

Le synchrotron **SOLEIL**



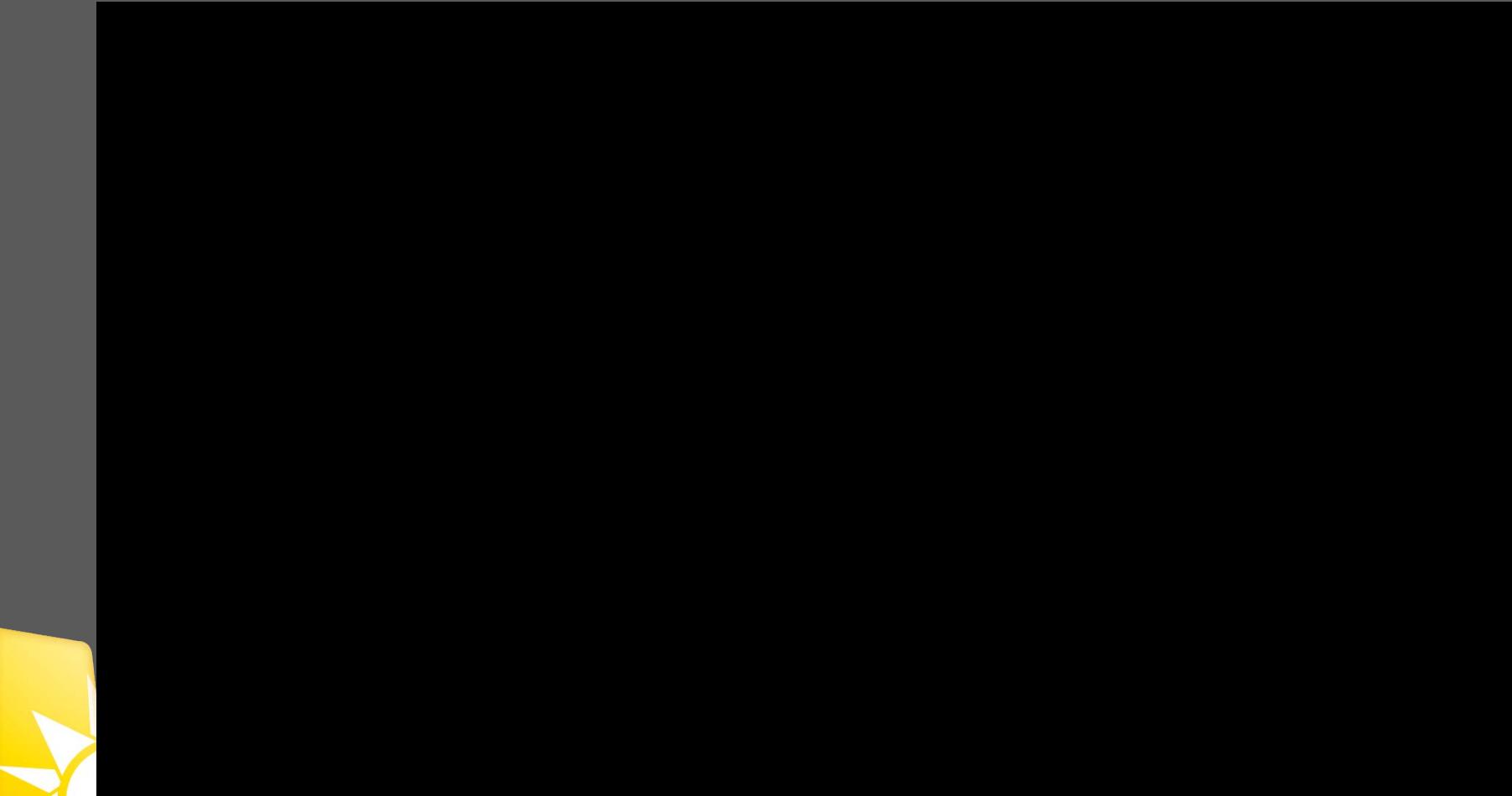
Centre de Recherche



360 personnes en permanence,
80 % des salariés exercent un métier scientifique ou
technique

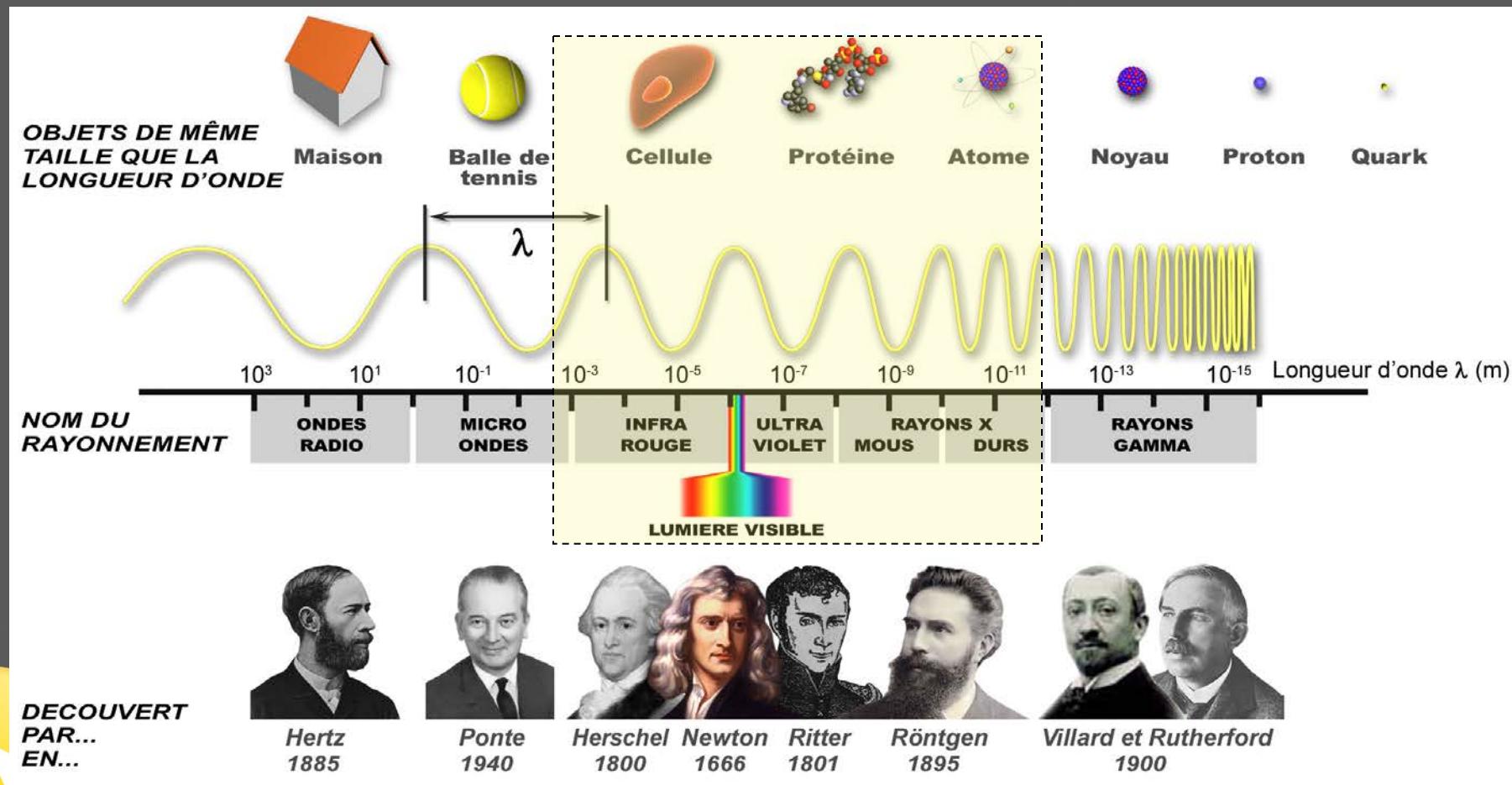


Que fait-on à SOLEIL ?



Source de lumière

Des IR lointains aux RX durs



Applications



Biologie



Médecine



Pharmacie



Cosmétique



Chimie



Archéologie,
Patrimoine Culturel



Energie,
Environnement



Matériaux,
Nanotechnologies



Agroalimentaire

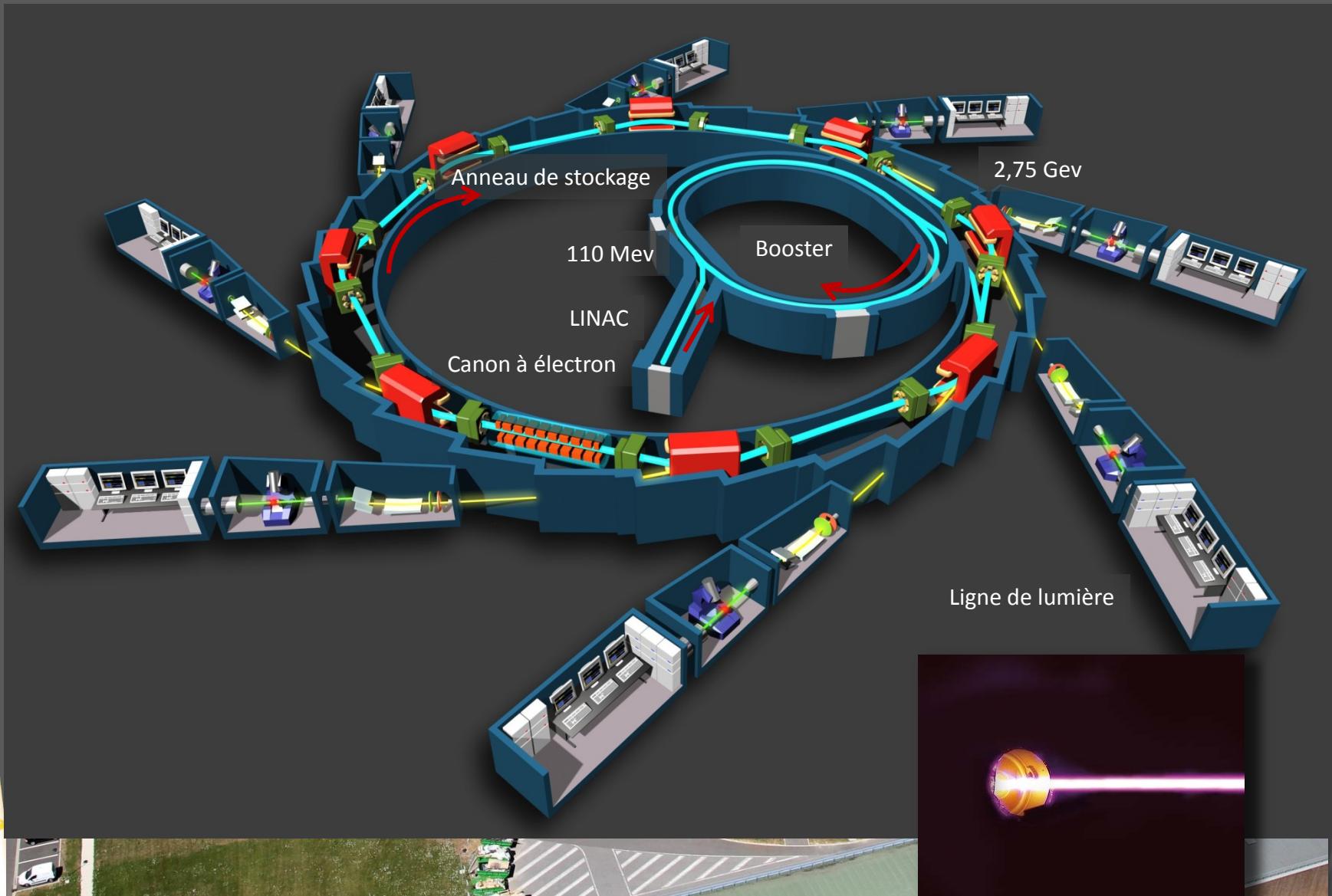


Astrophysique



Géophysique

Son fonctionnement



Le fonctionnement de la machine



La machine en image



Linac



Booster
Cavité accélératrice
(352 MHz)

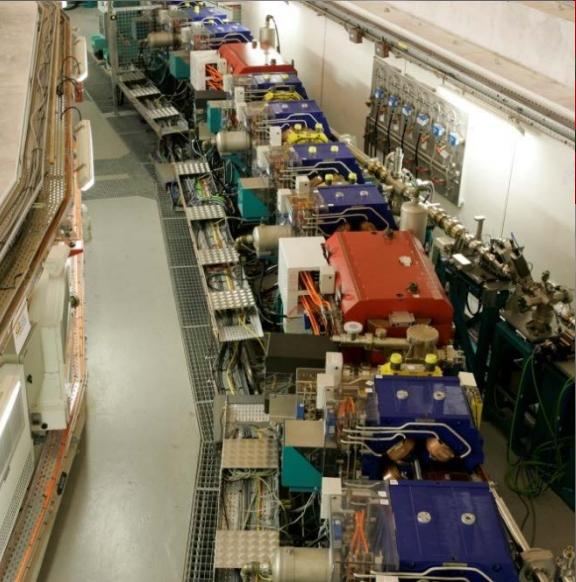


Anneau de stockage
Cavité accélératrice
(352 MHz)

Anneau de stockage



Focalisation
du faisceau
d'électrons
quadrupôle
sextupôle



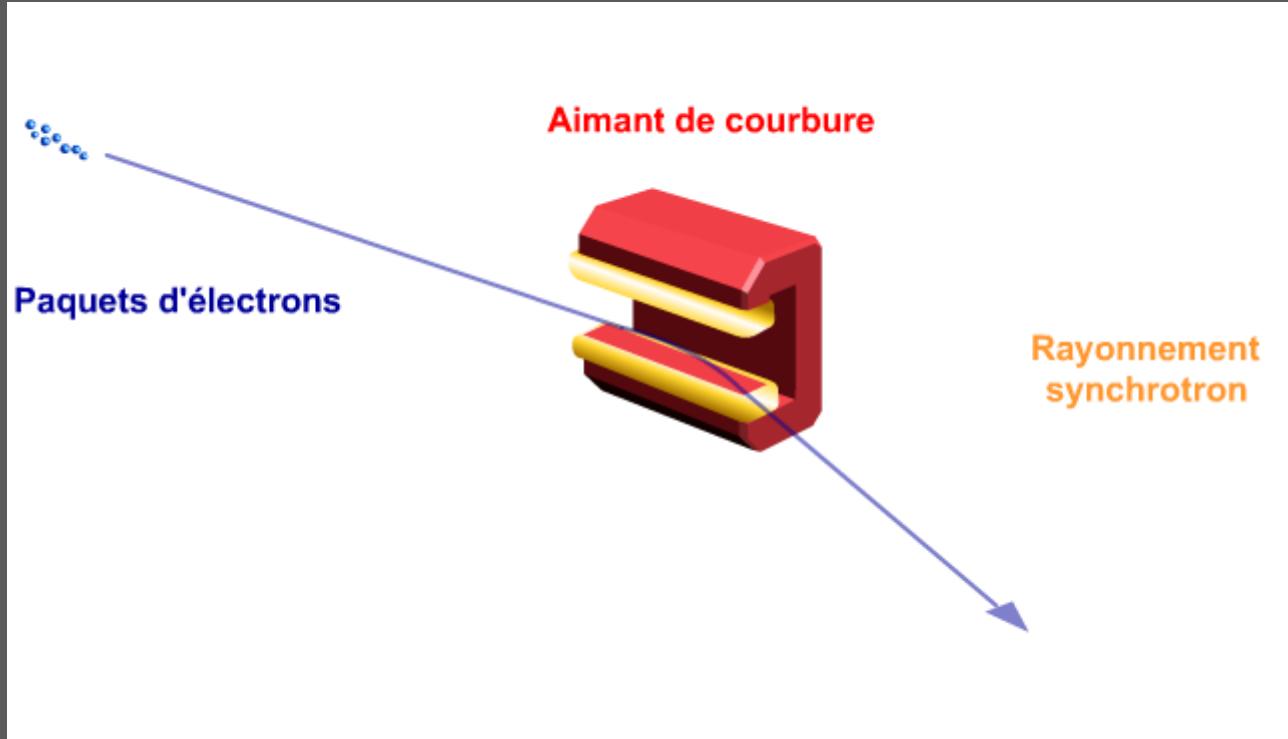
Production de
lumière
dipôle
onduleur



Production du rayonnement sur dipôle

Le rayonnement synchrotron est produit lorsque des particules chargées (**électrons**) et très **rapides** sont déviées par un **champ magnétique**

Les longueurs d'onde de ce rayonnement vont de **l'infrarouge aux rayons X**.



Continu et accordable
Brillant

Pulsé (50 ps toutes les 3 ns)
Stable en position et en intensité
Polarisé

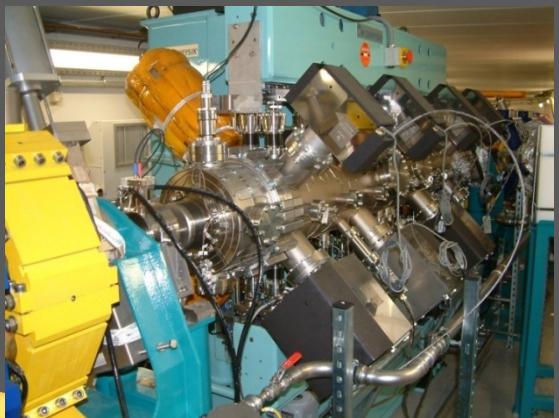
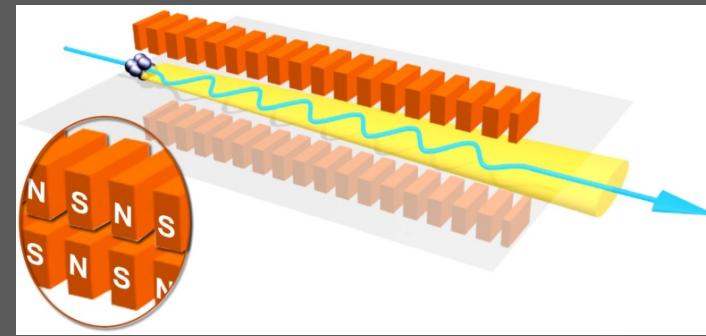
Production du rayonnement sur onduleur



HU 640 : ligne DESIRS
(5 eV – 50 eV : Ultra Violet)

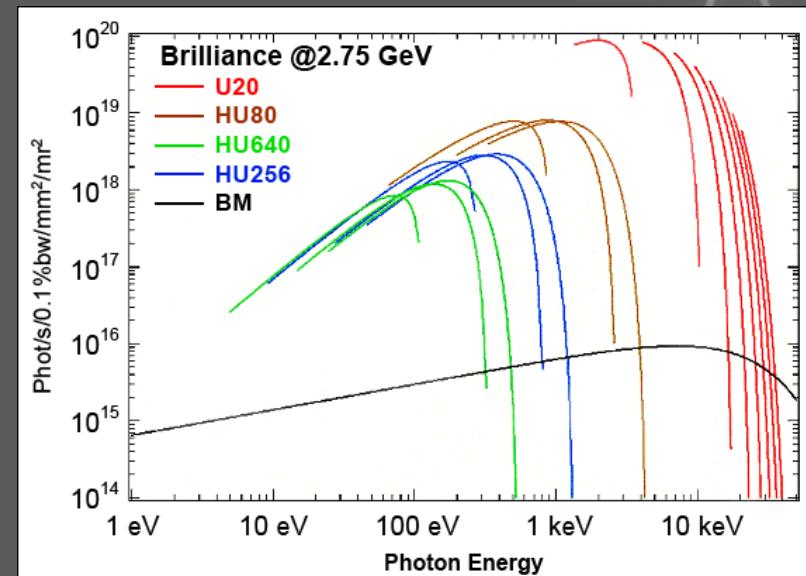


HU 80 : ligne TEMPO
(100 eV - 3 keV : Rayons X mous)



U 20 : ligne PROXIMA
(4 keV - 30 keV : Rayons X durs)

*Brillance,
Polarisation,
Gamme spectrale*



Les onduleurs

Interférences le long des N périodes:
raies discrètes de largeur spectrale
en $1/N$ et d'intensité pic en N^2

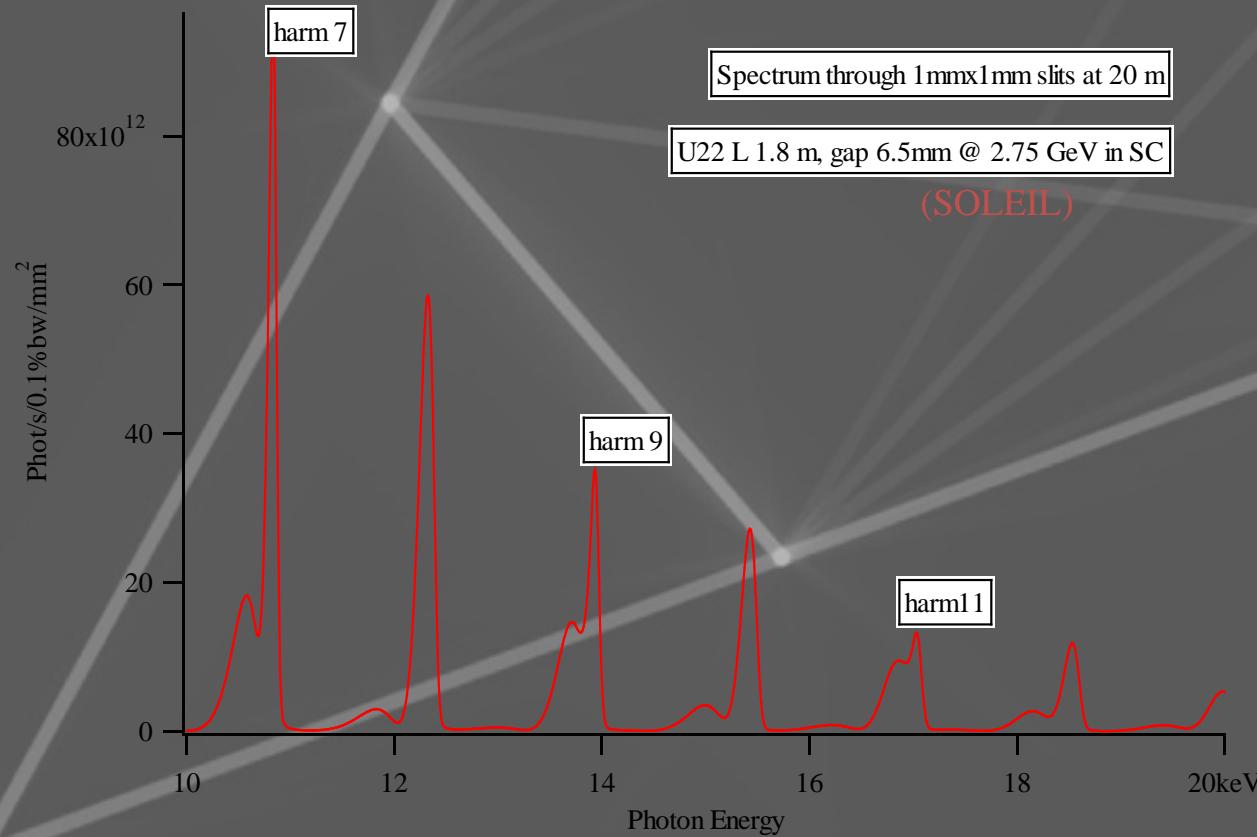
longueur d'onde émise à l' harmonique n

$$\lambda_n = \lambda_u(1 + \gamma^2 \theta^2 + K^2/2) / (2n \gamma^2)$$

λ_u est la période de l'onduleur

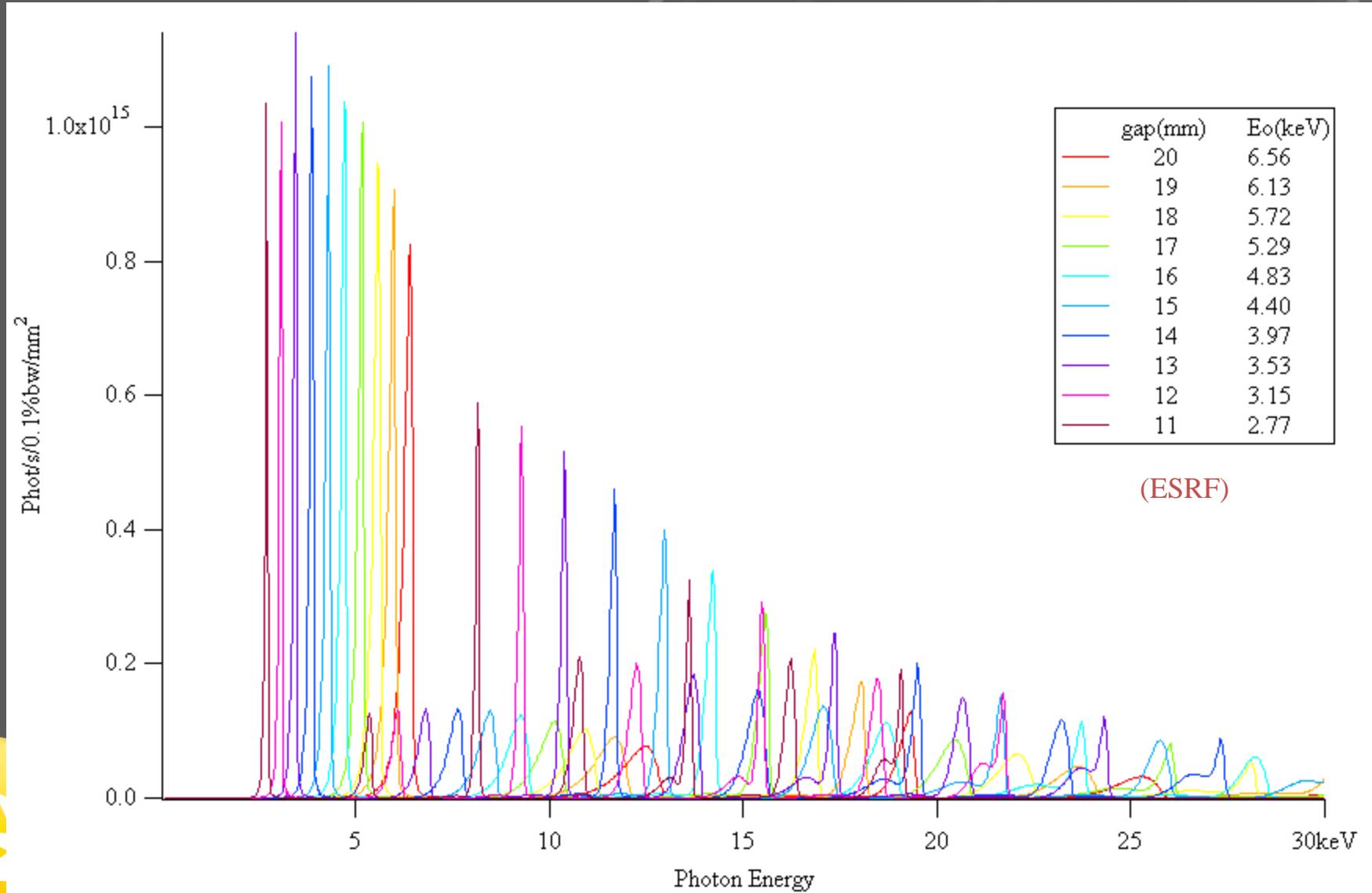
$$K = B\lambda_u$$

$$\gamma = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

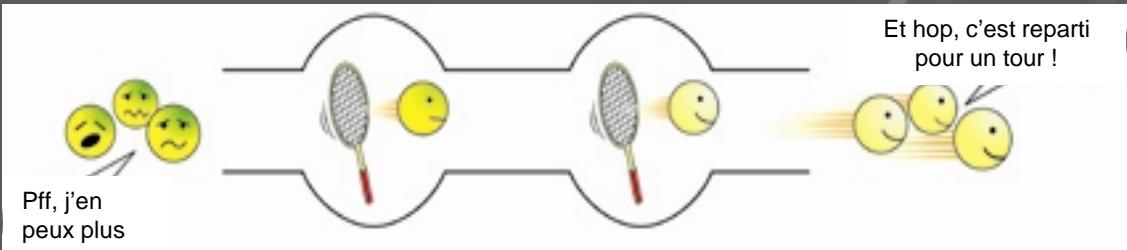


L'énergie des photons émis est choisie en ajustant l'entrefer de l'onduleur

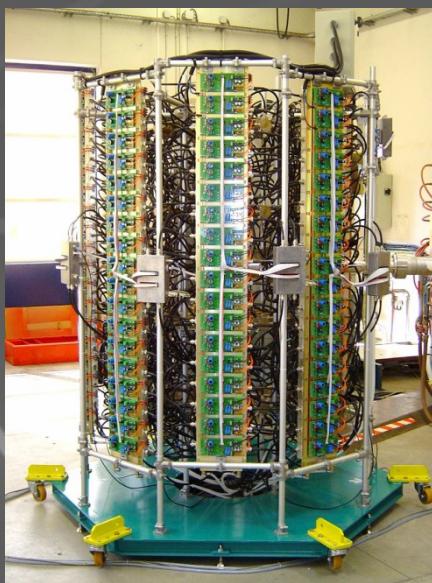
Les onduleurs



Les cavités accélératrices



Cavité radio fréquence supra en cuivre avec dépôt de Niobium (352 MHz)



4 tours d'ampli par cavité
50 kW de puissance chacune
2 Cavités par cryomodule

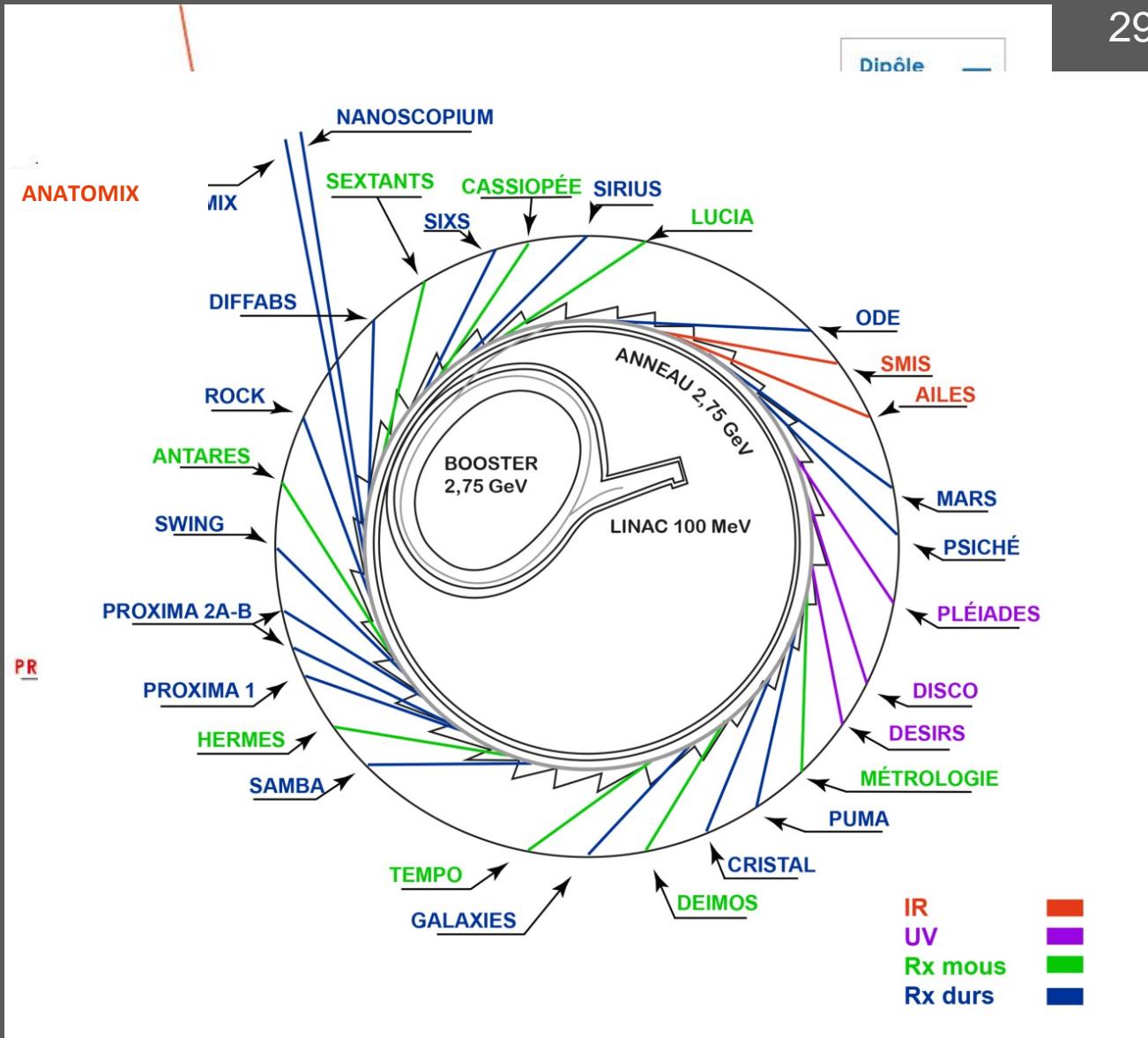


Cryomodule
Cuve à hélium liquide (-269°C)

Elles restituent l'énergie perdue par les électrons

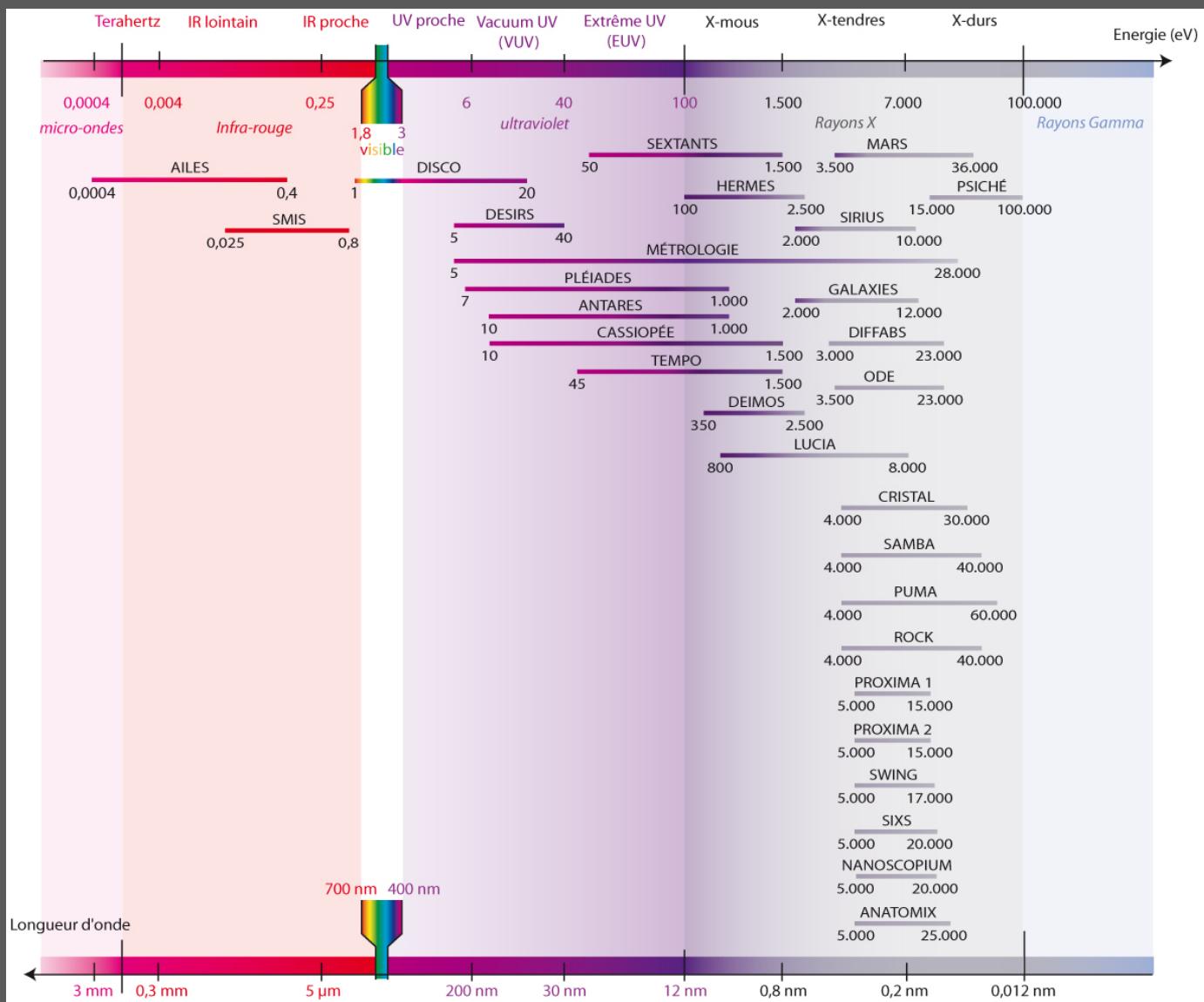
Source de lumière

29 lignes de lumière



Source de lumière

29 lignes de lumière



À quelle échelle ?

Atome

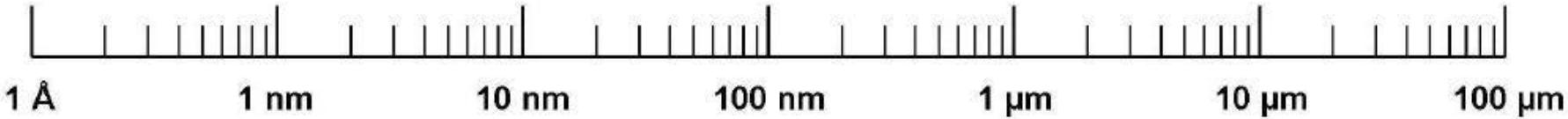
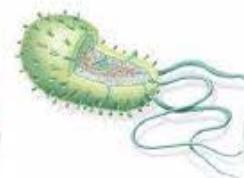
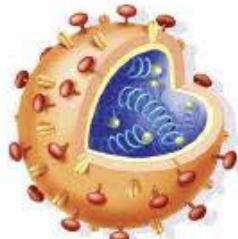
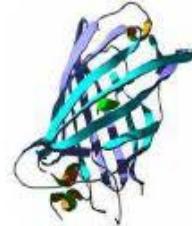
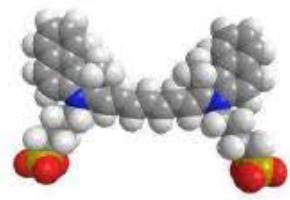
Molécules

Macromolécules
Protéines

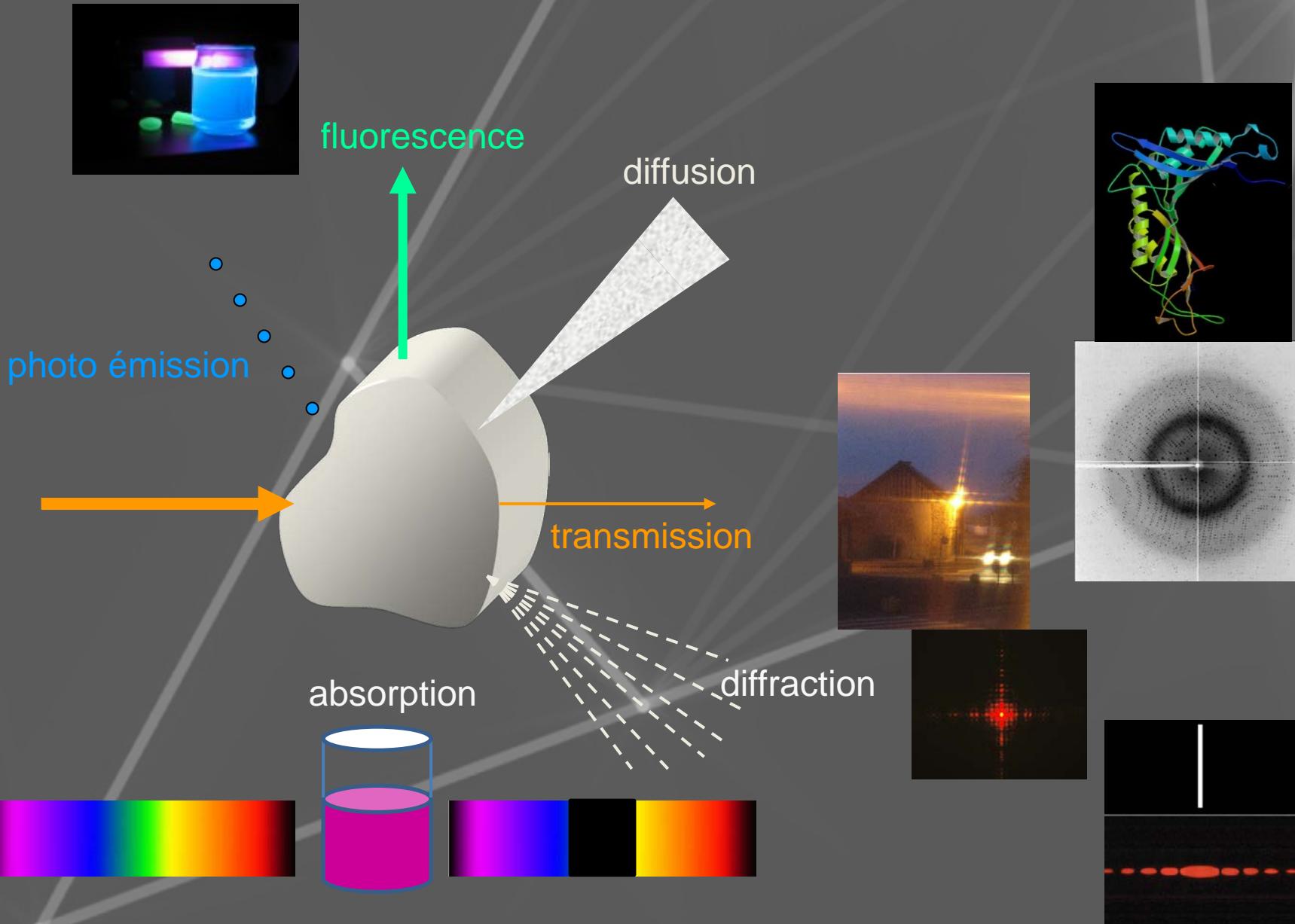
Bactérie

Virus

Cellule



Interaction lumière- matière



Applications



Biologie



Médecine



Pharmacie



Cosmétique



Chimie



Archéologie,
Patrimoine Culturel



Energie,
Environnement



Matériaux,
Nanotechnologies



Agroalimentaire



Astrophysique



Géophysique

Structure 3D des protéines de surface du virus du chikungunya

« la maladie de l'homme courbé ».

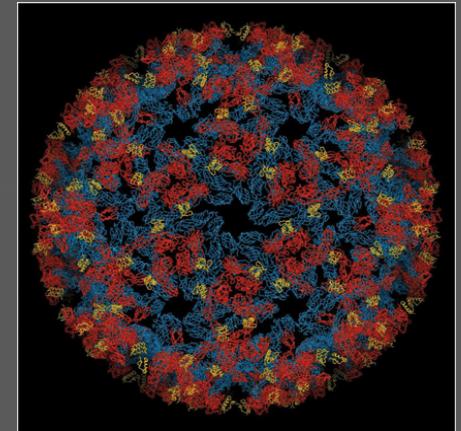


Institut Pasteur, CNRS, Global Phasing

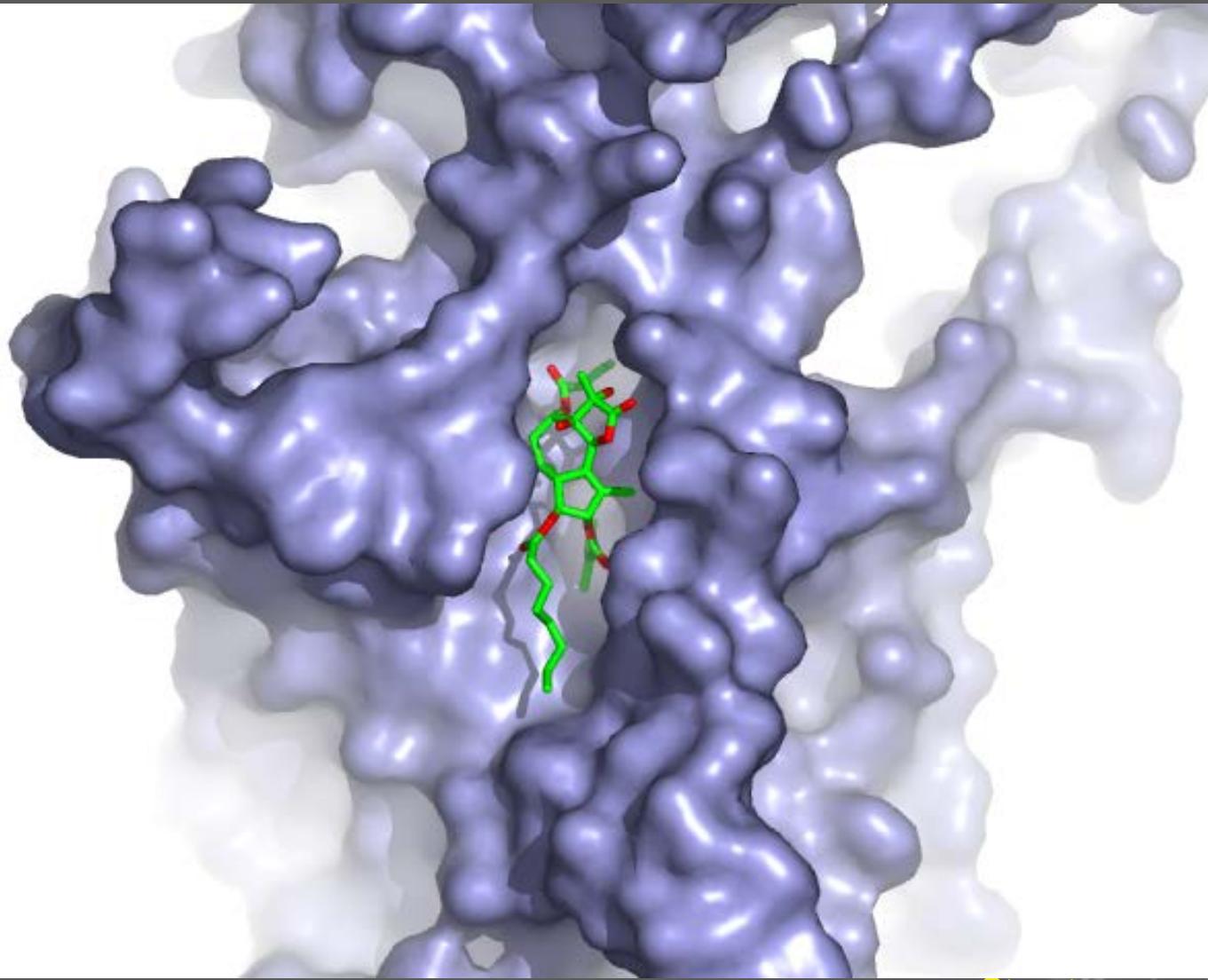


*Ligne PROXIMA 1
Diffraction X
Rayons X durs*

Comprendre comment ce complexe de protéines est activé pour envahir ses cellules-cibles. Développer des stratégies antivirales préventives et le thérapeutiques



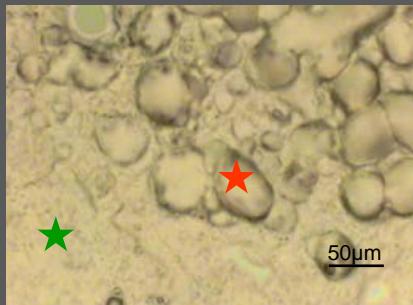
1. C



3.
et
clichés

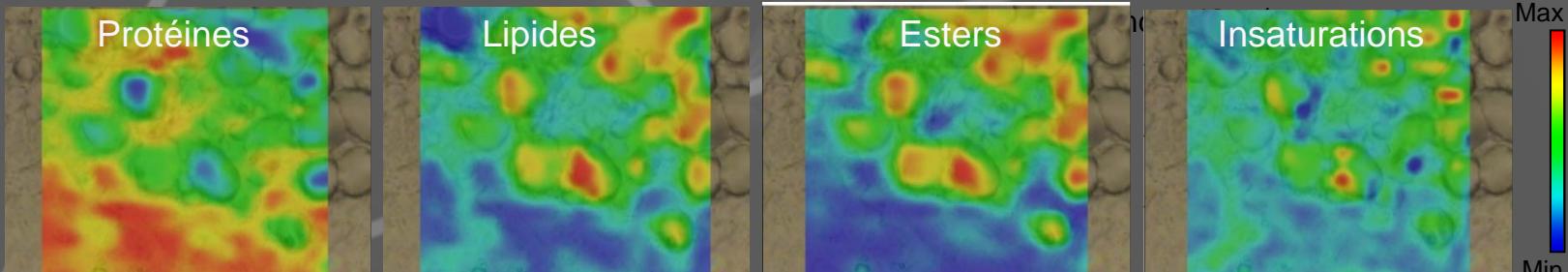
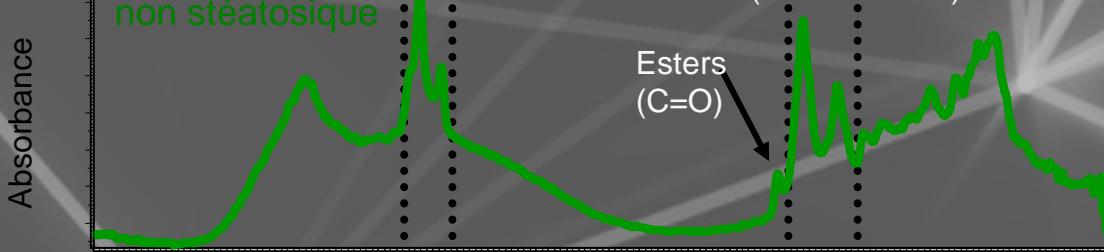
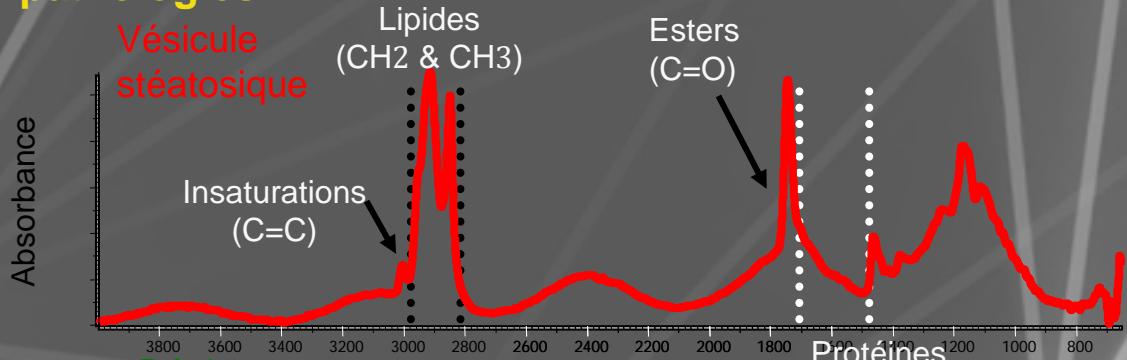
on de la
Structure secondaire

Étude d'un foie pour diagnostique pré implantation diagnostique précoce de pathologies



Accumulation sélective de lipides insaturés dans les vésicules stéatosiques

Ligne SMIS Microscopie d'absorption Infrarouge



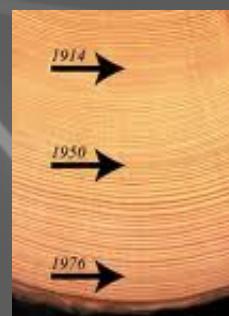
3 avril 2013 : installation d'un microscope infrarouge programmé par SOLEIL dans le service d'Anatomie Pathologique de l'hôpital Paul Brousse

L'âge des arbres exotiques

Étude de l'ébène vert : plantations de Guyane française et du Congo datant de 56 ans.



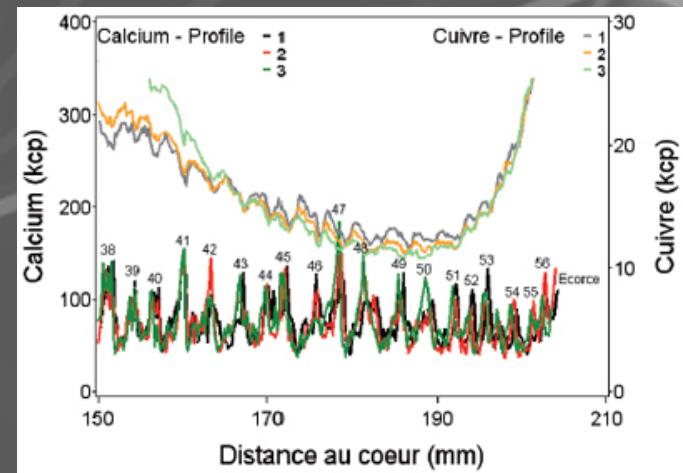
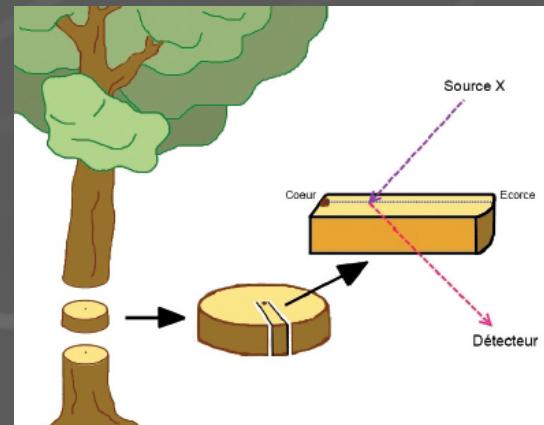
Dendrochronologie



Cette étude permet de :

- Connaître le rythme de croissance et l'âge des arbres
- Mieux gérer les forêts tropicales
- Surveiller les niveaux de polluants

On observe une périodicité des éléments calcium et cuivre



Pourquoi les ciels des toiles de Murillo ont-ils viré au gris ?



Comprendre l'origine de la détérioration du smalt, pigment bleu, très utilisé entre le XVII^e et le XVIII^e siècle par de grands peintres tels que Véronèse ou Murillo.

Complexe cobalt / potassium :

- Smalt : tétraédrique
- Smalt altéré : octaédrique, migration des ions potassium hors des grains de pigments.

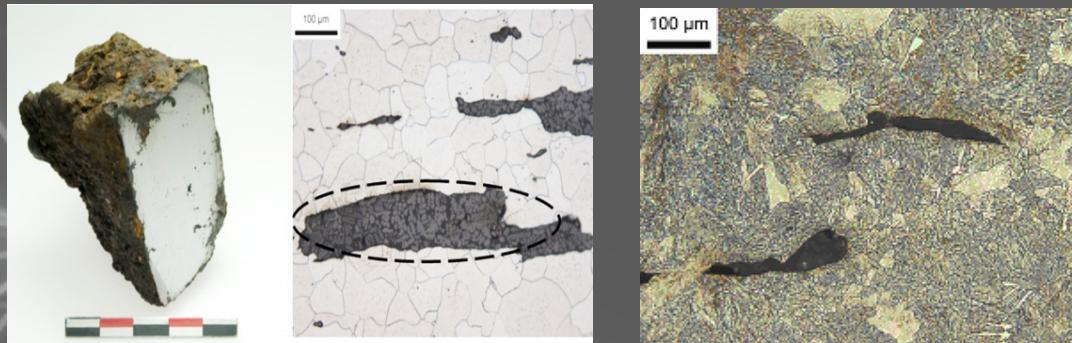
Ce **changement d'environnement de l'ion cobalt** implique la perte de la couleur bleue.

*Ligne LUCIA
Absorption X
Rayons X tendres*

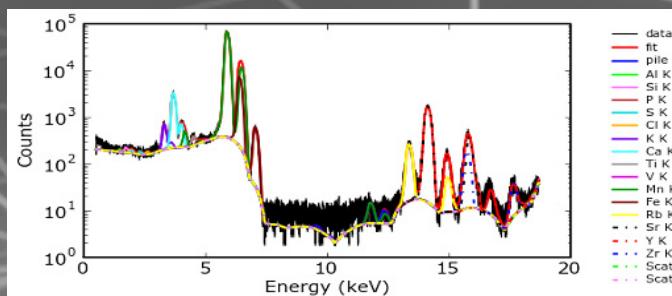


Objets ferreux médiévaux

La **microfluorescence X** sur de très petites inclusions, couplée à d'autres méthodes, permet, à travers la comparaison des signatures en éléments traces, d'établir la provenance de matériaux archéologiques ferreux.

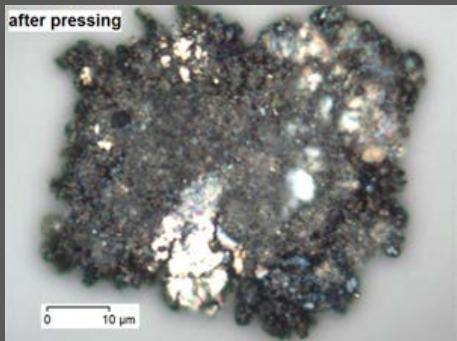


*Ligne DIFFABS
Microfluorescence X*



*Ligne DIFFABS Microfluorescence X
Faisceau de 50 µm Energie 20 keV*

Une comète en miniature



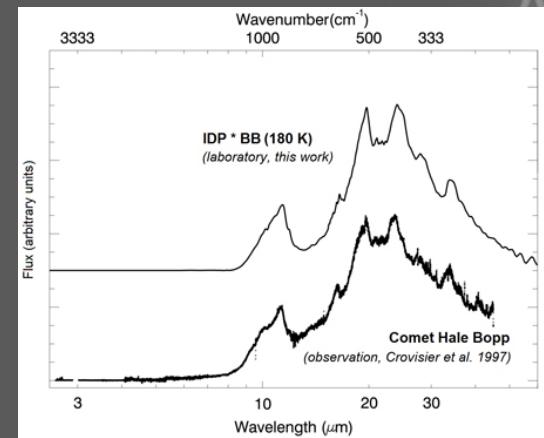
Particules de poussières interplanétaires récoltées à 22 km d'altitude, fournie par la NASA

Cette IDP (agrégat poreux chondritique*), a été pressée pour augmenter la qualité des données spectroscopiques en minimisant les effets de diffusion de la lumière dus à la taille de la particule, comparable à la longueur d'onde de l'observation.

En plus de la description élémentaire, minéralogique, et organique, obtenue par différentes techniques de laboratoires, les spectres infrarouge montrent une **similitude** avec ceux observés, en émission, des **petits grains de silicates de la comète Hale-Bopp**.

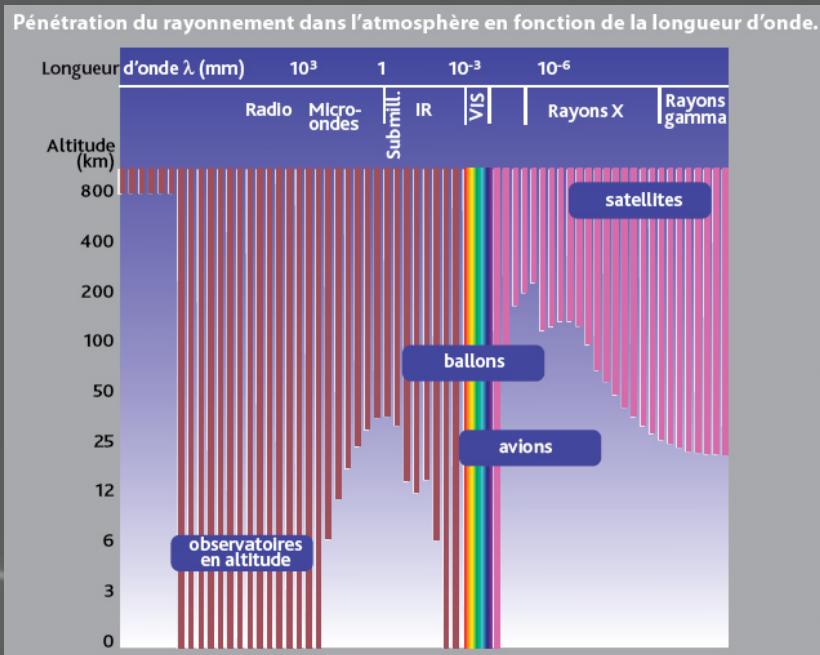


Ligne SMIS Microscopie d'absorption Infrarouge

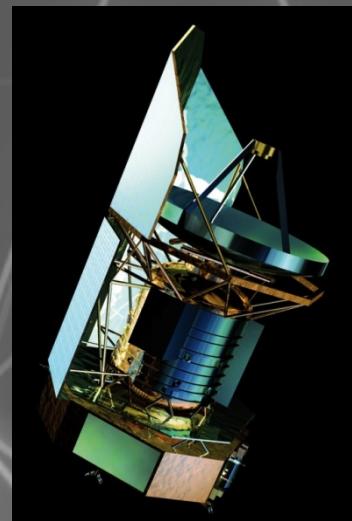


Sonder le milieu interstellaire

L'univers émet toutes les longueurs d'onde, mais seules les ondes radio, le visible et un peu d'infrarouge et d'UV. arrivent à la surface de la Terre.



*Ligne AILES
spectroscopie
d'absorption
Infrarouge lointain*

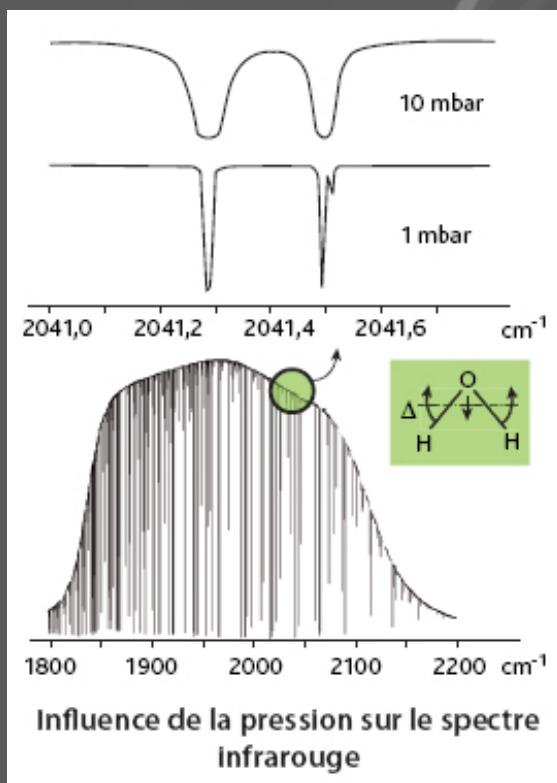


1983 : IRAS 1er satellite d'observation dans l'I.R.
14 mai 2009 lancement du satellite Hershel : étude des molécules interstellaires

Crédits ESA

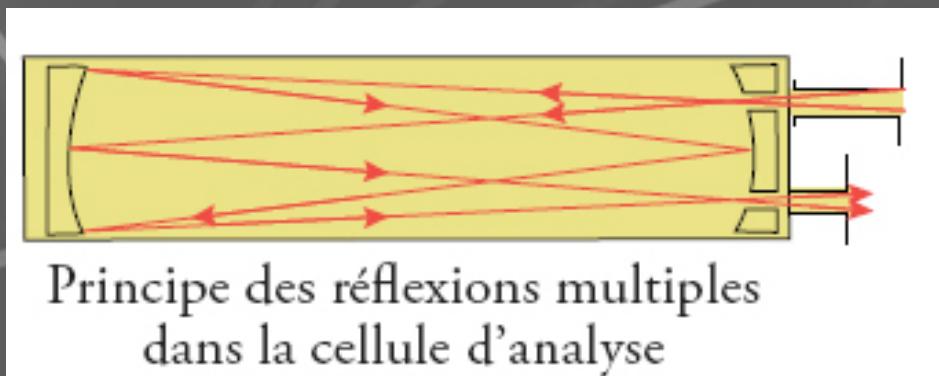
Sonder le milieu interstellaire

L'allure des spectres dépend des conditions de pression et de température



Loi de Beer Lambert
 $A(I) = \varepsilon \cdot L \cdot c$

Le milieu interstellaire étant très dilué, il est nécessaire d'avoir un long chemin optique (28 m à LURE, jusqu'à 250 m espéré à SOLEIL)

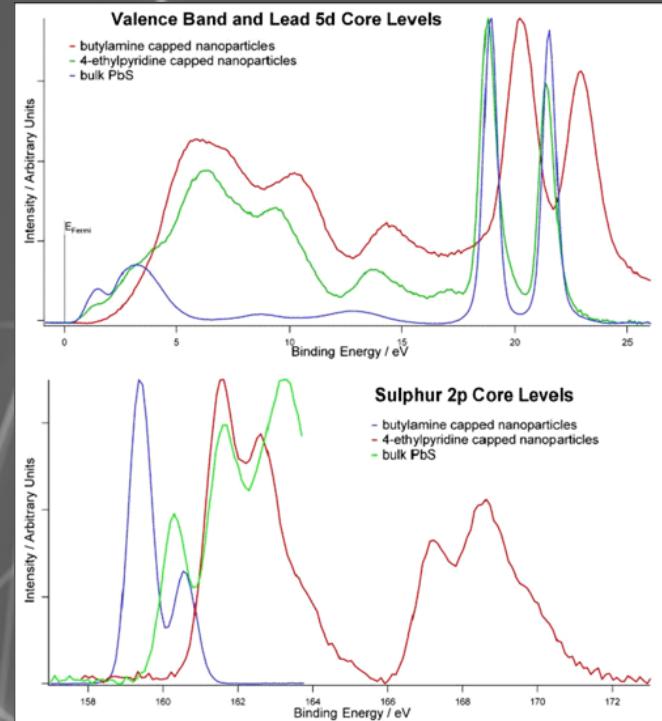


Étude de nouveaux matériaux pour les cellules photovoltaïques

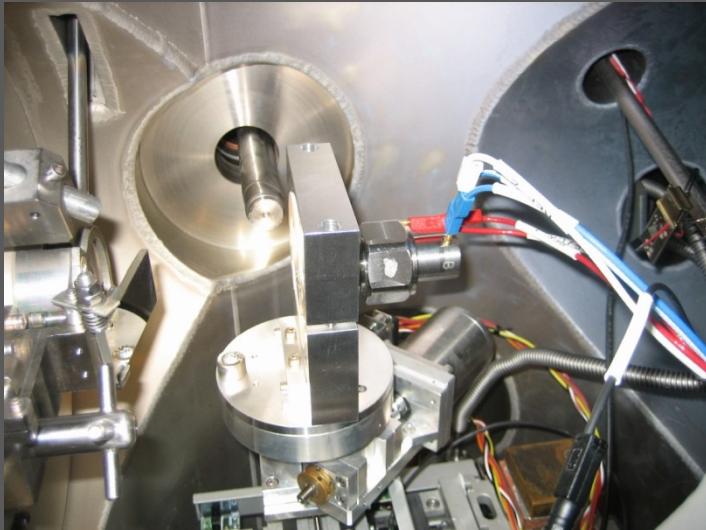


Le rendement des cellules photovoltaïques est actuellement très faibles, il est au mieux de 20%.

Étudier les propriétés électroniques de nouveaux matériaux pour améliorer leurs performances.



Étude de batteries au Lithium en fonctionnement

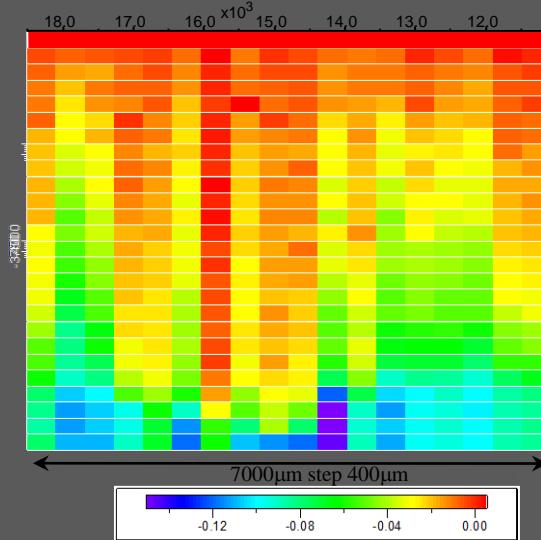


Chaque colonne correspond à l'évolution, au cours de la charge, d'un point de l'électrode de $7 \mu\text{m} \times 7 \mu\text{m}$.

L'électrode positive de la batterie est constituée de LiFePO_4 .

Durant la charge, des ions Li^+ partent de l'électrode et, corrélativement, les ions Fe^{2+} sont oxydés en Fe^{3+} . La variation de la quantité d'ions Fe^{2+} renseigne sur l'avancement de la charge.

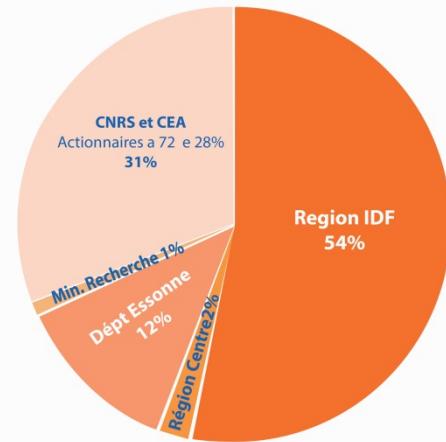
*Ligne SAMBA
Absorption X
Rayons X durs*



Évolution
durant la
charge de la
quantité
d'ions Fe^{2+}



Budget 2002-2012 :
634 millions d'euros
Budget de fonctionnement :
57 millions d'euros par an



Contributions à l'investissement

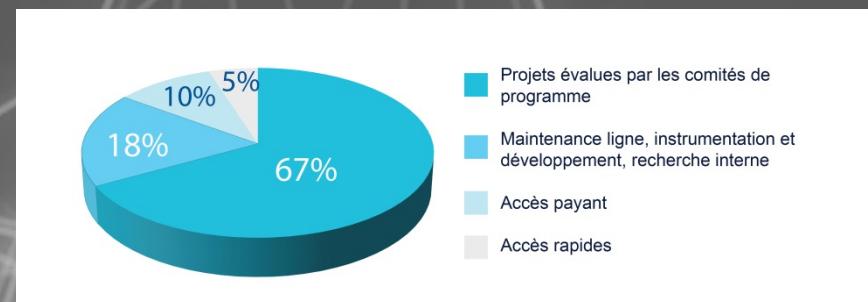
Statut et budget

Accès payant : industriels

- 10% des expériences
- Conditions : temps de faisceau payant, confidentialité des résultats

Accès gratuit : chercheurs

- 90% des expériences
- Conditions : passage par comité de programme, publication des résultats et citation de SOLEIL



Synchrotrons dans le monde



Planning 2016

janv 2016	févr 2016	mars 2016	avr 2016	mai 2016	juin 2016	juil 2016	août 2016	sept 2016	oct 2016	nov 2016	déc 2016	janv 2017	févr 2017
ven 01	.	lun 01 A A Tv	mar 01 . . .	ven 01 M M M	dim 01 . . .	mer 01 M M M	ven 01 M M M	lun 01 M M M	jeu 01 M M M	sam 01 M M M	mar 01 . . .	jeu 01 M M M	mer 01 M M M
sam 02	.	mar 02 Cp B B	mer 02 . . .	sam 02 M M M	dim 02 . . .	lun 02 M M M	jeu 02 M M M	sam 02 M M M	ven 02 M M M	dim 02 M M M	mer 02 . . .	ven 02 M M M	lun 02 M M M
dim 03	.	mer 03 M M M	jeu 03 . . .	dim 03 M M M	mar 03 . . .	ven 03 M M M	dim 03 M M M	mer 03 M M M	lun 03 A A Tv	jeu 03 . . .	dim 03 M M M	mer 03 M M M	lun 03 M M M
lun 04	.	jeu 04 M M M	ven 04 . . .	lun 04 A A Tv	mer 04 . . .	sam 04 M M M	lun 04 A A Tv	jeu 04 . . .	dim 04 M M M	mar 04 Cp B B	ven 04 A A A	dim 04 M M M	mer 04 . . .
mer 05	.	ven 05 M M M	sam 05 . . .	mar 05 Cp B B	jeu 05 . . .	dim 05 M M M	mer 05 Cp B B	ven 05 . . .	lun 05 A A Tv	jeu 05 . . .	dim 05 A A A	mer 05 A A Tv	lun 05 M M M
jeu 06	.	dim 06 M M M	dim 06 . . .	mer 06 M M M	ven 06 . . .	lun 06 A A Tv	mer 06 . . .	mar 06 Cp B B	jeu 06 M M M	dim 06 A A A	mer 06 Cp B B	ven 06 . . .	lun 06 A A Tv
ven 08	.	lun 08 A A Tv	mar 08 . . .	jeu 07 M M M	dim 08 . . .	mer 07 Cp B B	jeu 07 M M M	dim 07 . . .	mer 07 M M M	ven 07 M M M	lun 07 A A A	jeu 07 M M M	mer 07 M M M
sam 09	.	mar 09 Cp B B	mer 09 . . .	sam 09 M M M	dim 09 . . .	mer 09 M M M	ven 08 M M M	lun 08 M M M	jeu 08 M M M	sam 08 M M M	mar 08 S S S	jeu 08 M M M	mer 08 M M M
dim 10	.	mer 10 M M M	lun 10 . . .	dim 10 M M M	mar 10 . . .	ven 10 M M M	dim 10 M M M	mer 10 . . .	lun 10 A A Tv	jeu 10 S S S	sam 10 M M M	lun 10 M M M	mer 10 . . .
lun 11	.	jeu 11 M M M	ven 11 A A A	lun 11 A A Tv	mer 11 . . .	dim 11 M M M	lun 11 A A Tv	jeu 11 M M M	dim 11 M M M	ven 11 S S S	dim 11 M M M	mer 11 . . .	sam 11 M M M
mar 12	.	ven 12 M M M	sam 12 A A A	mar 12 Cp B B	jeu 12 A A A	dim 12 M M M	mar 12 Cp B B	mer 12 . . .	lun 12 A A Tv	jeu 12 S S S	sam 12 S S S	lun 12 A A A	mer 12 . . .
mer 13	.	sam 13 M M M	dim 13 A A A	mer 13 M M M	ven 13 A A A	lun 13 A A A	mer 13 M M M	ven 13 Cp B B	lun 13 S S S	jeu 13 S S S	mar 13 Cp B B	ven 13 . . .	lun 13 A A Tv
jeu 14	.	dim 14 M M M	lun 14 A A A	jeu 14 M M M	dim 14 A A A	mer 14 L L L	lun 14 A A A	dim 14 . . .	mer 14 M M M	ven 14 S S S	lun 14 A A Tv	mer 14 M M M	lun 14 . . .
ven 15	.	lun 15 A A Tv	mar 15 B B B	ven 15 M M M	dim 15 A A A	mer 15 L L L	lun 15 M M M	dim 15 . . .	mer 15 M M M	lun 15 S S S	jeu 15 M M M	dim 15 M M M	mer 15 M M M
sam 16	.	mar 16 Cp B B	mer 16 M M M	sam 16 M M M	lun 16 A A A	jeu 16 L L L	dim 16 M M M	mer 16 . . .	lun 16 A A Tv	jeu 16 M M M	dim 16 S S S	mer 16 M M M	lun 16 . . .
dim 17	.	mer 17 M M M	lun 17 M M M	jeu 17 M M M	dim 17 M M M	mer 17 S S S	lun 17 L L L	dim 17 M M M	mer 17 . . .	lun 17 A A A	jeu 17 M M M	dim 17 M M M	mer 17 . . .
lun 18	.	jeu 18 M M M	ven 18 M M M	lun 18 A A Tv	mer 18 S S S	dim 18 S S S	lun 18 L L L	mer 18 A A Tv	ven 18 M M M	lun 18 L L L	jeu 18 M M M	dim 18 M M M	mer 18 . . .
mar 19	.	ven 19 M M M	sam 19 M M M	lun 19 M M M	mar 19 8 8 8	jeu 19 S S S	dim 19 L L L	mer 19 Cp B B	lun 19 S S S	jeu 19 M M M	dim 19 L L L	mer 19 M M M	lun 19 . . .
mer 20	.	A A	lun 20 M M M	dim 20 M M M	mer 20 8 8 8	ven 20 S S S	lun 20 A A Tv	mer 20 M M M	lun 20 A A Tv	mer 20 . . .	lun 20 M M M	jeu 20 A A A	lun 20 . . .
jeu 21	A A A	dim 21 M M M	lun 21 A A Tv	jeu 21 8 8 8	dim 21 S S S	mer 21 Cp B B	lun 21 M M M	mer 21 . . .	lun 21 A A A	jeu 21 M M M	dim 21 M M M	mer 21 A A A	lun 21 . . .
ven 22	A A A	lun 22 A A Tv	mar 22 Cp B B	ven 22 8 8 8	dim 22 S S S	mer 22 M M M	lun 22 M M M	mer 22 . . .	lun 22 M M M	jeu 22 M M M	dim 22 A A A	mer 22 . . .	lun 22 . . .
sam 23	A A A	mar 23 Cp B B	mer 23 M M M	sam 23 8 8 8	lun 23 A A Tv	mer 23 M M M	lun 23 M M M	mer 23 . . .	lun 23 M M M	jeu 23 M M M	dim 23 L L L	mer 23 . . .	lun 23 A A A
dim 24	A A A	mer 24 M M M	lun 24 M M M	dim 24 8 8 8	mar 24 Cp B B	lun 24 M M M	mer 24 M M M	lun 24 . . .	mer 24 A A A	lun 24 M M M	mer 24 . . .	lun 24 B B B	mer 24 . . .
lun 25	A A A	jeu 25 M M M	ven 25 M M M	lun 25 M M M	mar 25 M M M	lun 25 M M M	mer 25 M M M	lun 25 . . .	jeu 25 A A A	dim 25 M M M	mer 25 . . .	lun 25 . . .	mer 25 . . .
mar 26	B B B	ven 26 M M M	sam 26 M M M	lun 26 M M M	mar 26 M M M	lun 26 M M M	mer 26 M M M	lun 26 . . .	jeu 26 A A A	dim 26 M M M	mer 26 . . .	lun 26 . . .	mer 26 . . .
mer 27	M M M	sam 27 M M M	dim 27 M M M	mer 27 M M M	lun 27 A A Tv	mer 27 A A A	lun 27 A A A	mer 27 Cp B B	lun 27 A A A	jeu 27 M M M	dim 27 M M M	mer 27 . . .	lun 27 . . .
jeu 28	M M M	dim 28 M M M	lun 28 A A Tv	jeu 28 . . .	dim 28 M M M	mar 28 Cp B B	jeu 28 . . .	dim 28 A A A	mer 28 M M M	lun 28 M M M	mer 28 . . .	lun 28 M M M	mer 28 . . .
ven 29	M M M	lun 29 A A Tv	mar 29 Cp B B	ven 29 . . .	dim 29 M M M	mer 29 Cp B B	lun 29 A A A	mer 29 M M M	lun 29 A A A	jeu 29 M M M	dim 29 M M M	mer 29 . . .	lun 29 A A Tv
sam 30	M M M	lun 29 . . .	mar 30 M M M	lun 30 A A Tv	jeu 30 M M M	dim 30 M M M	mer 30 B B B	lun 30 M M M	mer 30 B B B	ven 30 M M M	dim 30 . . .	lun 30 . . .	mar 31 Cp B B
dim 31	M M M	lun 29 . . .	mar 31 M M M	lun 31 Cp B B	dim 31 . . .	mer 31 M M M	lun 31 M M M	mer 31 M M M	lun 31 M M M	jeu 31 M M M	dim 31 . . .	lun 31 . . .	mar 31 Cp B B

M	3480 heures
S	288 heures
S	288 heures
L	288 heures
B	488 heures
Cp	172 heures
Tv	96 heures
	5100 heures
A	1252 heures
-	2432 heures
	366 jours
1	212,5 Jours
A	52,2 Jours
	101,3 Jours

T : Test radioprotection
A : Temps accélérateur

M : multibunch 450 mA (uniforme ou hybride)

8 : 8 paquets 100 mA

S : 1 paquet 16 mA

L : Low alpha (paquets courts, mode hybride 425 + 5)

Merci de votre attention