIÈRE
ET DES TECHNIQUES
COMPLÉMENTAIRES**

Des questions ?



Synchrotron SOLEIL
L'Orme des Merisiers Saint-Aubin
BP 48 - 91192 Gif-sur-Yvette Cedex
www.synchrotron-soleil.fr





Annexes



Stratégie Scientifique de l'Upgrade



Matériaux avancés

Matériaux quantiques
Ingénierie des matériaux



Combinaison de techniques spectroscopiques et structurales –
nm, >mV, >50 mK, > 10ps



Qubits, Ordinateur quantique



Energies renouvelables

Production
Conversion et stockage
Impact environnemental et économie circulaire



Résolution spatiale (quelques nm), évolution de l'état chimique
et des propriétés physique, *in situ, operando*



Conversion de biomasse, Photovoltaïque



Biologie et Santé

Pathogènes (ré)émergents dans leur environnement
Besoin de diagnostic Clinique rapide
Santé et maladie des plantes – alimentation, changement
climatique



Procédures innovantes de préparation d'échantillons pour les
expériences multimodales, les cellules vivantes, les tissus, les
petits organismes, l'imagerie haute résolution avec la
tomographie CryoEM, CryoET et Soft Xray



Bactéries multi-résistantes



Terre et Environnement

Atmosphère et réchauffement climatique
Surface de la Terre, pollution



Spéciation chimique dans des systèmes interfaciaux complexes,
sensibilité chimique à haute résolution spatiale, analyse multi-
échelles des transferts de polluants, détection des ultra-oligo-
éléments.



Réchauffement climatique, Dépollution



EXPÉRIENCES JUSQU'À
10 000 FOIS PLUS RAPIDES



RÉSOLUTION À L'ÉCHELLE
NANOMÉTRIQUE



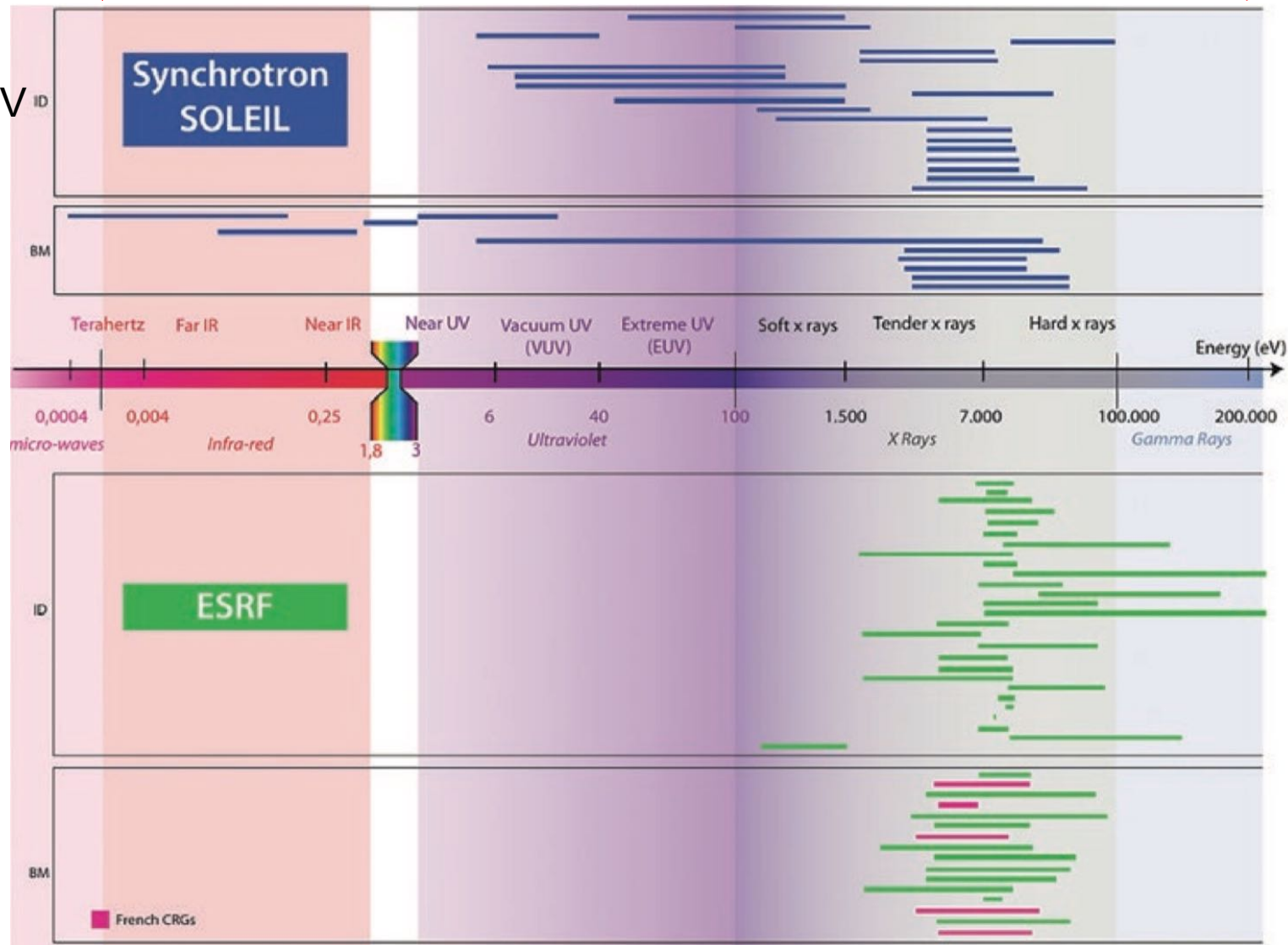
EXPÉRIENCES JUSQU'À
1 000 FOIS PLUS SENSIBLES



ETUDE DE DISPOSITIFS
EN CONDITIONS RÉELLES
DE FONCTIONNEMENT

Domaine spectrale très large : 9 ordres de grandeur

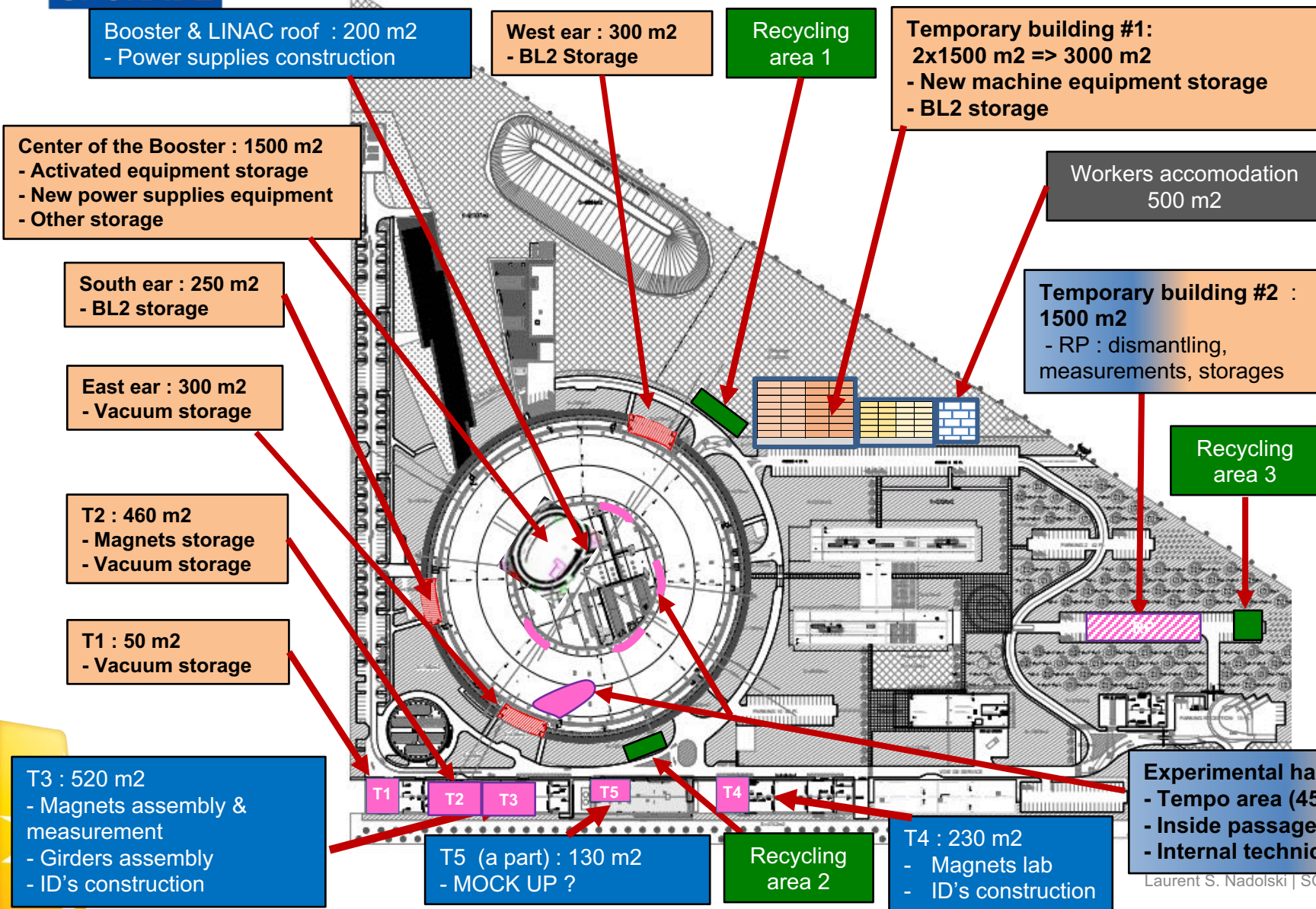
2.75 GeV
354 m



6 GeV
844 m

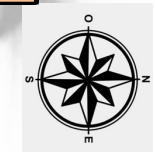
Building Needs for Storage, Assembly, and Construction

UPGRADE



Estimated areas (Existing, transformed, temporary) - m ²	10 900	on site	9 900
		off site	1 000
Estimated area requirements - m²	> 10 500	Machine	5 000
		Beamlines	3 500
		RP	1 500
		Workers	500
		Cooling Cables Control Booster	?

- STORAGES
- WORKSHOP
- STORAGES & WORKSHOP



Upgrade de SOLEIL

Un grand mouvement mondial est en cours pour construire **les anneaux de stockage de la quatrième génération**, en baissant très significativement l'émittance horizontale ϵ_x du faisceau d'électrons :

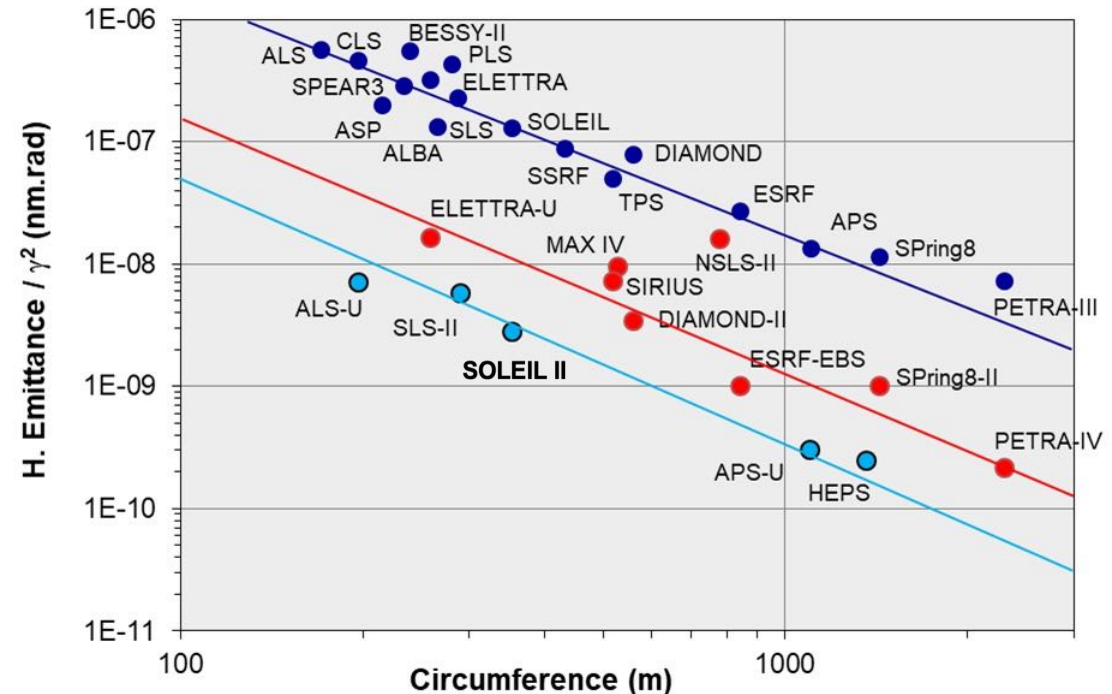
- Nouvelles sources : MAX-IV (Suède), SIRIUS (Brésil)
- Upgrade : ESRF-EBS (Grenoble)

$$\epsilon_x \approx F(\text{maille}) \frac{E^2}{N^3}$$

E : Energie d'électrons
 N : Nombre des dipôles

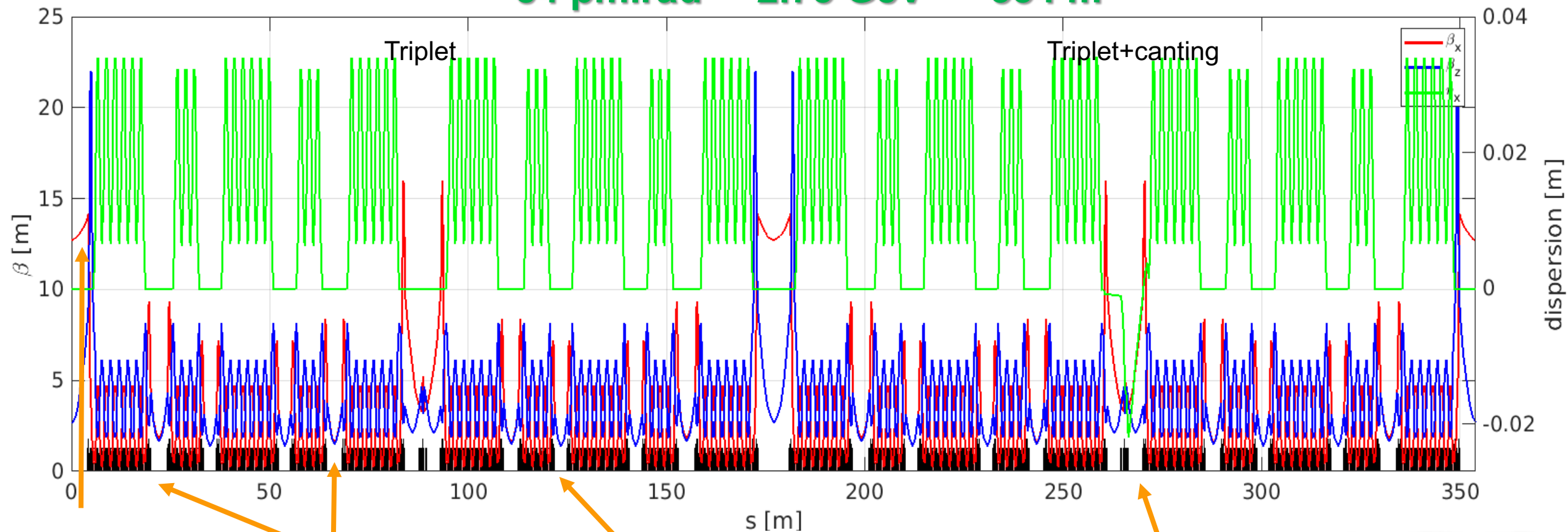
Structure magnétique de type
Multi-bend Achromat ($N > 3$)

Facility	Energy (GeV)	ϵ (pm.rad)	Lattice	Status	Shutdown
ESRF-EBS (EU)	6 (844m)	140	7BA	Open	2019-20
APS-U (USA)	6 (1104m)	42	7BA	Under Const.	2022-23
SLS-II (CH)	2.7 (290m)	160	7BA	TDR	2023-24
ALS-U (USA)	2 (197m)	109	9BA	TDR	2024-25
ELETTRA (I)	2 (259m)	250	6BA	TDR	2025-26
Diamond-II (UK)	3.5 (562m)	150	7BA	TDR (CD1)	2025-26
PETRA-IV (D)	6 (2304m)	30	7BA	TDR	2025-26
SOLEIL (F)	2.75 (354m)	80	7BA-4BA	CDR	2027-28
SPring-8-II (Japan)	6 (1435m)	140	5BA	Study	
SSRF-U (China)	3 (432m)	203	7BA	Study	



SOLEIL II : maille de référence TDR

84 pm.rad 2.75 GeV 354 m



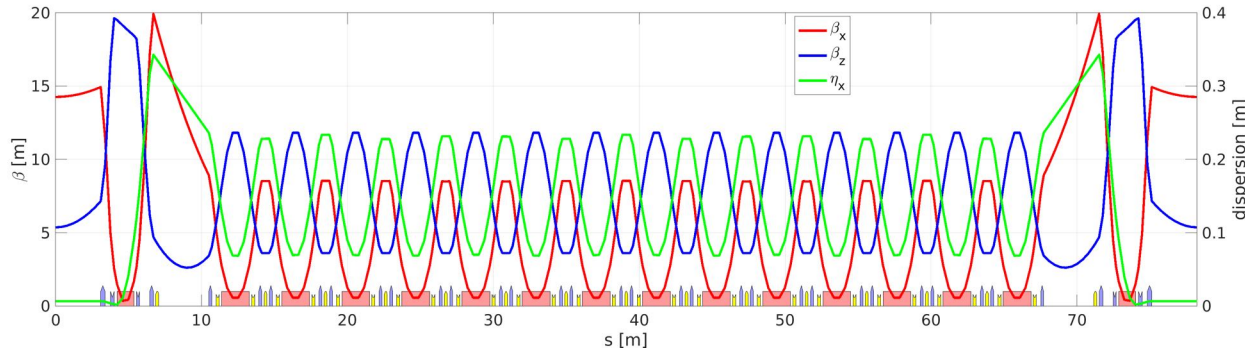
Injection
 $\beta_x \sim 12.8 \text{ m}$
 $L = 7.35 \text{ m}$

Section moyenne
 $\beta \sim 1.5 \text{ m}$
 $L = 4.2/4.7 \text{ m}$

Section courte
 $\beta \sim 1.4 \text{ m}$
 $L = 3.1 \text{ m}$

Section cantée (9 m)
 Ajout d'une chicane et d'un triplet
 de quadripôles

- Two top-up injection schemes into the storage ring upgrade still being studied: betatron off-axis injection and on-axis chromatic injection, using the MIK device. Both need a drastic reduction of booster emittances in transverse and longitudinal planes at the extraction energy.



- 16BA HOA type lattice: 14 unit cells including combined function dipole (D+TG), two matching cells, a 6.2 m long straight section and two 3.44 m short straight sections.
- Reuse of the 2 RF systems at the same place in short straights (copper units each comprising 5 cells @ 352 MHz, LEP type).
- Reuse of the injection system, necessary renewal of the extraction system. Thick septum of booster extraction foreseen in permanent magnet and mutualized with the SR injection one, to minimize the angular/position jitter of the injected beam into storage ring.

Parameter	Unit	Target	Present booster	New designed booster
Energy range	GeV	0.15 – 2.75	0.1 – 2.75	0.15 – 2.75
Circumference	m	-	156.6	156.46
Natural Emittance	nm.rad	< 10	140	5.2
RMS Bunch Length	ps	< 25	50 @ 3 MV	25 @ 3 MV
Nat. Chromaticities	-		[-7.3, -5.8]	[-27, -12]
M.C.F.	-		$2.8 \cdot 10^{-2}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$
Energy Loss per Turn	keV		409	554
Energy Spread	-		$0.66 \cdot 10^{-3}$	$0.93 \cdot 10^{-3}$
Max. RF voltage	MV		3.6	3.6

