



Le Laboratoire de Physique SUBAtomique et TECHnologies Associées (SUBATECH)

UMR 6457

CNRS/IN2P3 - IMT Atlantique - Université de Nantes

Gines MARTINEZ -> Pol Bernard GOSSIAUX

Vice Director of Subatech

23 October 2019

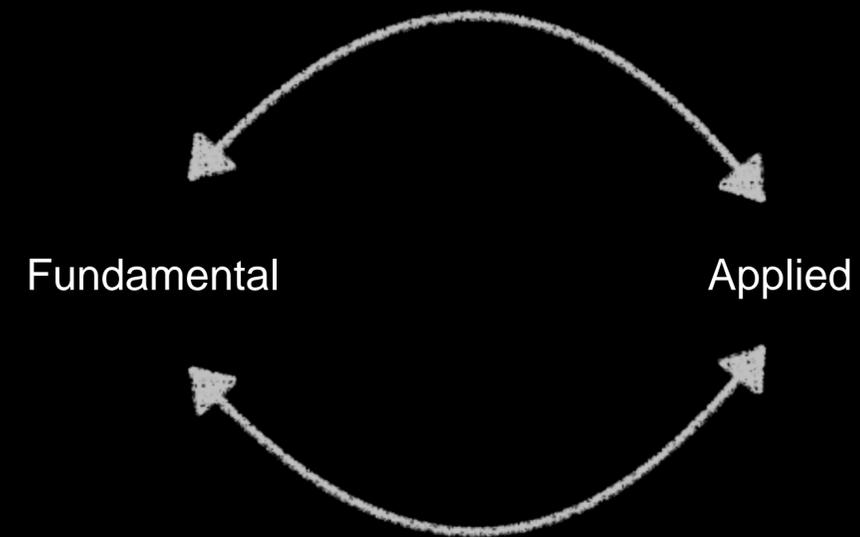
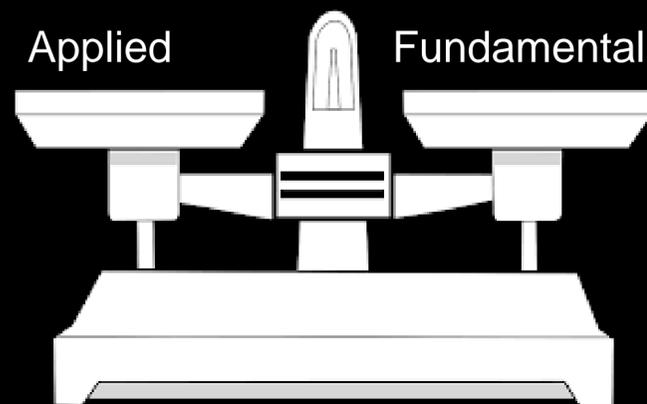


Subatech Members





Scientific research in the field of radiochemistry, nuclear physics, hadronic physics, particle physics and astroparticles, and related technological developments and applications, in particular in the aspects concerning health, energy and environment.



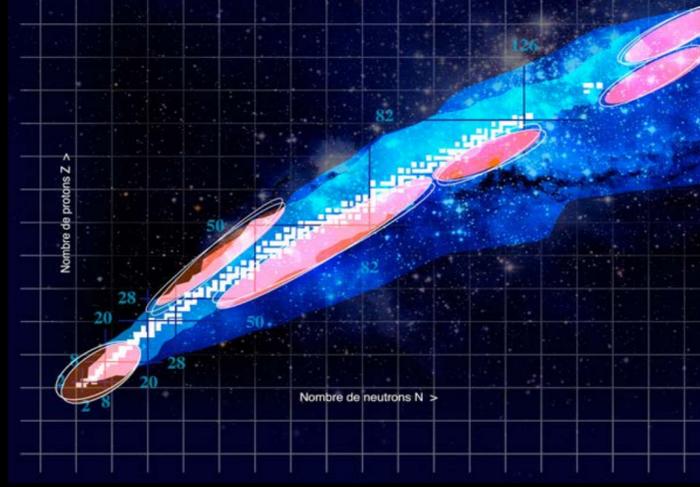
Besides, SUBATECH website is frequently visited by people in search of underwater equipment !!!

Research Teams of Subatech



Radiochemistry

Materials for nuclear reactors and nuclear wastes
Interfaces
Radionuclides
in the environment and for health
Radiolysis
Modelling



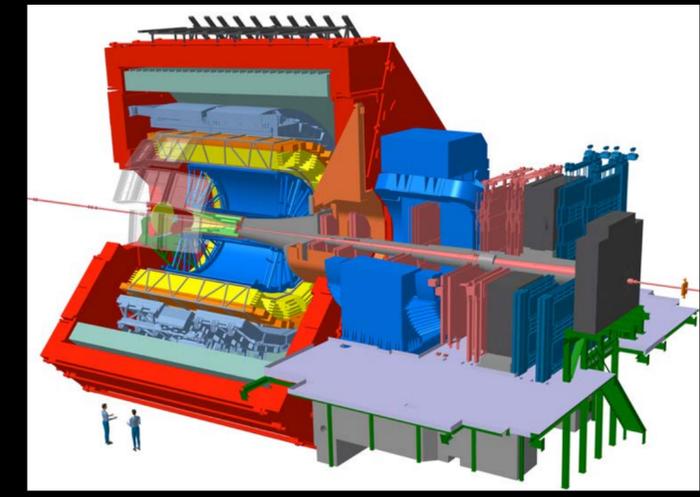
S(tructure)E(nergy)N(uclear)

Nuclear Physics
Nuclear Reactor Simulation
Antineutrino spectrum



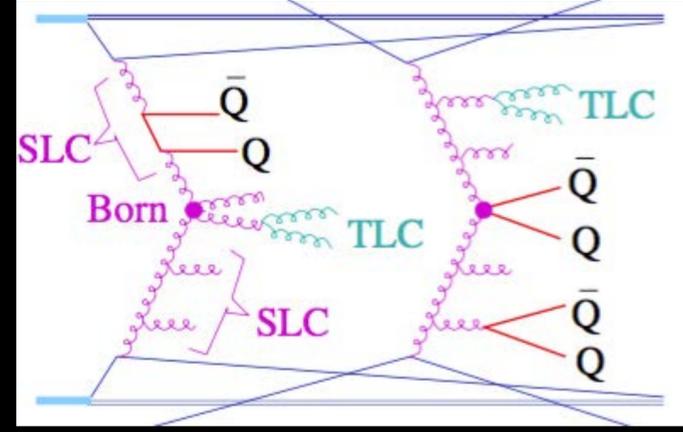
Neutrino

Neutrino properties
Extragalactic neutrino
New detection techniques
Nuclear scenarii



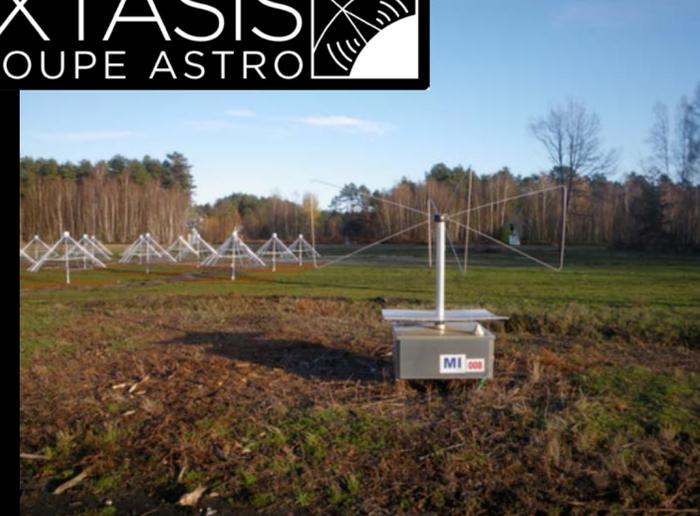
Plasma

Relativistic Heavy Ions Exp.
Quark Gluon Plasma Exp.
ALICE
Detection techniques



Theory

Nuclear reactions
QCD
Heavy Quarks
Jets Physics
Phénoménologie
EPOS
Quantum Radiochemistry



Astro

Cosmic Rays
New detection techniques



Prisma

Production of radionuclides
RMI & Biological irradiation
Non destructive techniques
Dosimetry

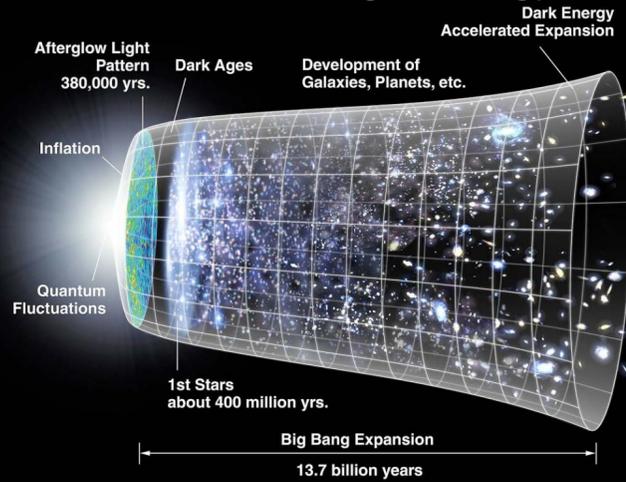


Xenon

Dark Matter
New détection techniques
Medical Imaging

Subatech Projects

Universe & high Energy



- Xenon1T, nT
- R2D2*
- Damic-M*
- Juno
- Double-Chooz
- SoLid
- LiquidO*
- Km3Net
- Codalema/Extasis
- EPOS-HQ
- ACME
- COLDELOSS
- RCT
- Alice-Muon-O2
- Alice-MID
- ALICE-MFT
- Jyvaskyla/ALTO
- TAS@ Desir*

Environment & Nuclear



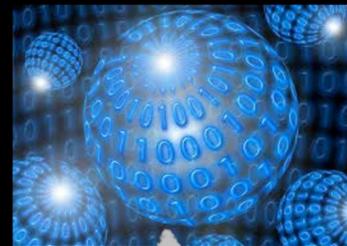
Society & Nuclear



- TAGS
- E-Shape
- MSFR
- Moise
- CND (TomoX)
- Dosimétrie
- MP Radiolyse
- MP RN Env
- POLLUSOLS
- MP Mat. Nul.
- ZrO2
- REMEI
- Barrière
- Roche
- Uranium Mines
- Subatech/SSG
- Society & 4 th generation nuclear reactors
- ...

Services

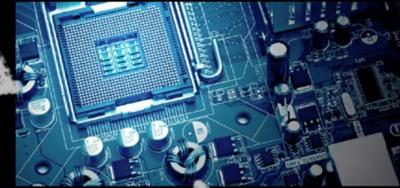
Computing



Administration



Electronics



Infras Risques



Technical coordinator



Management

Mechanics

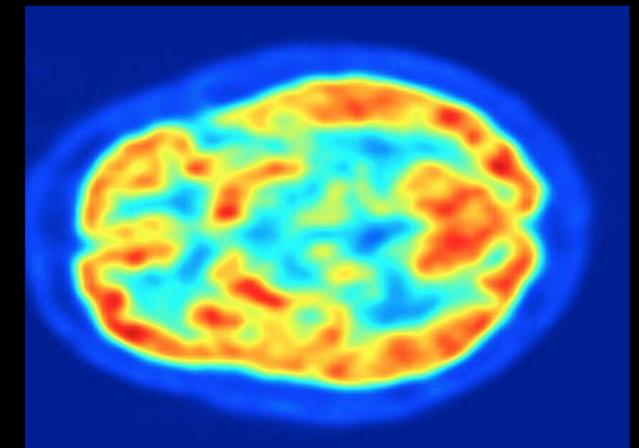


SMART



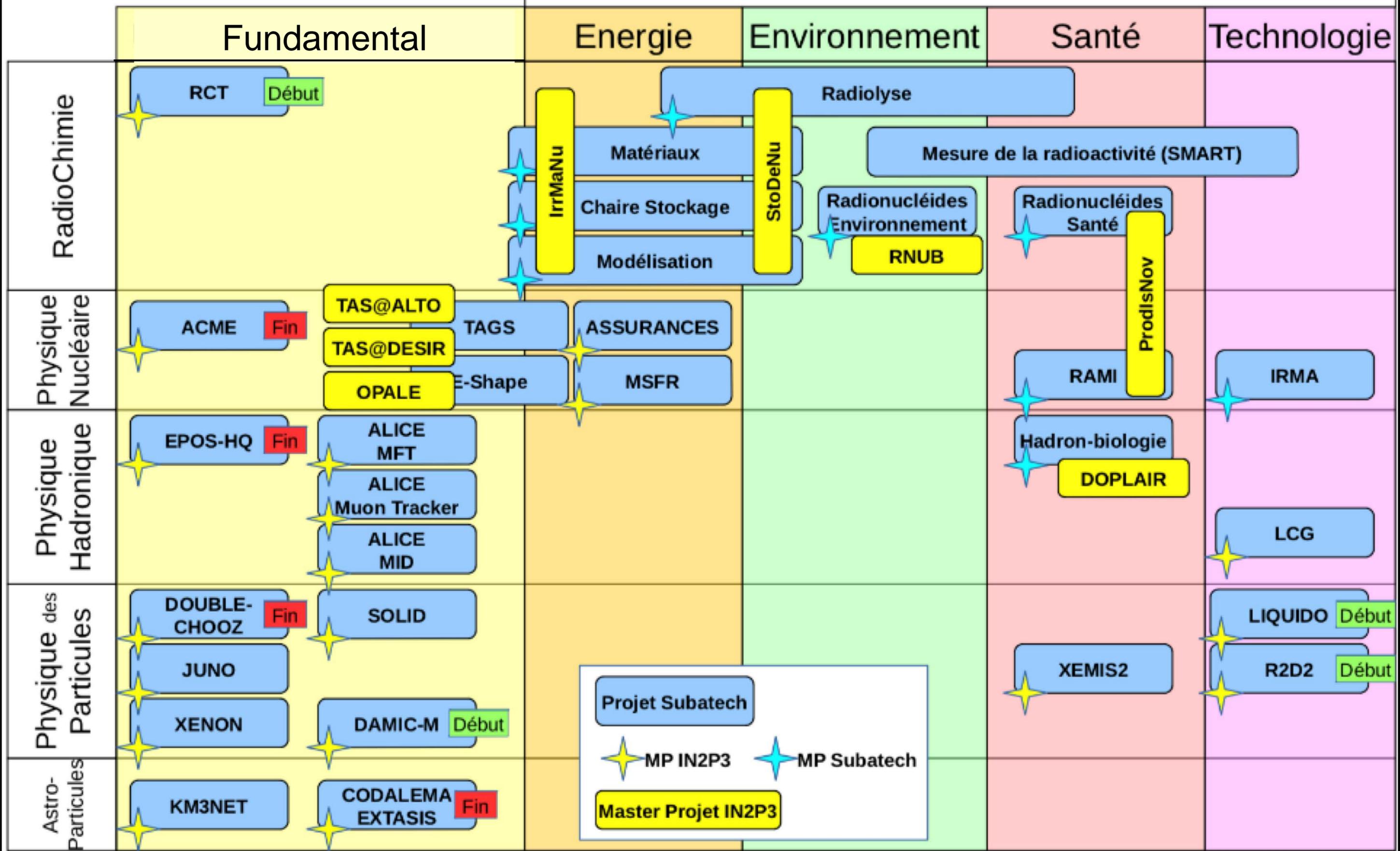
Platform

Health & Nuclear

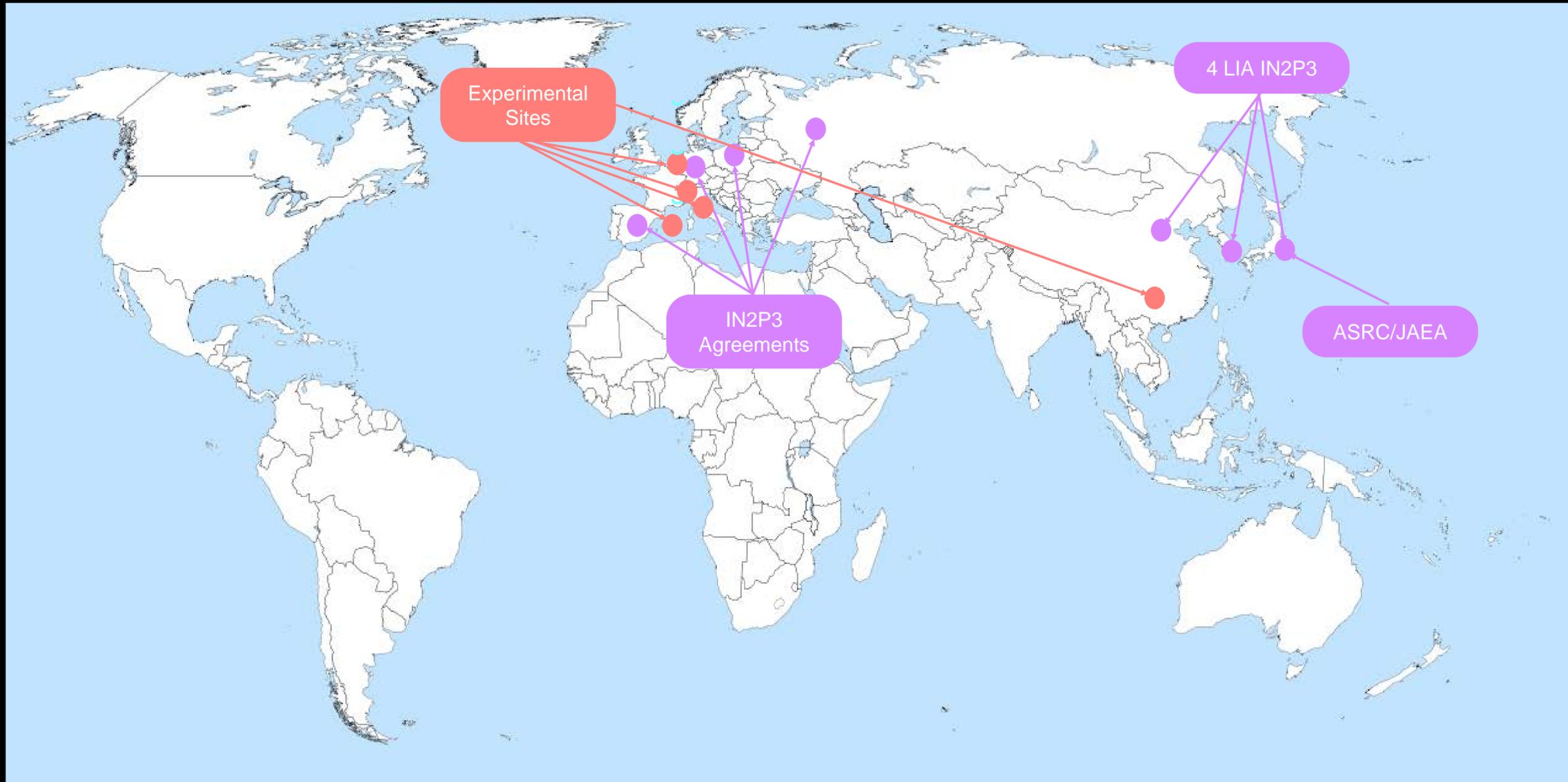


- Xemis2
- Xemis3-HT
- MP RN Santé
- Astatine
- Scandium
- ProtonFlash
- MP Radiolyse
- RENRADIOL
- MP Prod RN
- Imag'ISO
- Cibles HP

Nucléaire et



International collaborations of Subatech



Mostly Large International collaborations

- ALICE@CERN 174 labs, 40 countries,
- XENON@GdSasso 23 labs, 10 countries,
- SOLID@Belgique neutrinos 13 labs, 4 countries,
- Double Chooz@France: 31 labs, 7 countries
- Juno@Chine : 71 labos, 16 countries
- KM3NET@Franc-Italy, 13 countries,
- EXTASIS/astroparticules, Nançay

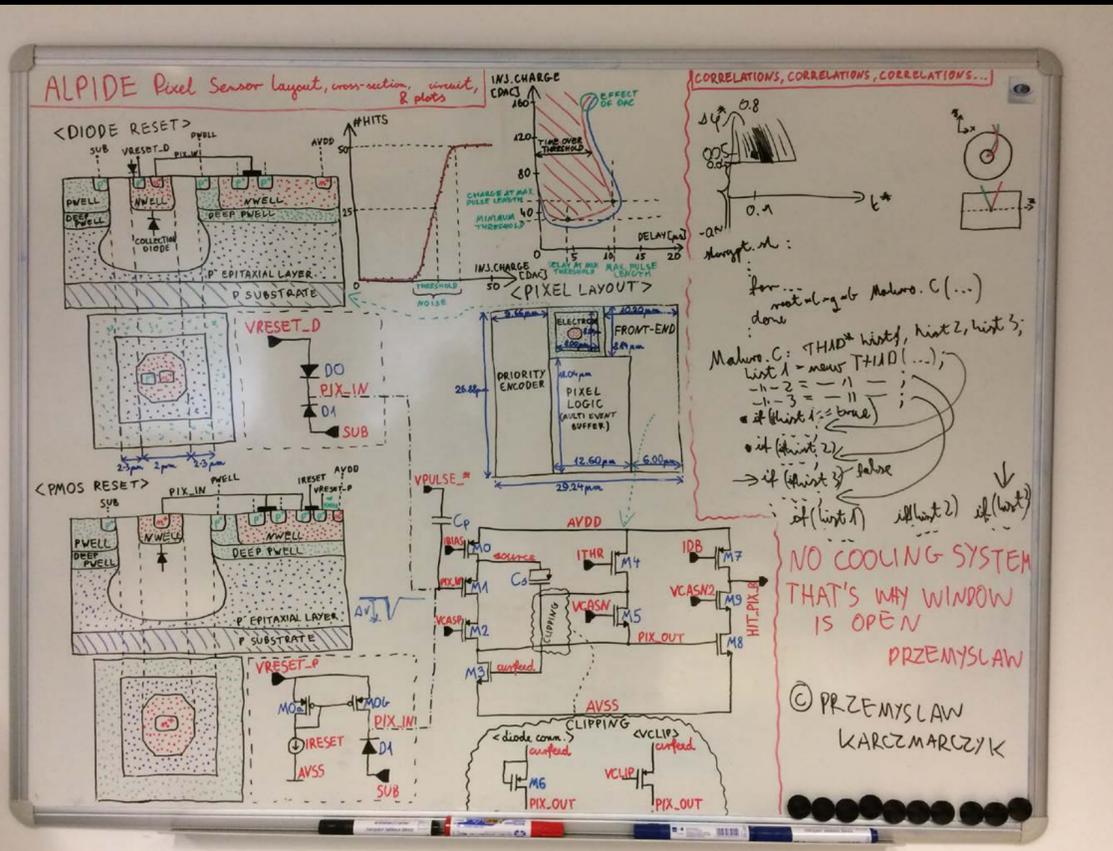
European Projects

- FP7 12 projects
- H2020 5 projects
- Erasmus Mundus SARENA (3 M€)
- **STRONG2020 (10 M€) : Barbara Erazmus**
- EUROAD Storage (35 M€ for 150 labs in Europe): Bernd Grambow
- 2 ERC in preparation through « Etoile Montante » regional fundings

Beyond Research : Education and Outreach

Education

Outreach



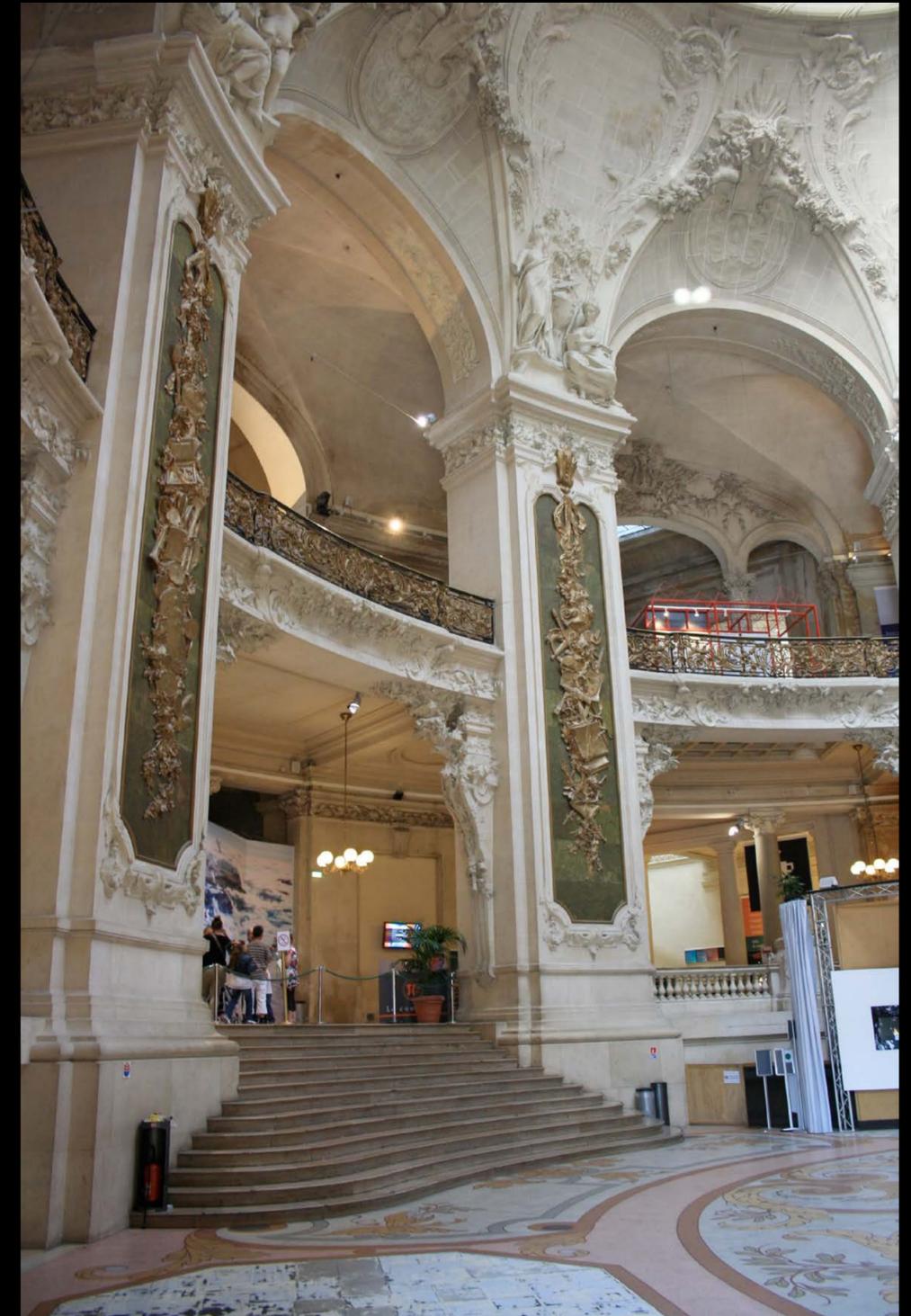
Master PFA (Fondamental Physics and applications) : RPS, RIA, DMN
 Master SNEAM : AVWM, NEPIA, NUTMA
ERASMUS MUNDUS SARENA
 IMT Atlantique Teaching
 Option Nuclear Engineering
 IFCEN (China)
 Nantes University Teaching
 PhD program

« Fête de la Science »
 MasterClasses of CERN
 « Café des Sciences »
 « Séminaires Grand Public »
 Expositions
 Films

« Passerport Recherche »
 High School Seminars
 Internship intermediate and high school
 Organisation of National and International conferences
 Experiments : Saladetron, Chocolate and speed of light, Cloud Chamber, « billotron » , ...

July 2019

25^e Congrès Général
 de la Société Française
 de Physique **SP**



Few numbers about Subatech

- ~54 researchers and professors
- ~75 engineers & technicians
- ~17 post-docts
- ~39 PHD students
- 8 research teams
- 1 platform (SMART)
- 5 technical services
- 1 chair



- Each year:
- ~120 peer-review articles
- ~200 oral communications
- ~12 PhD Defense
- ~24 HDR Researchers



Contract with industry :
EDF, ANDRA, ORANO & CEA



ANR Projects,
Equipex Project,
European Projects
Regional Projects,
CPER et Feder

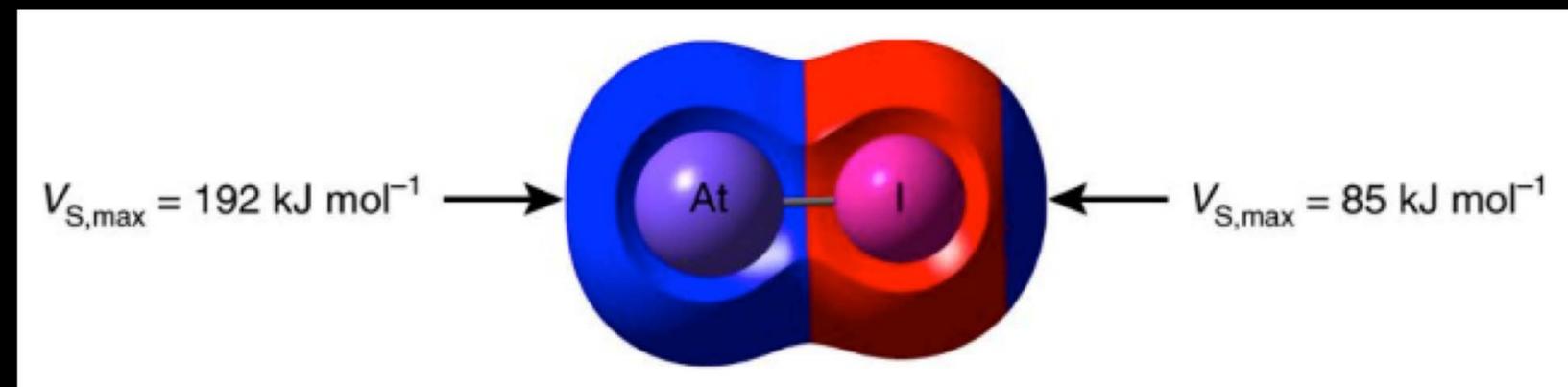


Each year:
~5 M€ budget (no salaries included)
3.5 M€ from contracts, ANR, Europe, ...

Context of Subatech

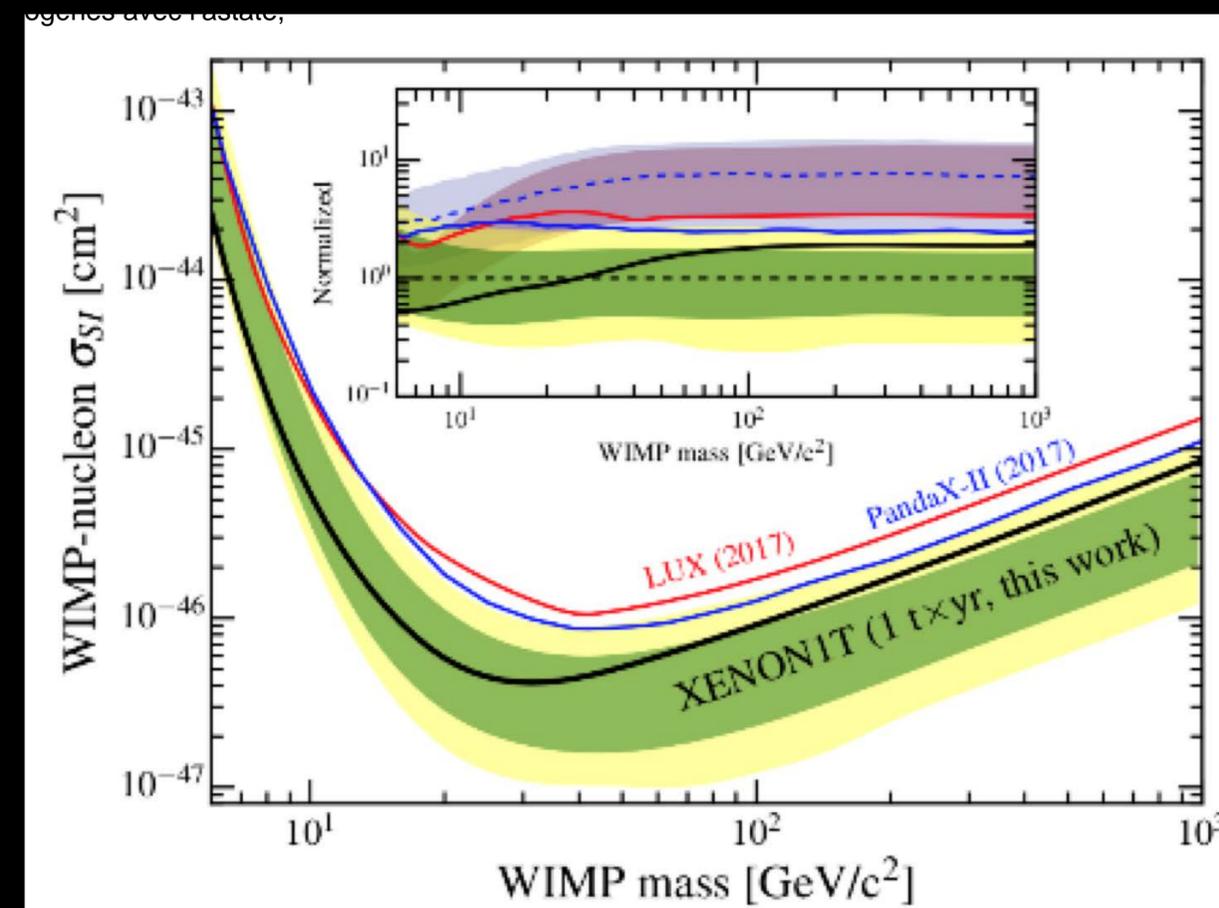
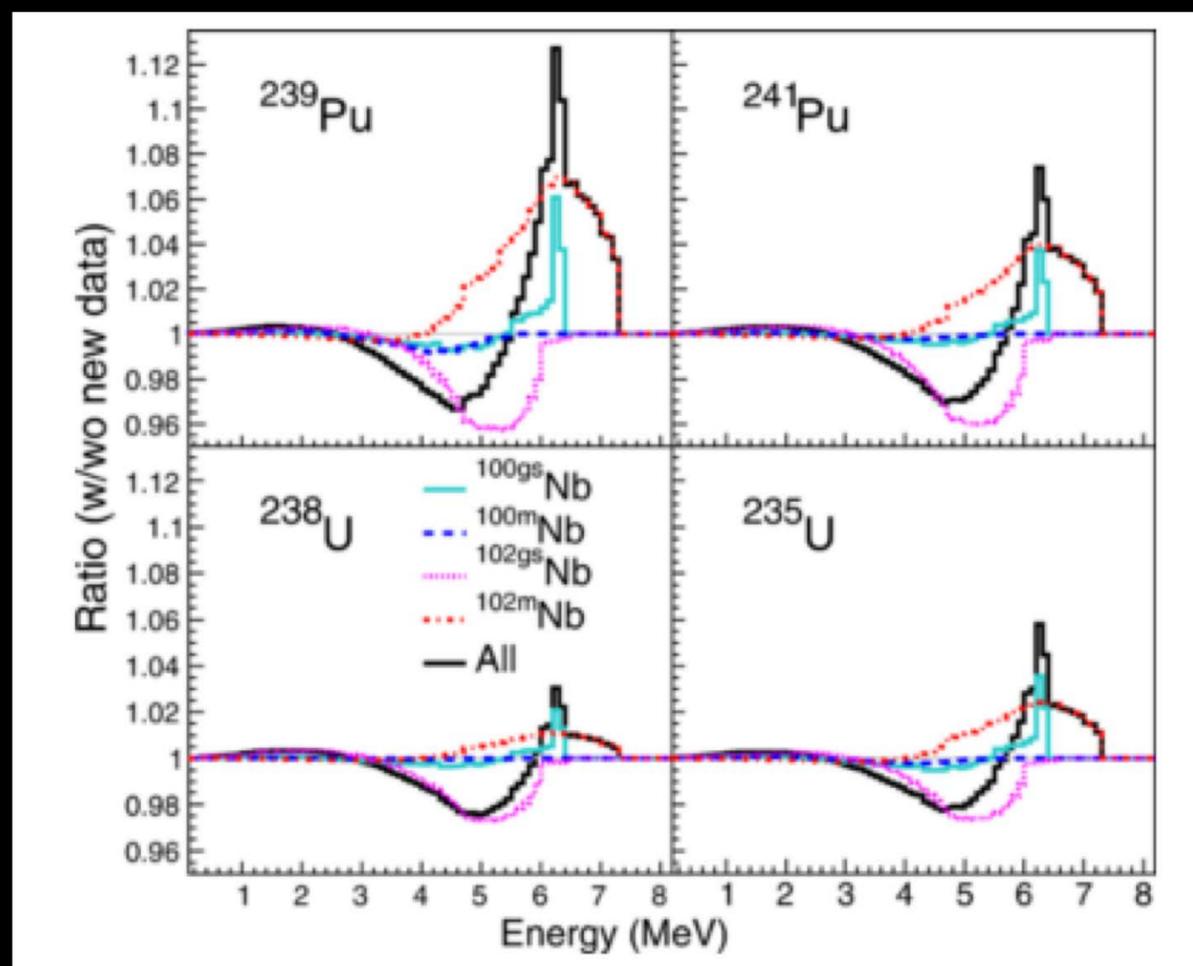


Some recent scientific highlights !



Experimental and theoretical evidence of halogen
 bonds with Astatine,
 Nature Chemistry 10 (2018) 428

Major contribution of Niobium isomers decay de la
 in the modelling of reactors neutrinos
 Physical Review Letters 122 (2019) 042502

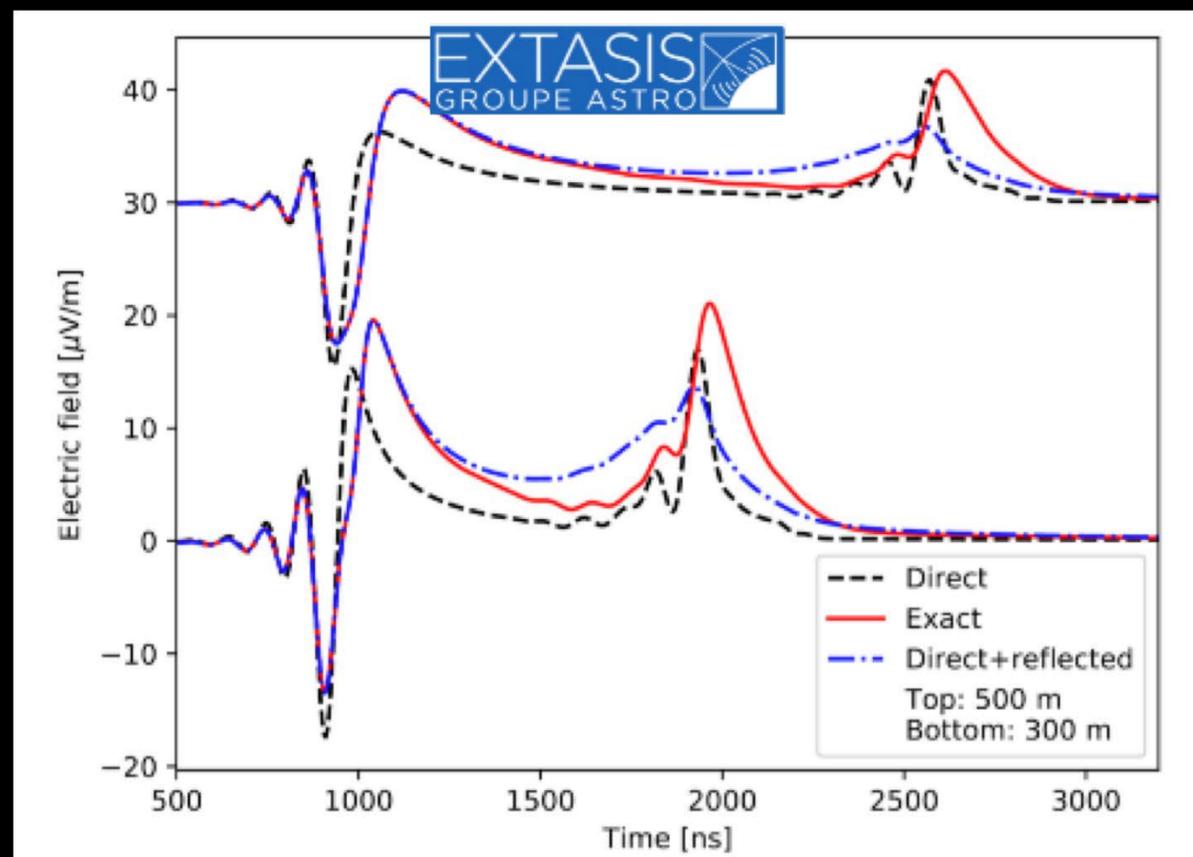


First results of dark matter quest after 1 tonne x 1 year of
 Xenon-1T exposure

Physical Review Letters 121 (2018) 111302

Some recent scientific highlights !

Production of Scandium isotopes (43, 44g, 44m, 47) for health with proton and deuteron beams @ ARRONAX (Nantes) and enriched targets. Production reaches the designed $10^2 - 10^3$ MBq/ μ Ah



« State of Art » simulation of radio-emission from cosmic showers
Physical Review D99 (2019) 063009



Applied Radiation and Isotopes

Volume 142, December 2018, Pages 104-112

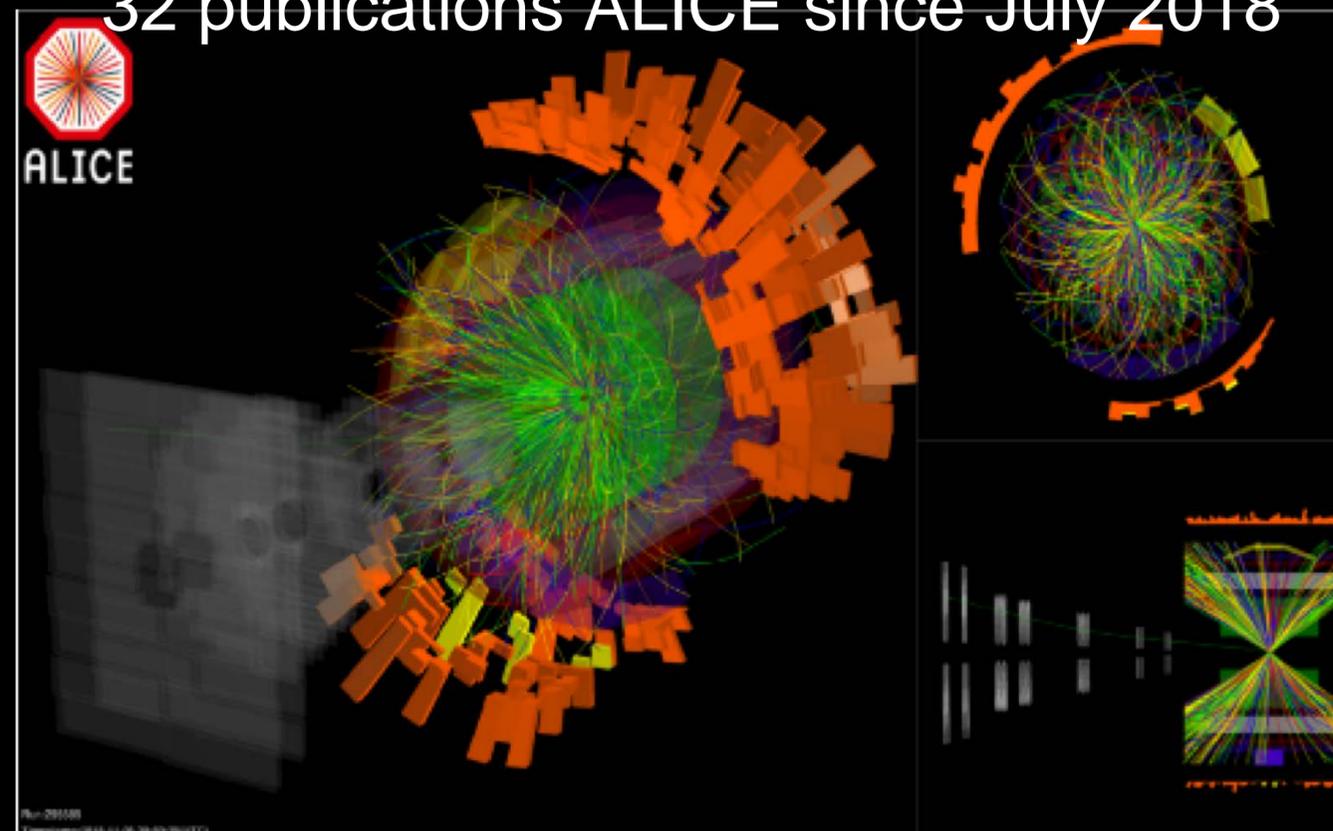


Production of Sc medical radioisotopes with proton and deuteron beams

Last data collection for Run2 Pb-Pb @ LHC
November 2018.

ALICE data : 0,5 nb⁻¹ (2x 2015)

32 publications ALICE since July 2018



Other highlights

STRONG2020

Théorie & Expérience Interaction Forte
Projet Européen 2019-2023 10 M€
Coordinateur au niveau européen
B. Erasmus (Subatech)



EJP EURORAD, Radiochimie
Projet Européen 2019-2023 35 M€
Prof B. Grambow membre du executive
committee

Réunion de la collaboration
internationale Km3Net à
Nantes (Château & IMT Atlantique)
10-14 juin 2019



Chaire Stockage IMT Atlantique
Prof B. Grambow
ANDRA & EDF & ORANO
2020-2024 340 k€/year



Livraison banc test Small-PMT
Installation en Chine prévue
pendant l'été 2019. Maintenance
2020/21

Exposition Magnetica
(1er avril – 27 mai 2019)
J. Masbou, T. Pierret
1600 visiteurs, 6 k€



Safe and REliable Nuclear Applications
» (SARENA) : un nouveau Master
labellisé Erasmus Mundus (2019-2024)
A. Abdelouas & Ch. Hartnack
66 étudiants Master et 3,3 M€
Finlande – Espagne – France - Slovénie



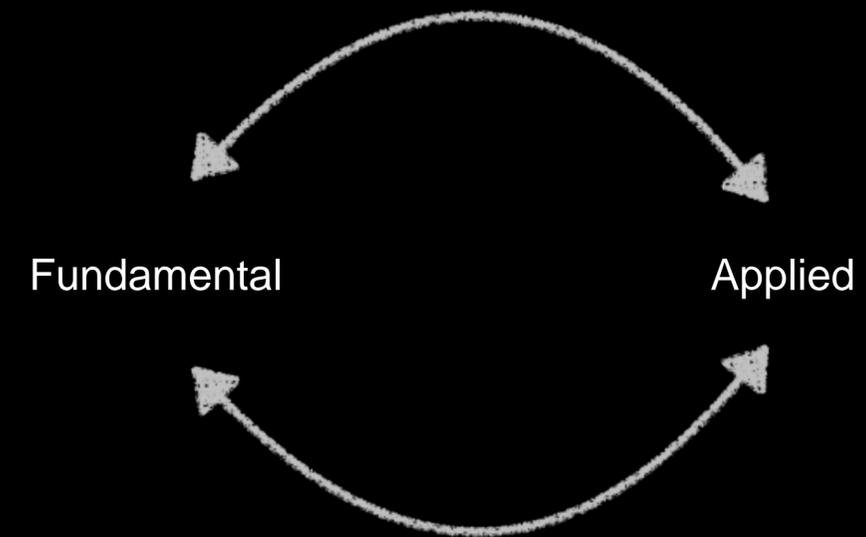
CG SFP 2019 Nantes
8-12 juillet 2019
Expo Grand Public

25^e Congrès Général
de la Société Française
de Physique



Fundamental vs Applied

- Dark Matter quest and $3\text{-}\gamma$ medical imaging

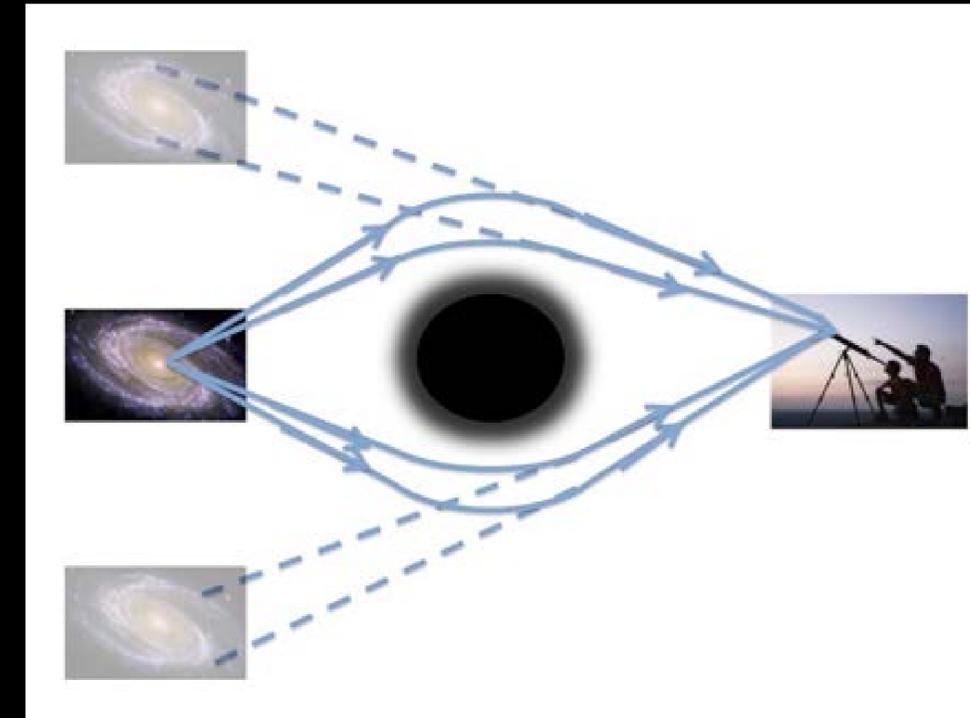
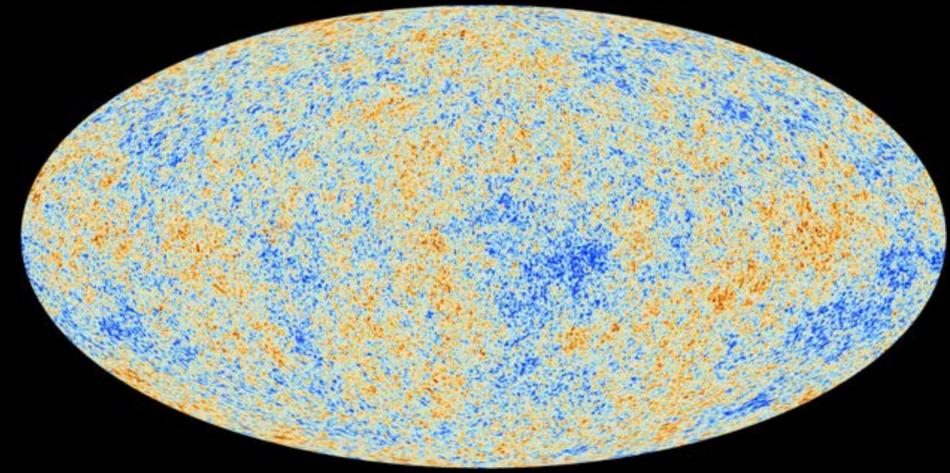


« Dark » matter, as no know particle candidate for its manifestations

5 times more dark matter than usual matter

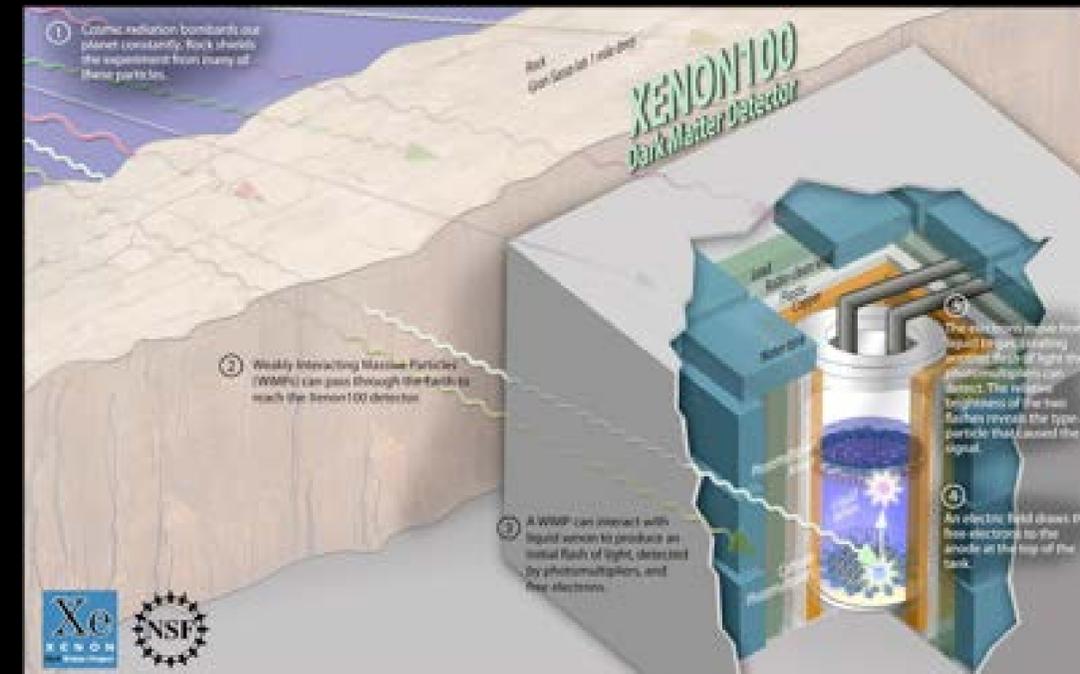
Dark matter indeed seems to exist:

- 👁️ Galaxies motion
- 👁️ Galaxy clusters and et cluster collisions
- 👁️ Cosmological background
- 👁️ Primordial nucleosynthesis



The quest for new particles

- New particles (WIMP) are searched for in order to understand dark matter.
- Ultra sensitive detectors (XENON based) are built deep underground in the Alps (National Lab of Gran Sasso (LNGS)).
- Dark matter could also be produced @ LHC ...



Major Scientific Results... The best there is in seeing nothing !

XENON100 Dark Matter Results from a Combination of 477 Live Days

XENON100 Collaboration (E. Aprile (Columbia U.), J. Aalbers (NIKHEF, Amsterdam), F. Agostini (Gran Sasso & Bologna U. & INFN, Bologna), M. Alfonsi (U. Mainz, PRISMA), F.D. Amaro (Coimbra U.), M. Anthony (Columbia U.), F. Arneodo (New York U., Abu Dhabi), P. Barrow, L. Baudis (Zurich U.), B. Bauermeister (Stockholm U., OKC & U. Mainz, PRISMA), M.L. Benabderrahmane (New York U., Abu Dhabi), T. Berger (Rensselaer Poly.), P. A. Breur, A. Brown (NIKHEF, Amsterdam), E. Brown (Rensselaer Poly.), S. Bruenner (Heidelberg, Max Planck Inst.), G. Bruno (Gran Sasso), R. Budnik (Weizmann Inst.), L. Büttikofer (Bern U.), J. Calvén (Stockholm U., OKC), J.M.R. Cardoso (Coimbra U.), M. Cervantes (Purdue U.), D. Cichon (Heidelberg, Max Planck Inst.), D. Coderre (Bern U.), A. P. Colijn (NIKHEF, Amsterdam), J. Conrad (Stockholm U., OKC), J.P. Cussonneau (SUBATECH, Nantes), M. P. Decowski (NIKHEF, Amsterdam), P. de Perio (Columbia U.), P. Di Gangi (Bologna U. & INFN, Bologna), A. Di Giovanni (Zurich U.), S. Diglio (SUBATECH, Nantes), E. Duchovni (Weizmann Inst.), J. Fei (UC, San Diego), A.D. Ferella (Stockholm U., OKC), A. Fieguth (Munster U.), D. Franco (Zurich U.), W. Fulgione (Gran Sasso & INFN, Turin), A. Gallo Rosso (Gran Sasso), M. Galloway (Zurich U.), F. Gao (UC, San Diego), M. Garbini (Bologna U. & INFN, Bologna), C. Geis (U. Mainz, PRISMA), L. W. Goetzke (Columbia U.), C. Grignon (U. Mainz, PRISMA), C. Hasterok (Heidelberg, Max Planck Inst.), E. Hogenbirk (NIKHEF, Amsterdam & NWO, The Hague), R. Itay (Weizmann Inst.), B. Kaminsky (Bern U.), G. Kessler, A. Kish (Zurich U.), H. Landsman (Weizmann Inst.), R.F. Lang (Purdue U.), D. Lellouch, L. Levinson (Weizmann Inst.), M. Le Calloch (SUBATECH, Nantes), C. Levy (Rensselaer Poly.), Q. Lin (Columbia U.), S. Lindemann, M. Lindner (Heidelberg, Max Planck Inst.), J. A. M. Lopes (Coimbra U.), A. Manfredini (Weizmann Inst.), T. Marrodán Undagoitia (Heidelberg, Max Planck Inst.), J. Masbou (SUBATECH, Nantes), F.V. Massoli (Bologna U. & INFN, Bologna), D. Masson (Purdue U.), D. Mayani (Zurich U.), Y. Meng (UCLA), M. Messina (Columbia U.), K. Micheneau (SUBATECH, Nantes), B. Miguez (INFN, Turin), A. Molinaro (Gran Sasso), M. Murra (Munster U.), J. Naganoma (Rice U.), K. Ni (UC, San Diego), U. Oberlack (U. Mainz, PRISMA), S. E. A. Orrigo (Coimbra U.), P. Pakarha (Zurich U.), B. Pelssers (Stockholm U., OKC), R. Persiani (SUBATECH, Nantes), F. Piastra (Zurich U.), J. Pienaar (Purdue U.), M.-C. Piro (Rensselaer Poly.), G. Plante (Columbia U.), N. Priel (Weizmann Inst.), L. Rauch (Heidelberg, Max Planck Inst.), S. Reichard, C. Reuter (Purdue U.), A. Rizzo (Columbia U.), S. Rosendahl (Munster U.), N. Rupp (Heidelberg, Max Planck Inst.), J.M.F. dos Santos (Coimbra U.), G. Sartorelli (Bologna U. & INFN, Bologna), M. Scheibelhut (U. Mainz, PRISMA), S. Schindler (Mainz U., Inst. Phys. & U. Mainz, PRISMA), J. Schreiner (Heidelberg, Max Planck Inst.), M. Schumann (Bern U.), L. Scotto Lavina (SUBATECH, Nantes), M. Selvi (Bologna U. & INFN, Bologna), P. Shagin (Rice U.), M. Silva (Coimbra U.), H. Simgen (Heidelberg, Max Planck Inst.), M.v. Sivers (Bern U.), A. Stein (UCLA), D. Thers (SUBATECH, Nantes), A. Tiseni (NIKHEF, Amsterdam), G. Trincherò (INFN, Turin), C. D. Tunnell (NIKHEF, Amsterdam), R. Wall (Rice U.), H. Wang (UCLA), M. Weber (Columbia U.), Y. Wei (Zurich U.), C. Weinheimer (Munster U.), J. Wulf (Zurich U.), Y. Zhang (Columbia U.)) [Hide](#)

Sep 20, 2016 - 12 pages

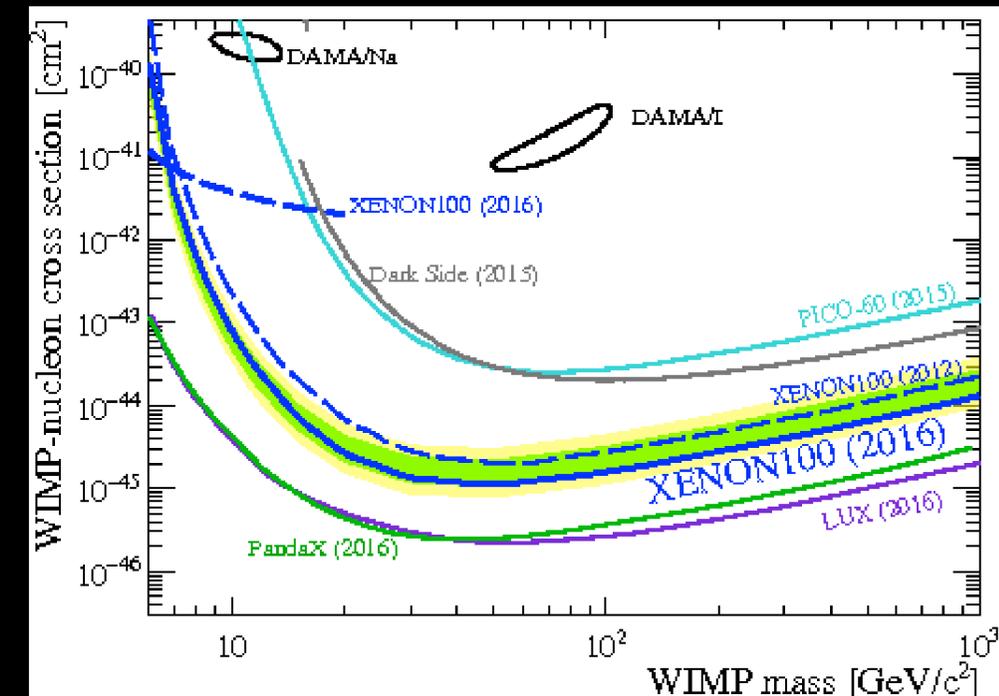
Phys.Rev. D94 (2016) no.12, 122001
(2016-12-12)

DOI: [10.1103/PhysRevD.94.122001](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.94.122001)
e-Print: [arXiv:1609.06154](https://arxiv.org/abs/1609.06154) [astro-ph.CO] | [PDF](#)
Experiment: [XENON100](#)

Direct dark matter search in XENON1T experiment; new results foreseen from future XENONnT under construction

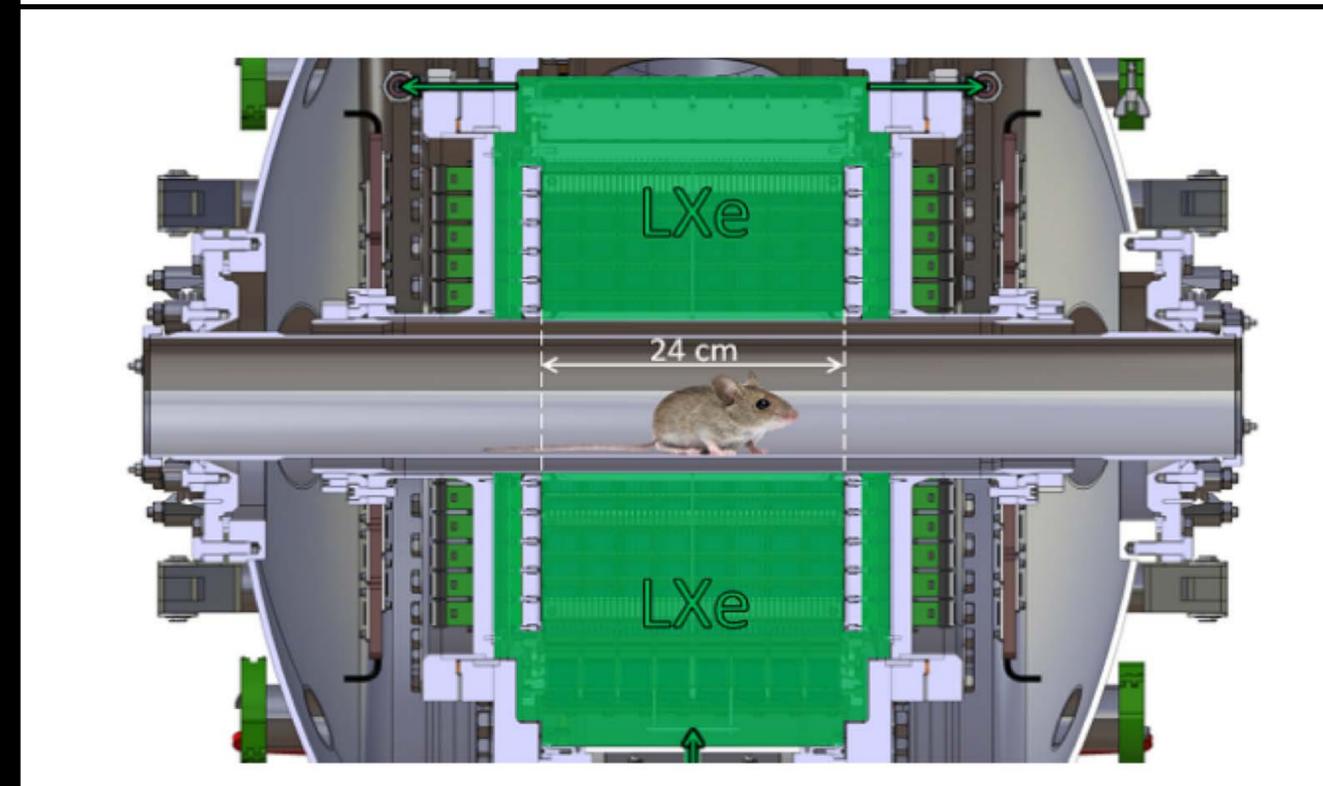
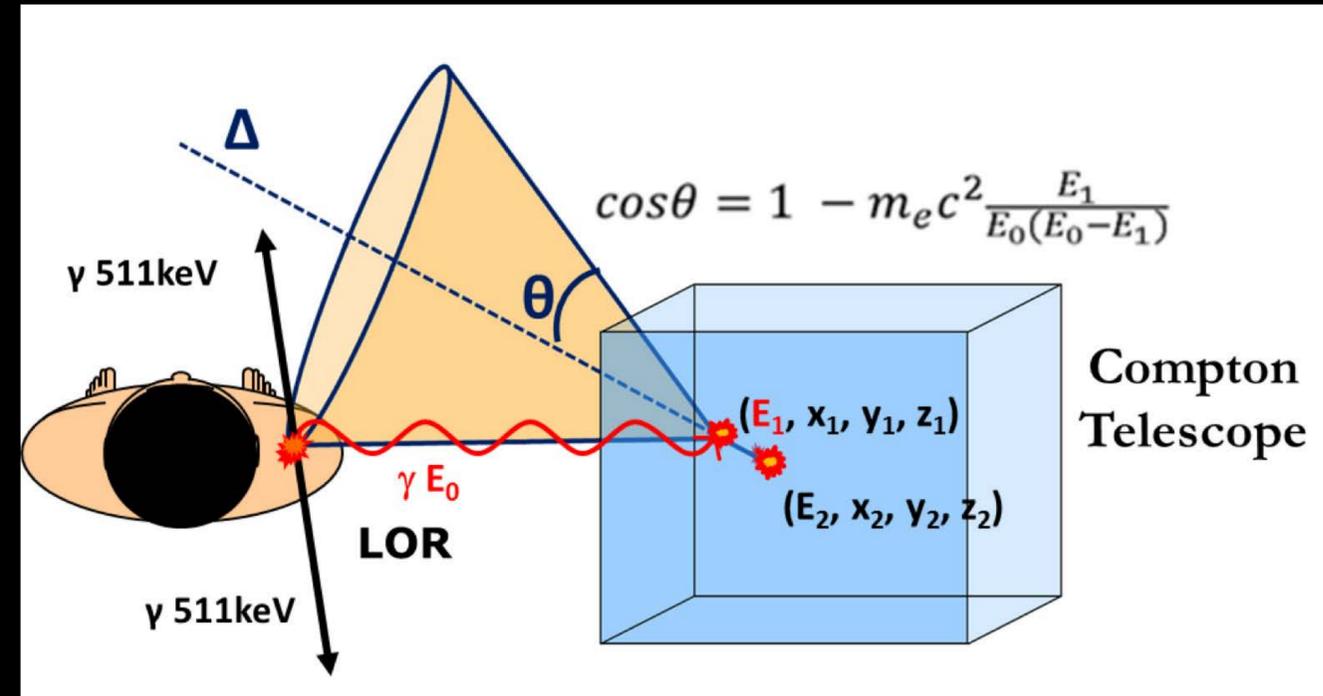
Several technical challenges and patents

The same detection technique is now applied to medical imaging !!!



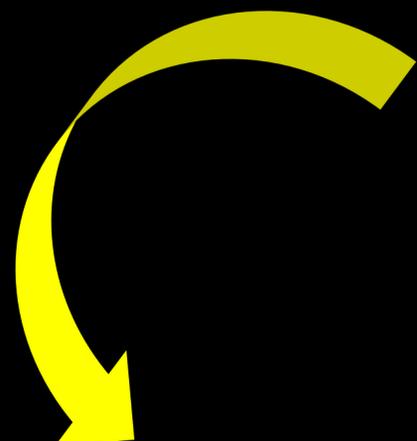
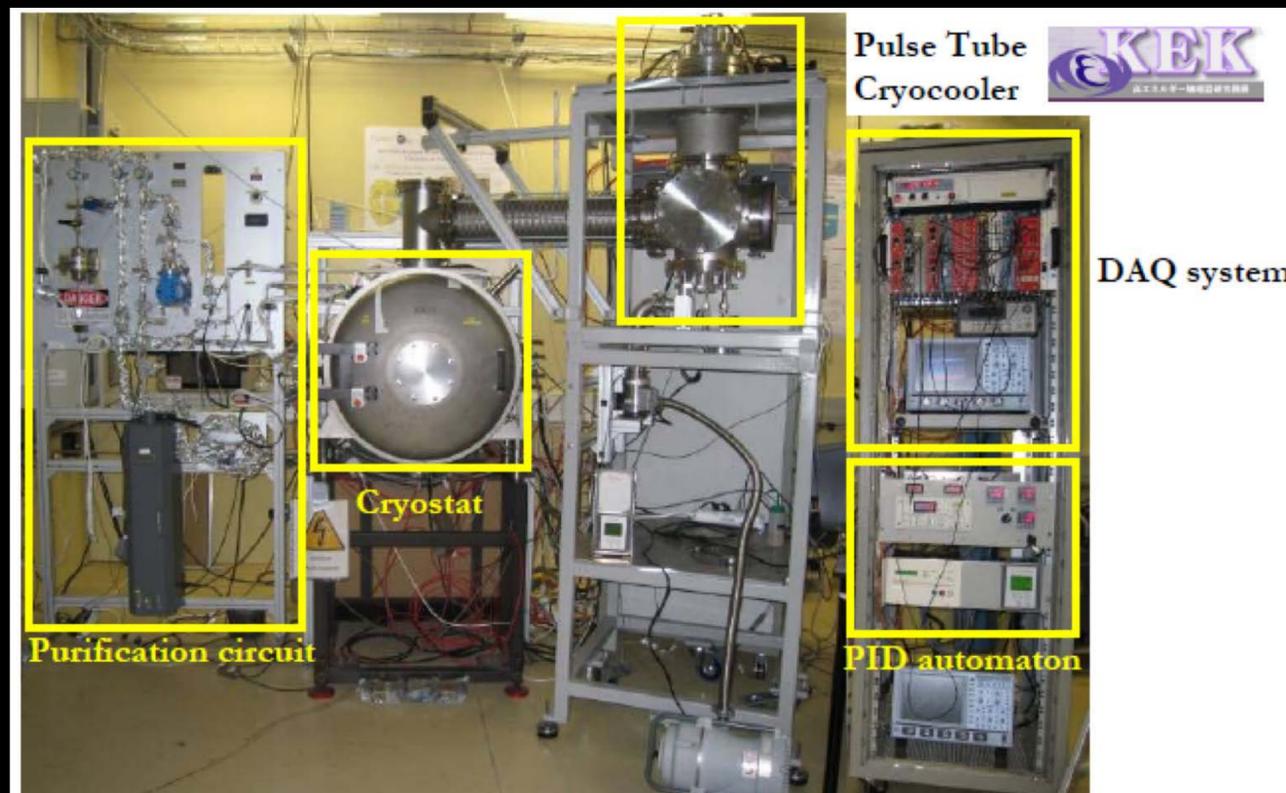
Medical imaging with γ 3 photons

- Need for a beta+ + photon emitter in radioactive decay
- ^{44}Sc is a good candidate (produced locally at ARRONAX)
- Xenon Medical Imaging System (XEMIS) rely on the LXe technology used in XENON experiment.
- Xe is extracted from the air (price: 0.5-4 k€ par kg)
- Main advantage : same imaging quality for injected dose reduced by 100-1000 => faster and cheaper on the long term

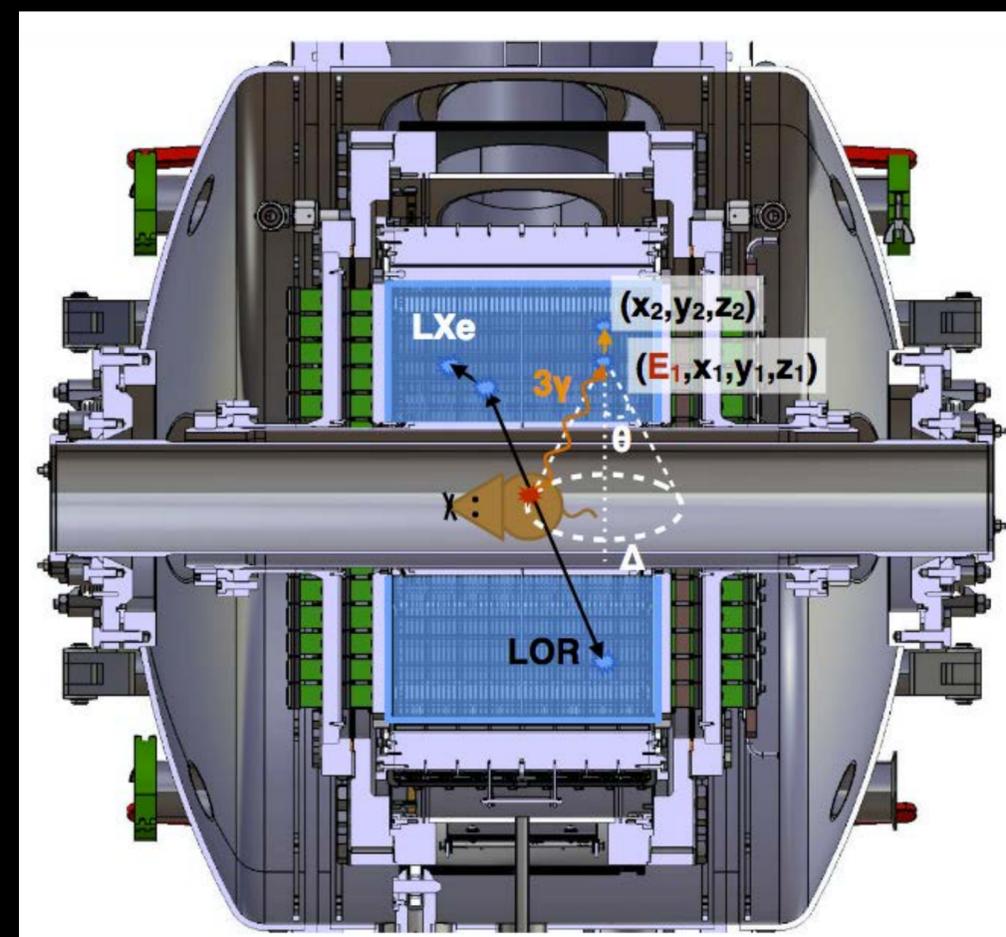
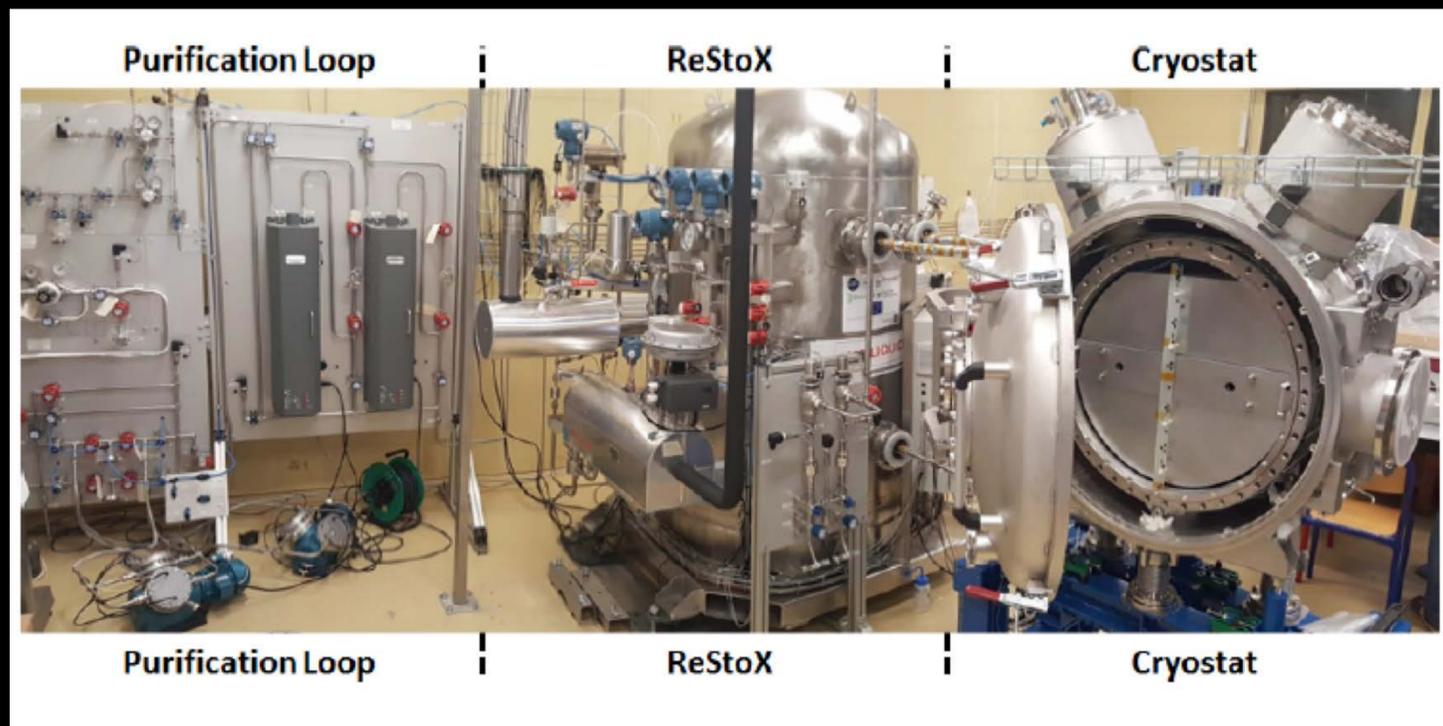


XEMIS2

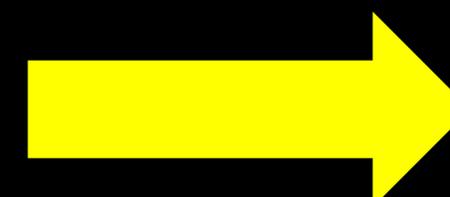
XEMIS1 : R&D



XEMIS2 : Small Animal Imaging, now installed at the CHU



Plans for XEMIS3 :
body imaging



Final words

- We seldom know what could be the outreach of fundamental research...
- ... so go for it (live STRONG)
- Stay eyes wide opened
- And enjoy your stay here in Nantes / IMT Atlantique / Subatech

Un autre exemple des nos activités :

- La chimie de l'Astate : une recherche orientée

La chimie de l'astate ("instable" en grecque)

1 H Hydrogène																	2 He Hélium																														
3 Li Lithium	4 Be Béryllium											5 B Bore	6 C Carbone	7 N Azote	8 O Oxygène	9 F Fluor	10 Ne Néon																														
11 Na Sodium	12 Mg Magnésium											13 Al Aluminium	14 Si Silicium	15 P Phosphore	16 S Soufre	17 Cl Chlore	18 Ar Argon																														
19 K Potassium	20 Ca Calcium	21 Sc Scandium	22 Ti Titane	23 V Vanadium	24 Cr Chrome	25 Mn Manganèse	26 Fe Fer	27 Co Cobalt	28 Ni Nickel	29 Cu Cuivre	30 Zn Zinc	31 Ga Gallium	32 Ge Germanium	33 As Arsenic	34 Se Sélénium	35 Br Brome	36 Kr Krypton																														
37 Rb Rubidium	38 Sr Strontium	39 Y Yttrium	40 Zr Zirconium	41 Nb Niobium	42 Mo Molybdène	43 Tc Technétium	44 Ru Ruthénium	45 Rh Rhodium	46 Pd Palladium	47 Ag Argent	48 Cd Cadmium	49 In Indium	50 Sn Étain	51 Sb Antimoine	52 Te Tellure	53 I Iode	54 Xe Xénon																														
55 Cs Césium	56 Ba Baryum	* *	72 Hf Hafnium	73 Ta Tantale	74 W Tungstène	75 Re Rhenium	76 Os Osmium	77 Ir Iridium	78 Pt Platine	79 Au Or	80 Hg Mercure	81 Tl Thallium	82 Pb Plomb	83 Bi Bismuth	84 Po Polonium	85 At Astate	86 Rn Radon																														
87 Fr Francium	88 Ra Radium	** **	104 Rf Rutherfordium	105 Db Dubnium	106 Sg Seaborgium	107 Bh Bohrium	108 Hs Hassium	109 Mt Meitnerium	110 Ds Darmstadtium	111 Rg Roentgenium	112 Uub Ununbium	113 Uut Ununtrium	114 Uuq Ununquadium	115 Uup Ununpentium	116 Uuh Ununhexium	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium																														
<table border="1"> <tr> <td>57 La Lanthane</td> <td>58 Ce Cérium</td> <td>59 Pr Praseodyme</td> <td>60 Nd Néodyme</td> <td>61 Pm Prométhium</td> <td>62 Sm Samarium</td> <td>63 Eu Europium</td> <td>64 Gd Gadolinium</td> <td>65 Tb Terbium</td> <td>66 Dy Dysprosium</td> <td>67 Ho Holmium</td> <td>68 Er Erbium</td> <td>69 Tm Thulium</td> <td>70 Yb Ytterbium</td> <td>71 Lu Lutécium</td> </tr> <tr> <td>89 Ac Actinium</td> <td>90 Th Thorium</td> <td>91 Pa Protactinium</td> <td>92 U Uranium</td> <td>93 Np Néptunium</td> <td>94 Pu Plutonium</td> <td>95 Am Américium</td> <td>96 Cm Curium</td> <td>97 Bk Berkélium</td> <td>98 Cf Californium</td> <td>99 Es Einsteinium</td> <td>100 Fm Fermium</td> <td>101 Md Mendelevium</td> <td>102 No Nobelium</td> <td>103 Lr Lawrencium</td> </tr> </table>																		57 La Lanthane	58 Ce Cérium	59 Pr Praseodyme	60 Nd Néodyme	61 Pm Prométhium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutécium	89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uranium	93 Np Néptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Américium	96 Cm Curium	97 Bk Berkélium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium
57 La Lanthane	58 Ce Cérium	59 Pr Praseodyme	60 Nd Néodyme	61 Pm Prométhium	62 Sm Samarium	63 Eu Europium	64 Gd Gadolinium	65 Tb Terbium	66 Dy Dysprosium	67 Ho Holmium	68 Er Erbium	69 Tm Thulium	70 Yb Ytterbium	71 Lu Lutécium																																	
89 Ac Actinium	90 Th Thorium	91 Pa Protactinium	92 U Uranium	93 Np Néptunium	94 Pu Plutonium	95 Am Américium	96 Cm Curium	97 Bk Berkélium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium																																	

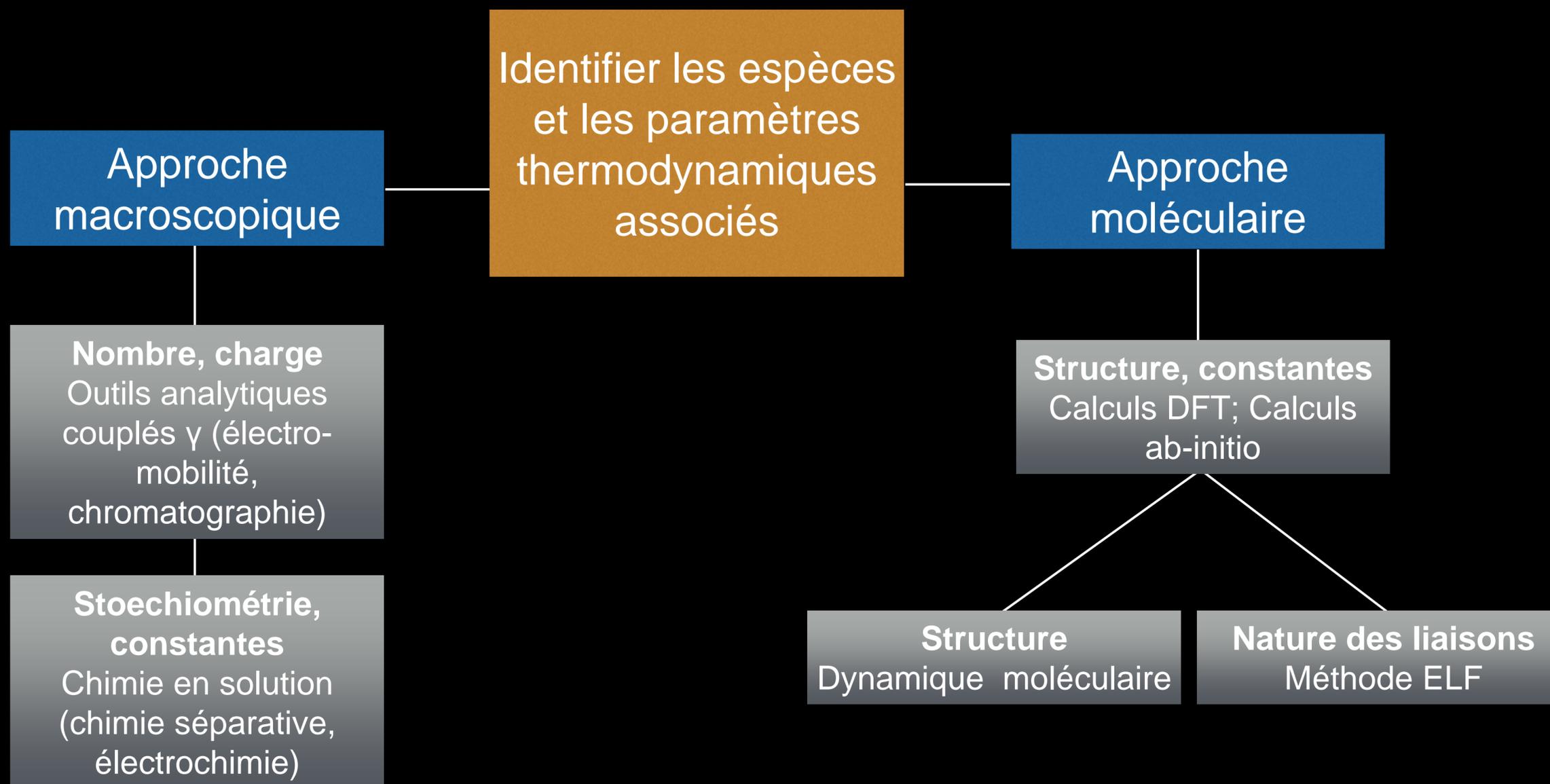
- ☉ Tous les isotopes de l'astate sont instables. Le plus stable, At-210 qui vie en moyenne 8h
- ☉ On estime ainsi à moins de 30 g la quantité d'astate présente dans la croûte terrestre
- ☉ Aucun échantillon pure d'astate existe, car l'échantillon s'évaporerait immédiatement à cause de la chaleur radioactive
- ☉ Son isotope At-211 possède en effet de bonnes propriétés physiques permettant d'éliminer les cellules cancéreuses, grâce au rayonnement créé par la désintégration du noyau radioactif

Créer l'Astate dans les accélérateurs de particules



- ④ L'accélérateur nantais Arronax peut créer de l'Astate
- ④ Mais il faut connaître la chimie de l'Astate pour imaginer la molécule pour transporter l'astate près des cellules tumorales à éradiquer avec la particularité de travailler à l'échelle des ultra-traces (de l'ordre du nanogramme...)

Une approche développée depuis 15 ans et adaptée à l'étude de cet élément « rare » et « invisible »



L'astate peut former des interactions par liaison halogène!

Plus fort que le Iode!



ARTICLES

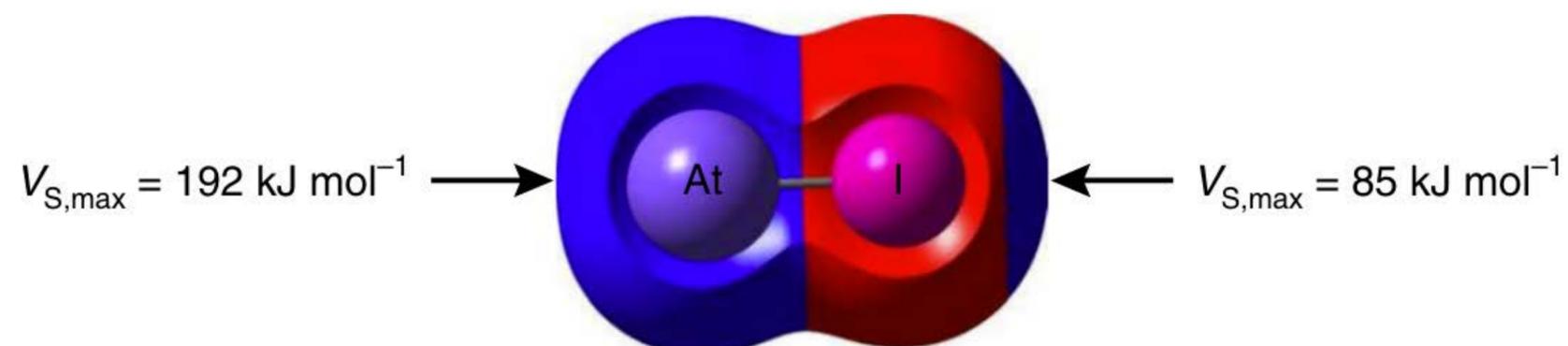
<https://doi.org/10.1038/s41557-018-0011-1>

nature
chemistry

Experimental and computational evidence of halogen bonds involving astatine

Ning Guo¹, Rémi Maurice¹, David Teze¹, Jérôme Graton², Julie Champion¹, Gilles Montavon^{1*} and Nicolas Galland^{2*}

The importance of halogen bonds—highly directional interactions between an electron-deficient σ -hole moiety in a halogenated compound and an acceptor such as a Lewis base—is being increasingly recognized in a wide variety of fields from biomedical chemistry to materials science. The heaviest halogens are known to form stronger halogen bonds, implying that if this trend continues down the periodic table, astatine should exhibit the highest halogen-bond donating ability. This may be mitigated, however, by the relativistic effects undergone by heavy elements, as illustrated by the metallic character of astatine. Here, the occurrence of halogen-bonding interactions involving astatine is experimentally evidenced. The complexation constants of astatine monoiodide with a series of organic ligands in cyclohexane solution were derived from distribution coefficient measurements and supported by relativistic quantum mechanical calculations. Taken together, the results show that astatine indeed behaves as a halogen-bond donor—a stronger one than iodine—owing to its much more electrophilic σ -hole.



Faits marquants scientifiques III

Audrey Francisco-Bosson, lauréate de la bourse L'Oréal-Unesco 2018

Précédemment doctorante en physique à IMT Atlantique, Audrey Francisco-Bosson a été récompensée lors de l'édition 2018 du programme national L'Oréal-UNESCO "Pour les Femmes et la Science". La cérémonie s'est déroulée le 8 octobre au Palais de la Découverte. Une bourse de 15 000€ lui a été remise pour financer ses futures recherches.

Ce programme a été créé en 2007 à partir d'un constat : la sous-représentation des femmes en science. Aux côtés de l'UNESCO et de l'Académie des Sciences, la Fondation L'Oréal agit pour faire croître la part des femmes dans la recherche scientifique. Le programme "Pour les Femmes et la Science" a pour but d'encourager de jeunes chercheuses talentueuses à un moment clé de leur carrière et à susciter les vocations scientifiques des plus jeunes. Cette année, le jury, présidé par le Président de l'Académie des sciences, a sélectionné 30 dossiers de doctorantes et post-doctorantes parmi les 691 candidates.



Crédit photo Fondation L'Oréal / Carl Diner

Prix à la meilleure thèse de la collaboration
ALICE 2017

Prix de thèse 2017 (5 prix) la Chancellerie
des Universités de Paris

Accessit Prix SFP Jeune Chercheur 2017

Lauréate de la bourse L'Oréal-Unesco 2018.

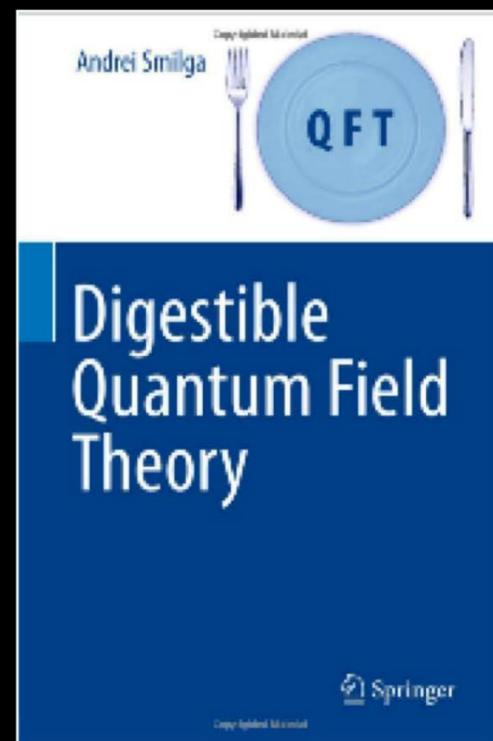


Mohamad Tarhini a effectué sa thèse intitulée :

Measurement of Z-boson and J/ψ Production in p-Pb and Pb-Pb Collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV with ALICE at the LHC

à l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay, CNRS/Université Paris-Sud, sous la direction de Bruno Espagnon.

La thèse de Mohamad Tarhini porte sur la première mesure dans l'expérience ALICE de la production de boson Z dans les collisions p-Pb et Pb-Pb. ALICE est l'une des quatre grandes expériences du Grand Collisionneur de Hadrons (LHC) au CERN. Elle a pour objectif d'étudier un état extrême de la matière nucléaire qui aurait existé quelques microsecondes après le Big-Bang : le Plasma de Quarks et de Gluons (QGP). La mesure effectuée par Mohamad est essentielle car le boson Z étant insensible à l'interaction forte, elle permet de sonder l'état initial de la collision dans les domaines cinématiques couverts par l'expérience et ainsi d'espérer pouvoir séparer les effets dus à l'état initial de la collision des effets dus au QGP.



CHEMICAL THERMODYNAMICS VOLUME 3
CHEMICAL THERMODYNAMICS OF TECHNETIUM

NORTH-HOLLAND

Livre d'Andrei Smilga sur la théorie quantique de champs.
Livre sur la thermodynamique de Uranium, Plutonium, Americium, Neptunium et de Technetium en cour d'impression (B. Grambow coauteur). Contributions au livre sur les verres de A. Abdelouas, J. Neeway, B. Grambow