

0/ Introduction

1/ Détecter quoi $\leftrightarrow$ pourquoi

2/ Interaction particules matière

3/ Généralités sur les détecteurs

4/ Application sociétales

5/ Exemple avec D0/ATLAS (Fermilab/CERN)



Applications sociétales

Technologies de l'information et de la communication

microélectronique
semi-conducteurs
technologies de l'information
infrastructure Internet
économie mondiale → WWW

ACCUEIL > HIGH TECH > CE QUE PÈSE INTERNET DANS L'ÉCONOMIE MONDIALE

Ce que pèse internet dans l'économie mondiale

Créé le 04-10-2012 à 16h30 - Mis à jour à 18h04



Par Marco Mosca



Selon l'OCDE, le chiffre d'affaires des 250 plus grandes entreprises du secteur des technologies de l'information et des Télécommunications a atteint 4.600 milliards de dollars en 2011.

Imagerie et détection → muographie

archéologie	→ pyramides
radiographie de sécurité	→ centrales nucléaires, volcans
sécurité publique	→ détection d'explosifs

Ordinateur quantique

Formation scientifique et éducation

AGLAÉ (Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire)

Accélérateur mobile pour Patrimoine culturel in situ Analyse non destructive



Applications sociétales → santé

Instrumentation médicale :

- détection de particules ionisantes
- détecteurs de rayons X et gamma
- capteurs de particules
- scanner

Imagerie médicale :

- recherche en neurosciences
- diagnostic médical
 - Tomographie par émission de positrons (TEP)
 - Tomographie par émission de photons uniques (SPECT)
 - Résonance magnétique nucléaire (RMN) → ISEULT

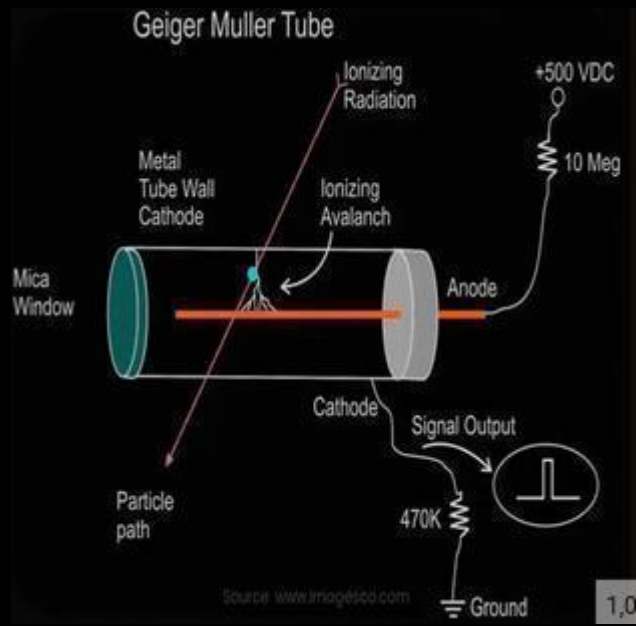
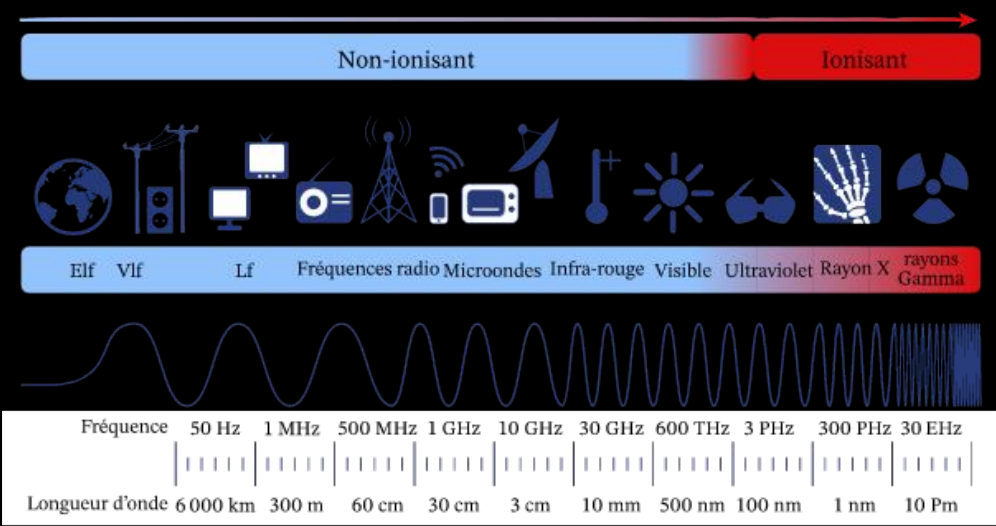
Radiothérapie :

- accélérateurs de particules
 - brûler des tumeurs
 - hadronthérapie
 - création atomes radioactifs

Applications sociétales → santé

Instrumentation médicale :

- détection de particules ionisantes
- capteurs de particules
- détecteurs de rayons X et gamma
- scanner



Röntgen

Applications sociétales → santé

Instrumentation médicale :

- détection de particules ionisantes
- détecteurs de rayons X et gamma
- capteurs de particules
- scanner

Imagerie médicale :

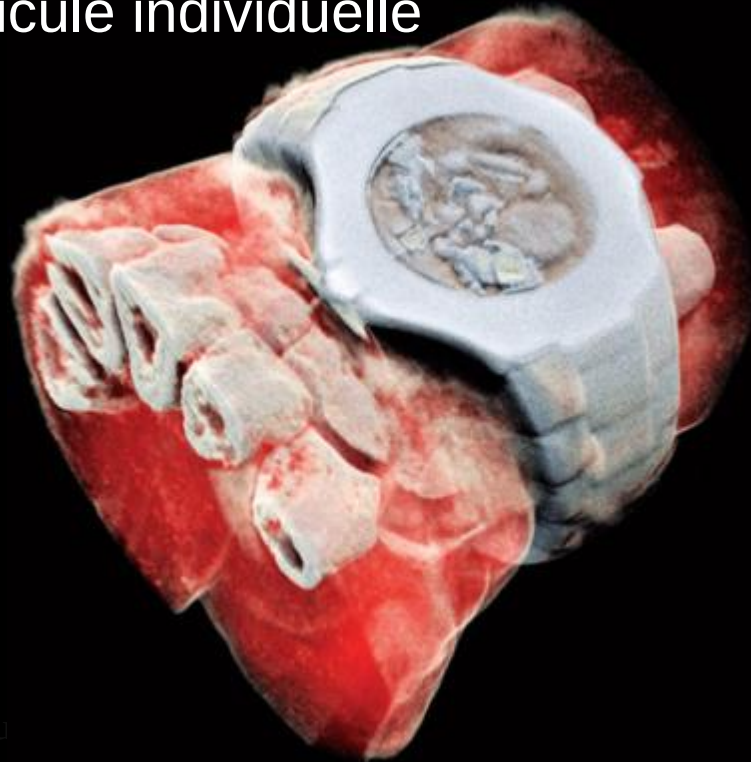
- recherche en neurosciences
- diagnostic médical
 - Tomographie par émission de positrons (TEP)
 - Tomographie par émission de photons uniques (SPECT)
 - Résonance magnétique nucléaire (RMN) → ISEULT

Radiothérapie :

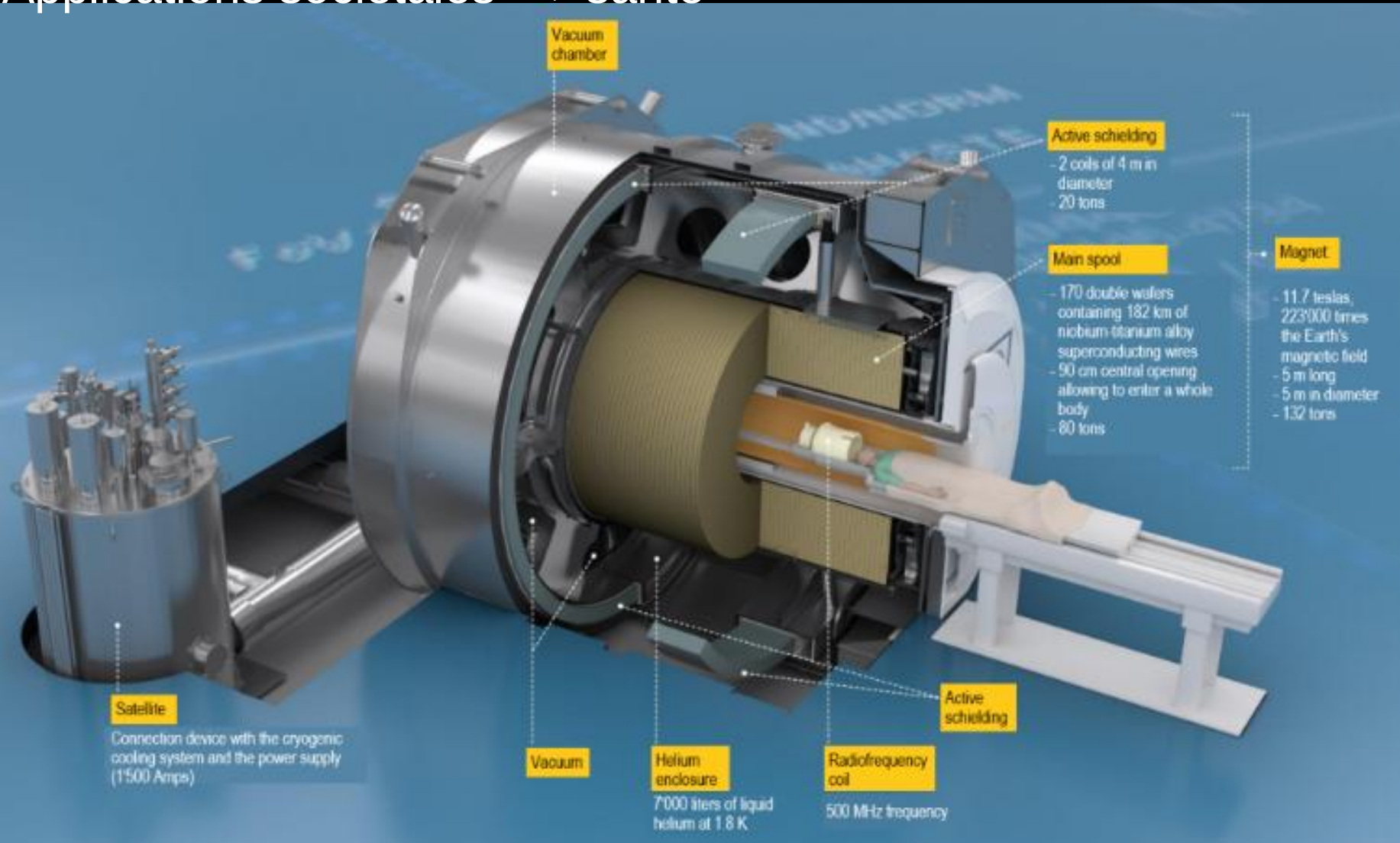
- accélérateurs de particules
 - brûler des tumeurs
 - hadronthérapie
 - création atomes radioactifs

Applications sociétales → santé

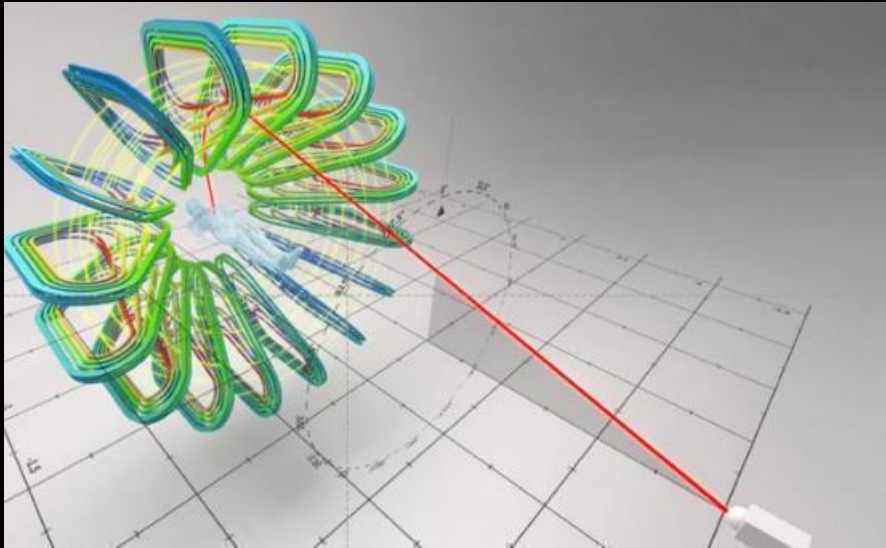
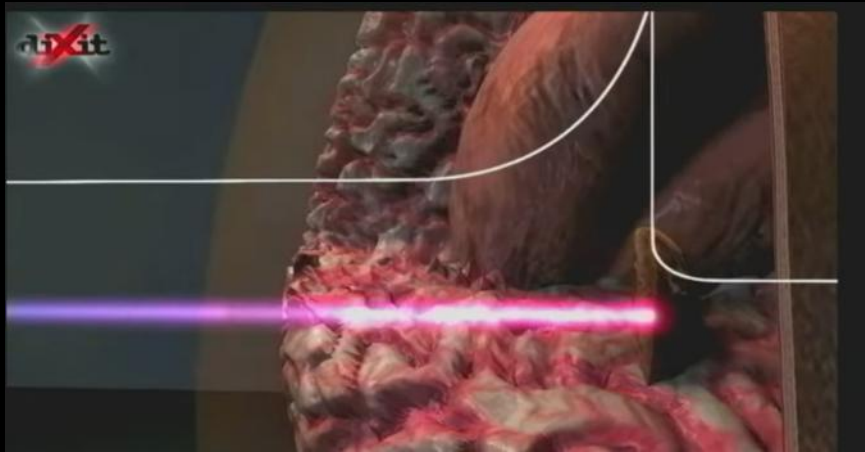
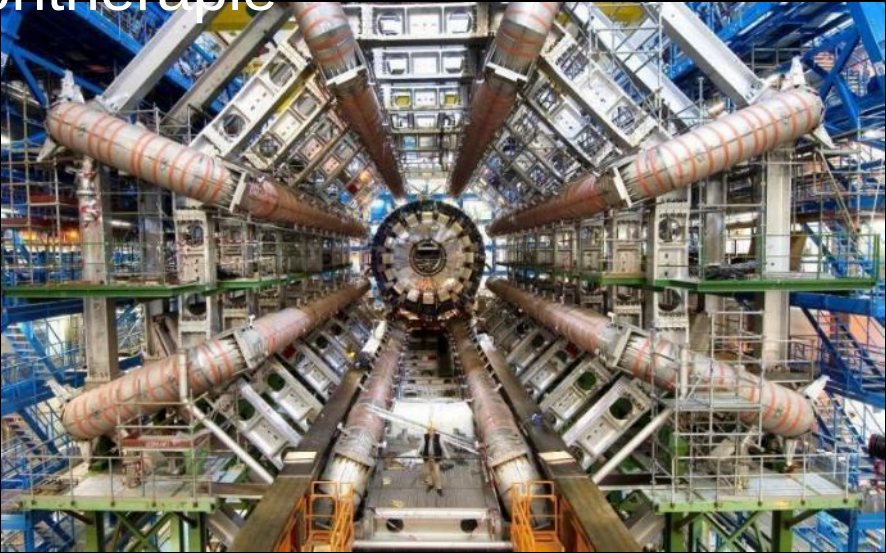
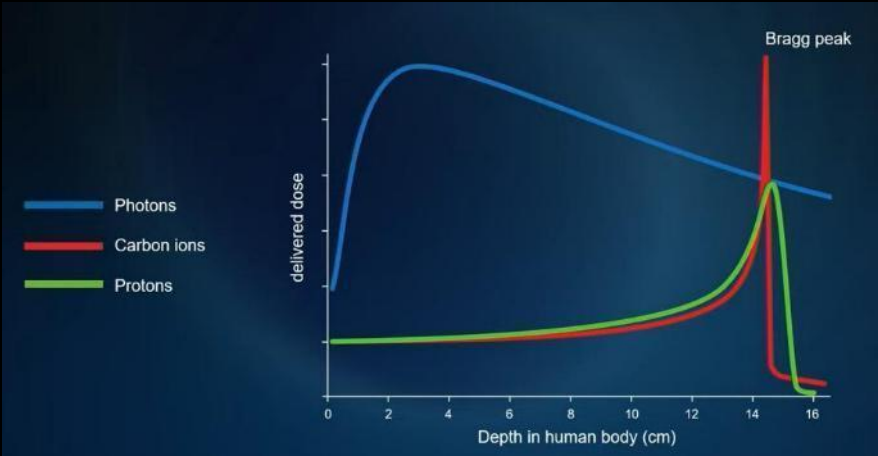
technologie développée au CERN → première radiographie 3D couleur
puces de lecture Medipix → trajectographe LHC
CMOS
détecte et compte chaque particule individuelle



lau



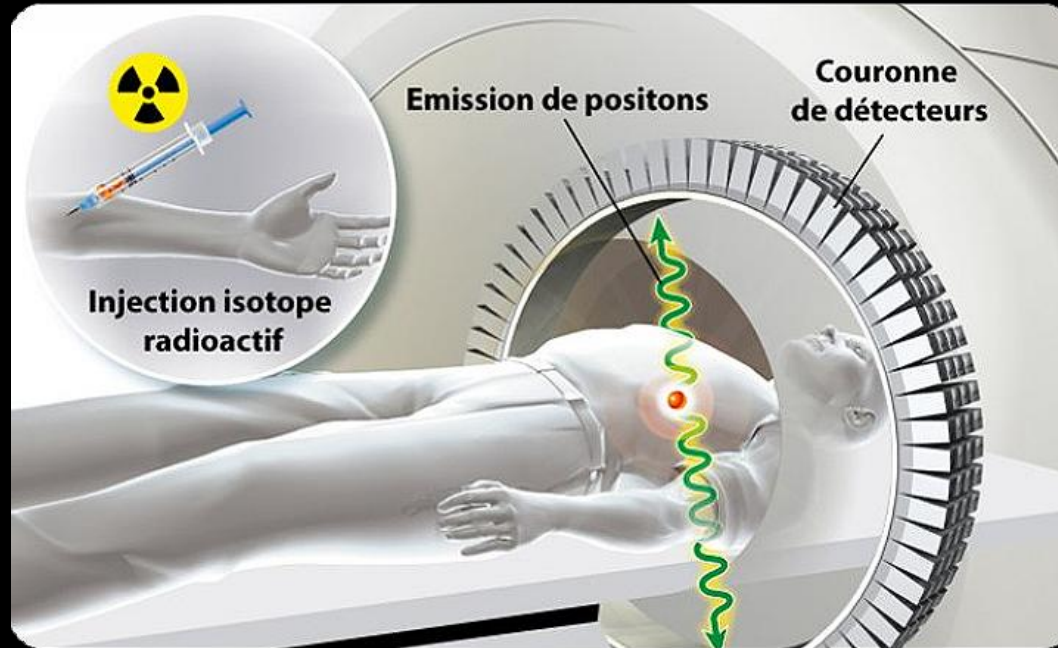
Applications sociétales → santé → hadronthérapie



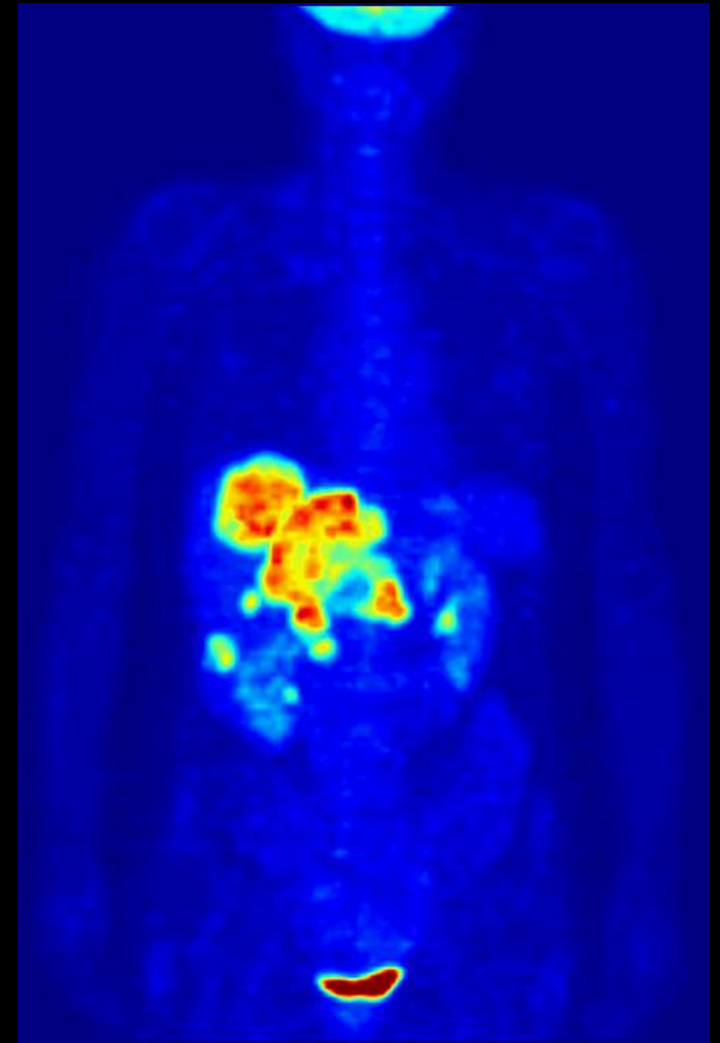
laurent chevalier

Applications sociétales → santé

TEP



laurent chevalier



Applications sociétales → santé

Instrumentation médicale :

- détection de particules ionisantes
- détecteurs de rayons X et gamma
- capteurs de particules
- scanner

Imagerie médicale :

- recherche en neurosciences
- diagnostic médical
 - Tomographie par émission de positrons (TEP)
 - Tomographie par émission de photons uniques (SPECT)
 - Résonance magnétique nucléaire (RMN) → ISEULT

Radiothérapie :

- accélérateurs de particules
 - brûler des tumeurs
 - hadronthérapie
 - création atomes radioactifs

Applications sociétales → santé → radio-isotopes & médecine nucléaire

Established isotopes → Industrial suppliers

^{99m}Tc , ^{18}F , $^{123,125,131}\text{I}$, ^{111}In , ^{90}Y

Emerging isotopes → Small innovative supplier

^{68}Ga , ^{82}Rb , ^{89}Zr , ^{177}Lu , ^{188}Re

R&D isotopes → Research labs

$^{44,47}\text{Sc}$, $^{64,67}\text{Cu}$, ^{134}Ce , ^{140}Nd , $^{149, 152, 155, 161}\text{Tb}$, ^{166}Ho
 ^{195m}Pt , ^{211}At , $^{212, 213}\text{Bi}$, ^{223}Ra , ^{225}Ac ,...

Applications sociétales

→ accélérateur

Area	Application	Beam	Accelerator	Beam energy/MeV	Beam current/ mA	Number
Medical	Cancer therapy	e	linac	4-20	10^{-2}	>14000
		p	cyclotron, synchrotron	250	10^{-6}	60
		C	synchrotron	4800	10^{-7}	10
	Radioisotope production	p	cyclotron	8-100	1	1600
Industrial	Ion implantation	B, As, P	electrostatic	< 1	2	>11000
	Ion beam analysis	p, He	electrostatic	<5	10^{-4}	300
	Material processing	e	electrostatic, linac, Rhodatron	≤ 10	150	7500
	Sterilisation	e	electrostatic, linac, Rhodatron	≤ 10	10	3000
Security	X-ray screening of cargo	e	linac	4-10	?	100?
	Hydrodynamic testing	e	linear induction	10-20	1000	5
Synchrotron light sources	Biology, medicine, materials science	e	synchrotron, linac	500-10000		70
Neutron scattering	Materials science	p	cyclotron, synchrotron, linac	600-1000	2	4
Energy - fusion	Neutral ion beam heating	d	electrostatic	1	50	10
	Heavy ion inertial fusion	Pb, Cs	Induction linac	8	1000	Under development
	Materials studies	d	linac	40	125	Under development
Energy - fission	Waste burner	p	linac	600-1000	10	Under development
	Thorium fuel amplifier	p	linac	600-1000	10	Under development
Energy - bio-fuel	Bio-fuel production	e	electrostatic	5	10	Under development
Environmental	Water treatment	e	electrostatic	5	10	5
	Flue gas treatment	e	electrostatic	0.7	50	Under development

Muography ou tomographie muonique

Applications

- Archéologie → pyramides
- Sécurité → conteneurs
- Géosciences → volcans
- Sûreté nucléaire → surveillance des réacteurs, étude de déchets

Muography

Applications

Archéologie → pyramides

Sécurité → conteneurs

Géosciences → volcans

Sûreté nucléaire → surveillance des réacteurs, étude de déchets

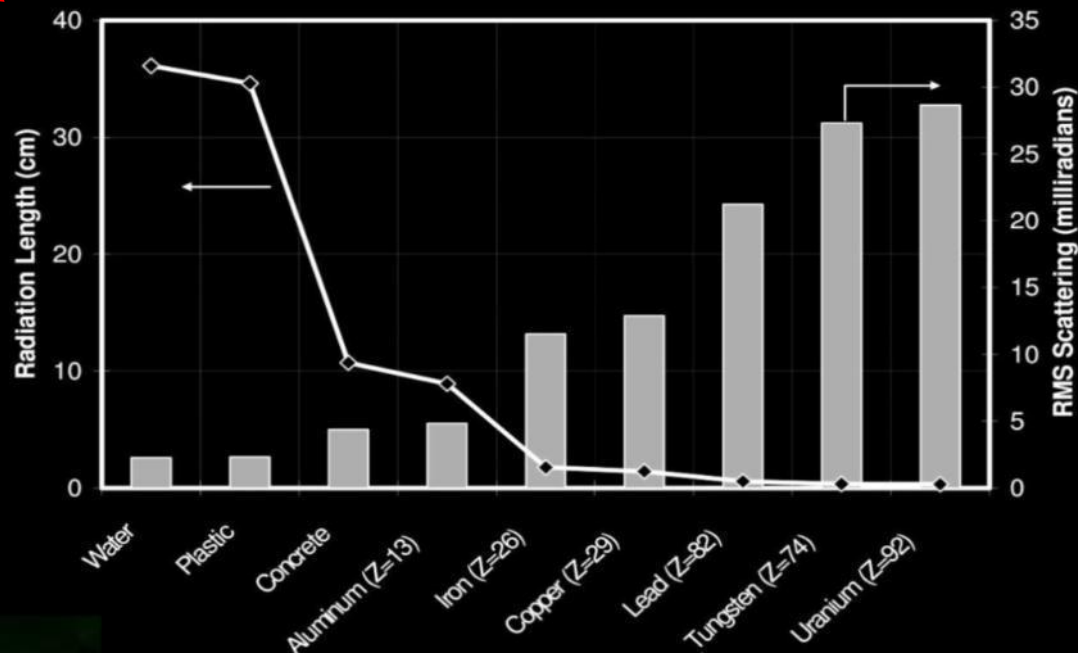
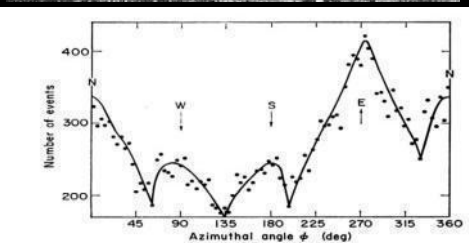
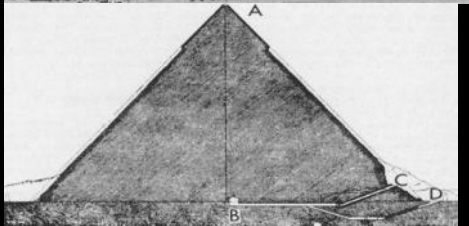
Muography

- the probability of muon absorption is proportional to the density
Muon flux $\rightarrow$ density map
- Use cosmic muons to analyze Archaeology, Volcanology, buildings structure,...

Search for Hidden Chambers in the Pyramids

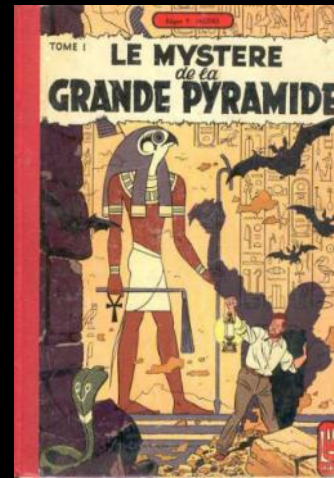
The structure of the Second Pyramid of Giza is determined by cosmic-ray absorption.

Luis W. Alvarez, Jared A. Anderson, F. El Bedwei,



Hidden room in the pyramid? $\rightarrow$

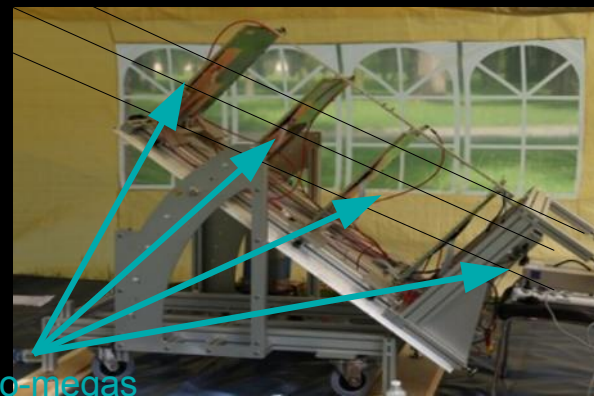
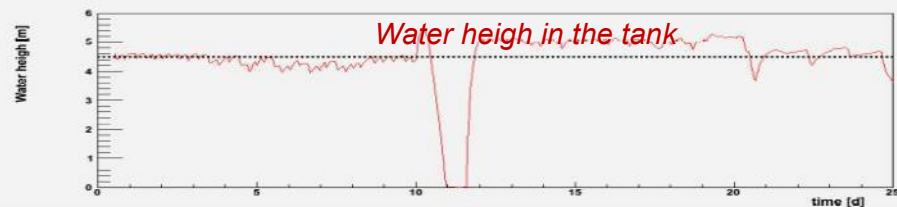
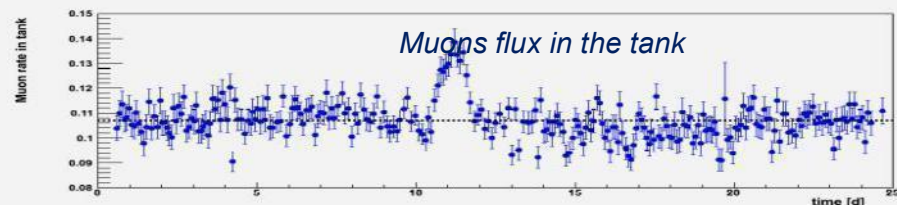
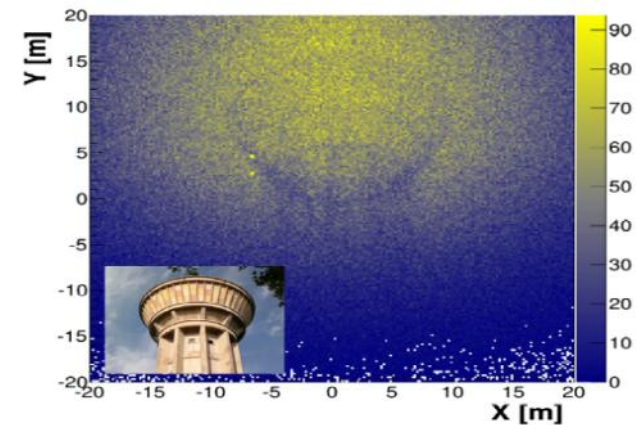
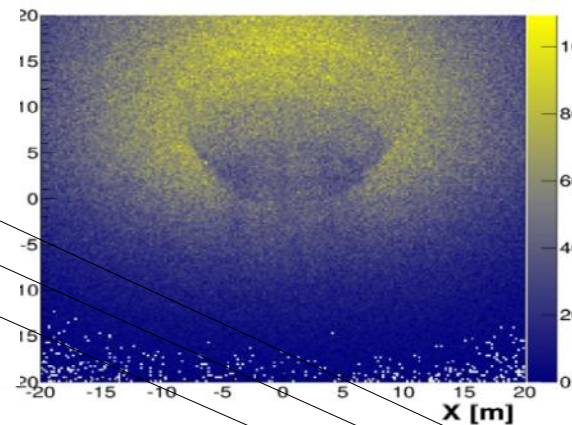
laurent chevalier



Muography

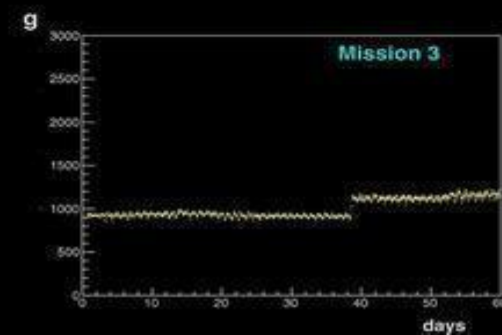
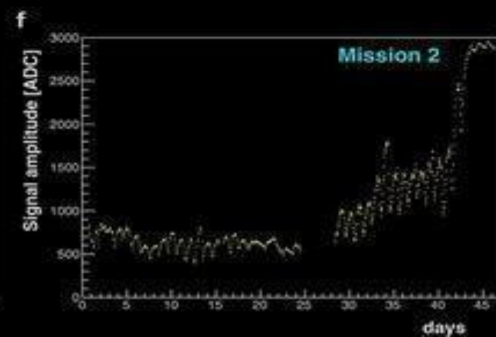
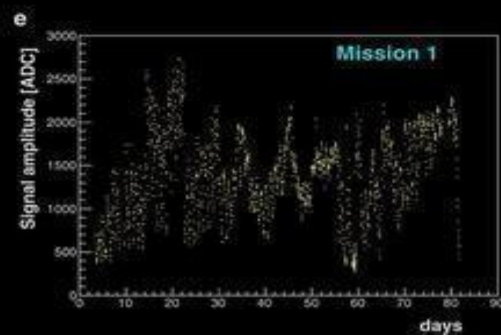
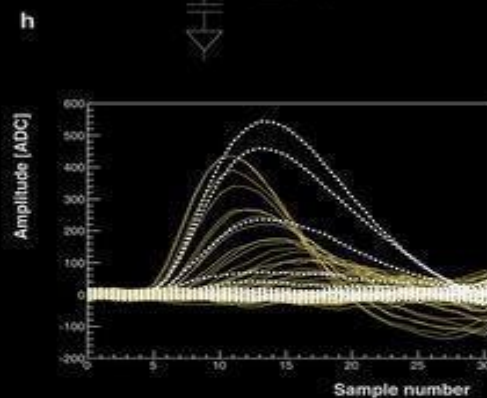
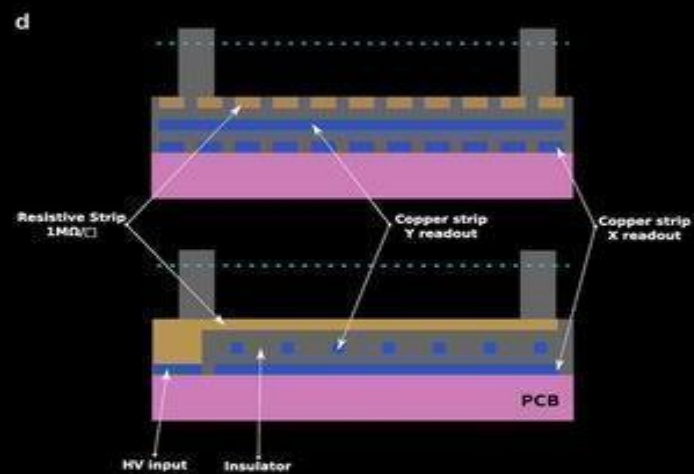
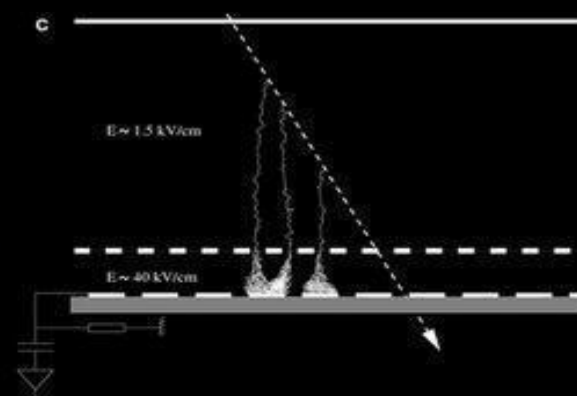
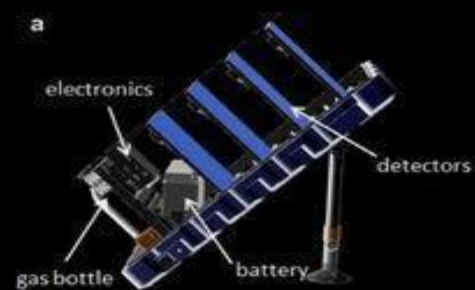
Micro Pattern Gas Detectors

- the probability of muon absorption is proportional to the density
Muon flux $\rightarrow$ density map
- Use cosmic muons to analyze Archaeology, Volcanology, buildings structure,...



Micro-megas

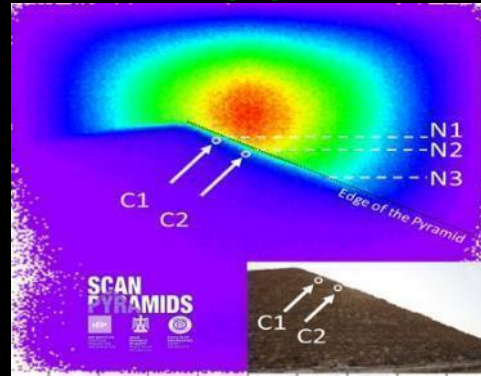
t chevalier



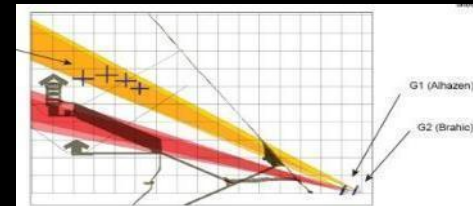
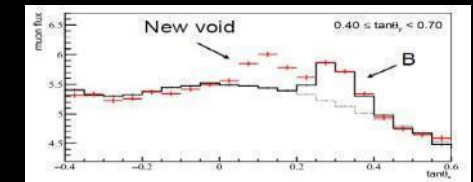
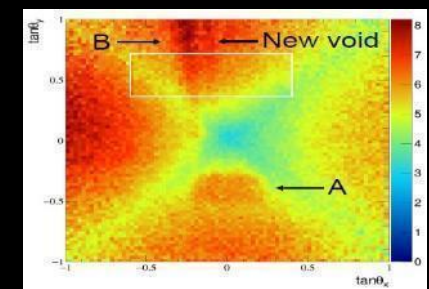
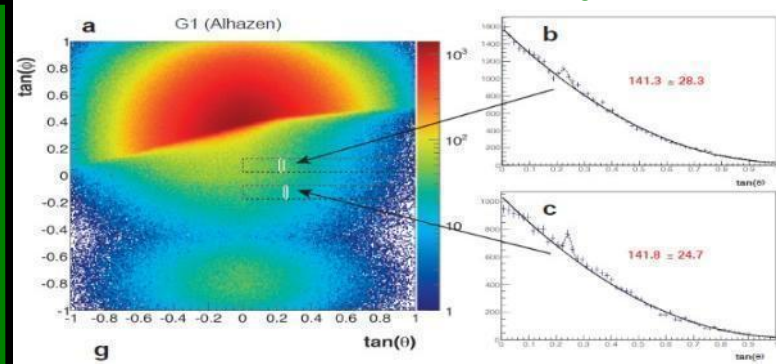
RESULTS

Discoveries of new cavities large void above the Grand Gallery

2016



2017



Muon Tomography of the Great Pyramid | 23/01/2018 | 19

Great Pyramid (Khufu's Pyramid)



King's
chamber

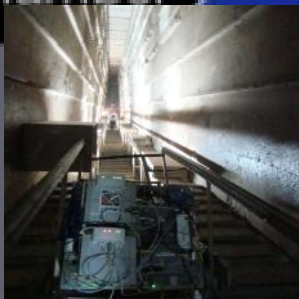
Grand
gallery

Queen's
chamber



Big void

Small void



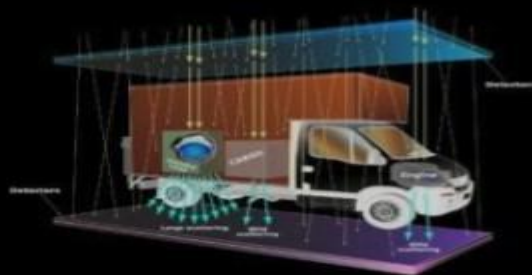
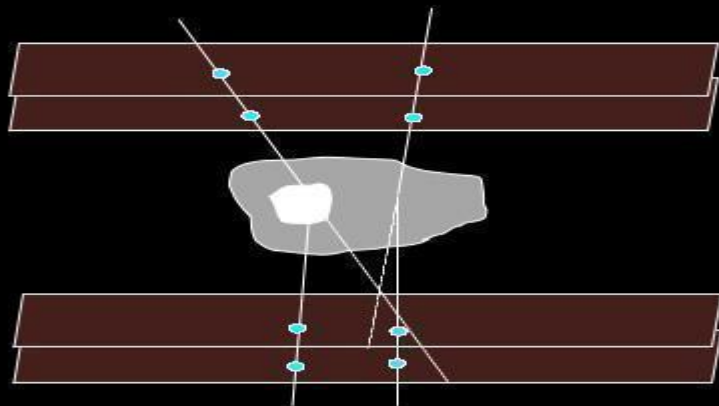
Muography

Applications

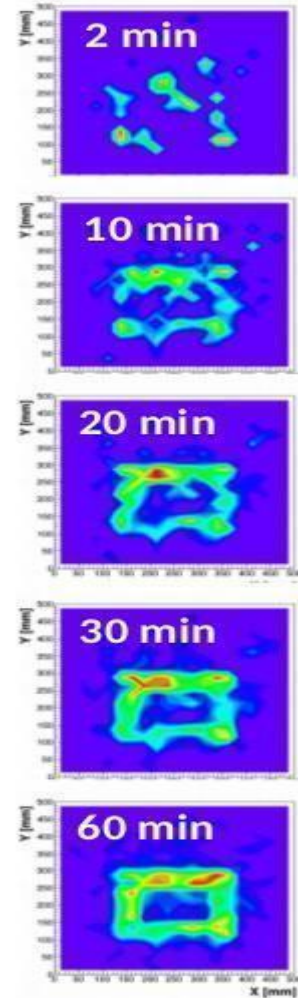
- Archéologie → pyramides
- Sécurité → conteneurs
- Géosciences → volcans
- Sûreté nucléaire → surveillance des réacteurs, étude de déchets

Muography

- Use cosmic muons to analyze truck, container....
- Multiple diffusion:
 - 2 detectors: deviation angle
 - fast ($\sim$ mn), 3D,



it chevalier





MUON CARGO

Non-invasive container inspection

[Learn more](#)



Muography

Applications

Archéologie → pyramides

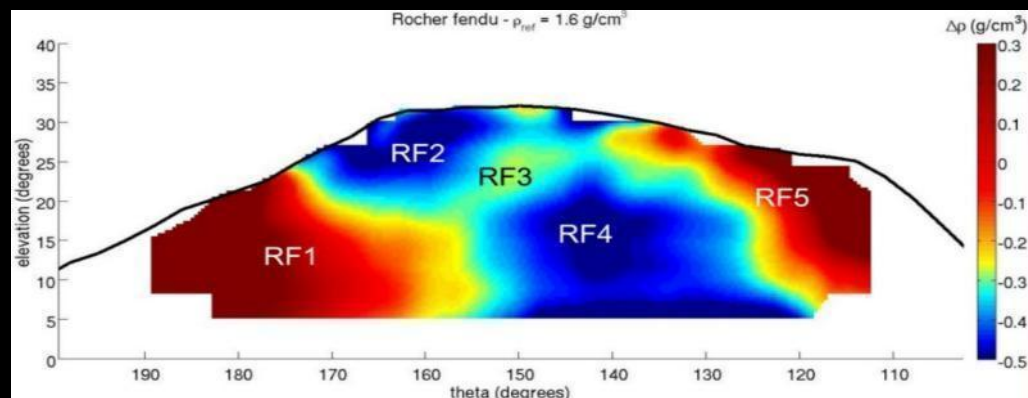
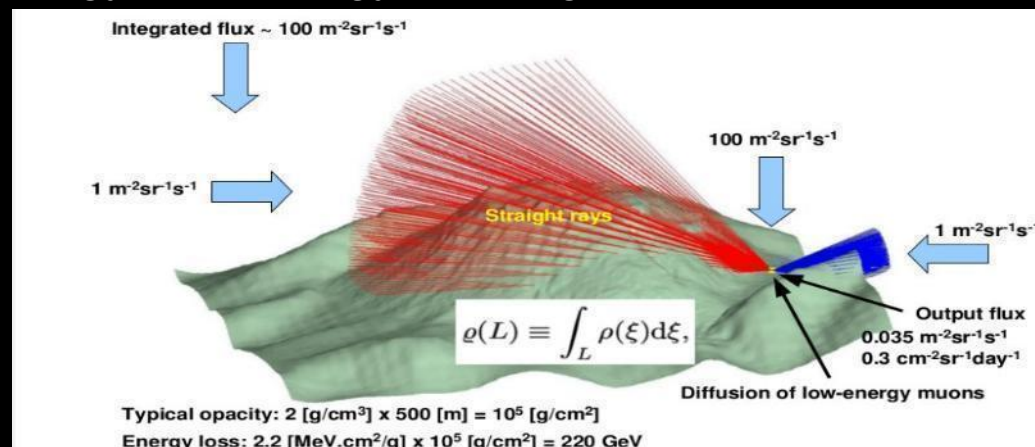
Sécurité → conteneurs

Géosciences → volcans

Sûreté nucléaire → surveillance des réacteurs, étude de déchets

Muography

- the probability of muon absorption is proportional to the density
Muon flux $\rightarrow$ density map
- Use cosmic muons to analyze Archaeology, Volcanology, buildings structure,...



Muography

Applications

- Archéologie → pyramides
- Sécurité → conteneurs
- Géosciences → volcans
- Sûreté nucléaire → surveillance des réacteurs, étude de déchets

Muography

Sûreté nucléaire

- Réacteurs de Marcoule G2 et G3 démantèlement
- 1958-1984



- compare structure interne et plan (<1958...)
- préparation de du génie civil
- identifier des anomalies potentielles

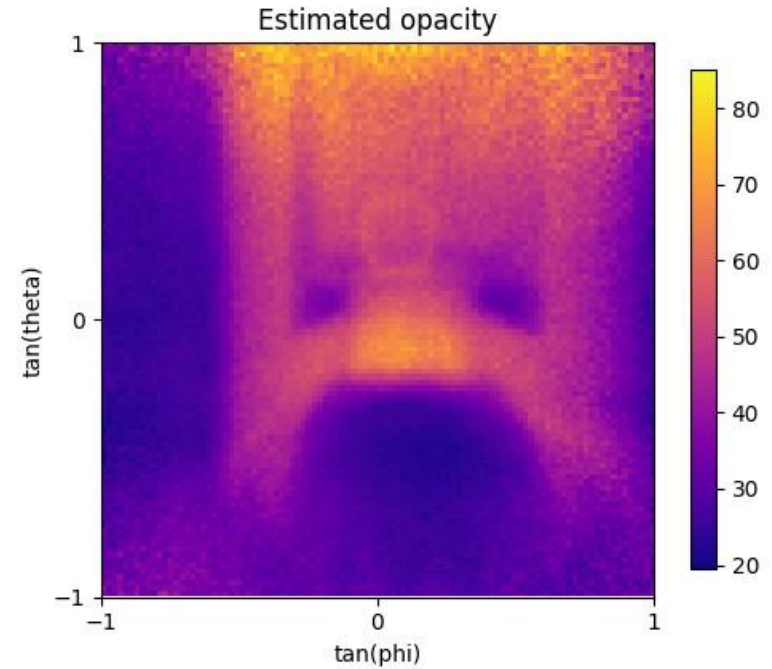
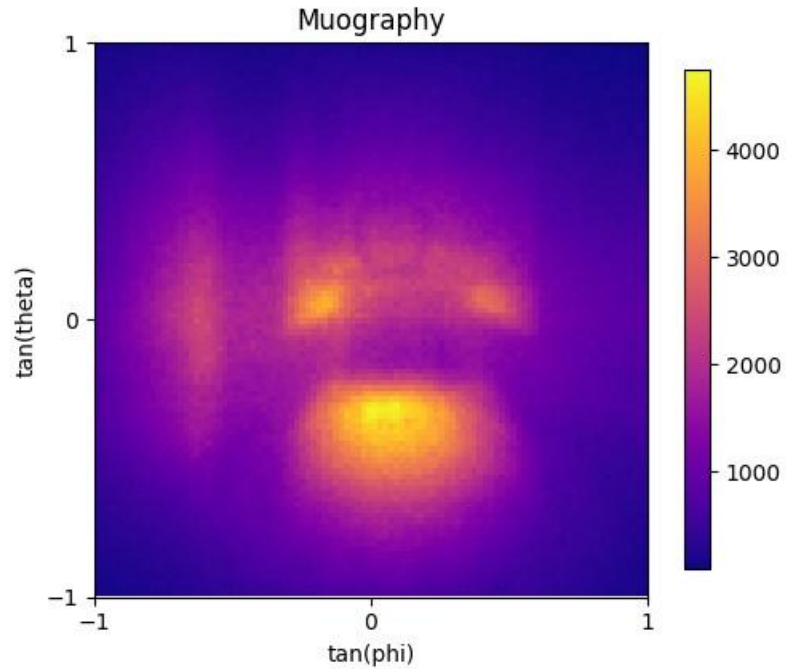
remarques :

- structure interne pas accessible à des humains
- X-rays et ultrasons ne peuvent pénétrer



laurent chevalier

Muography



laurent chevalier

Muography

G2

G3

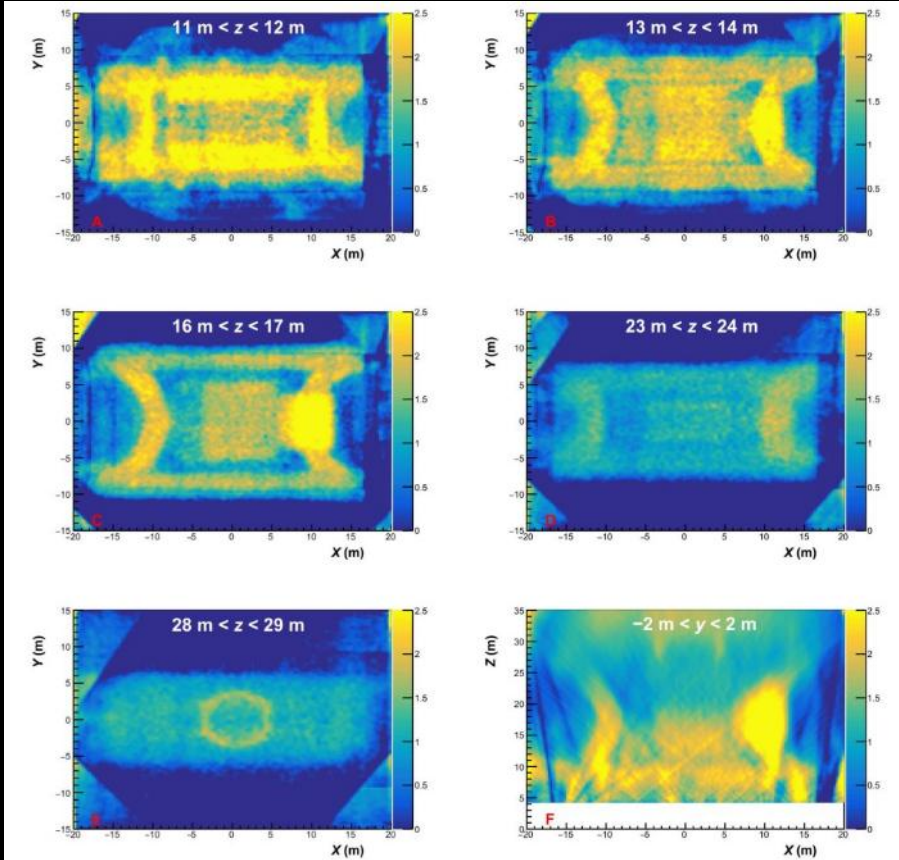
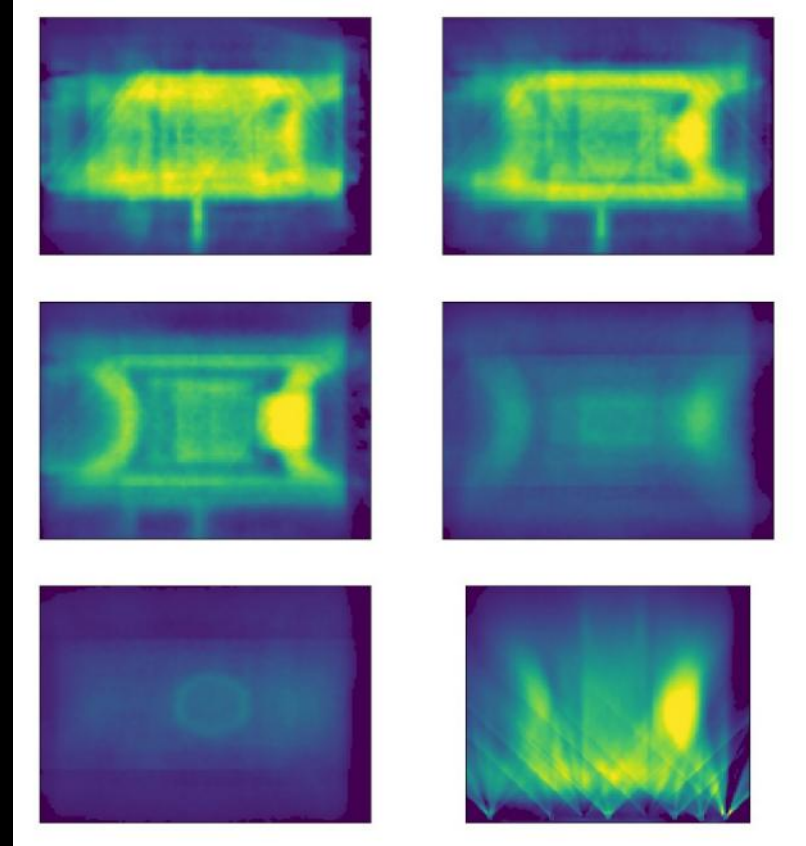


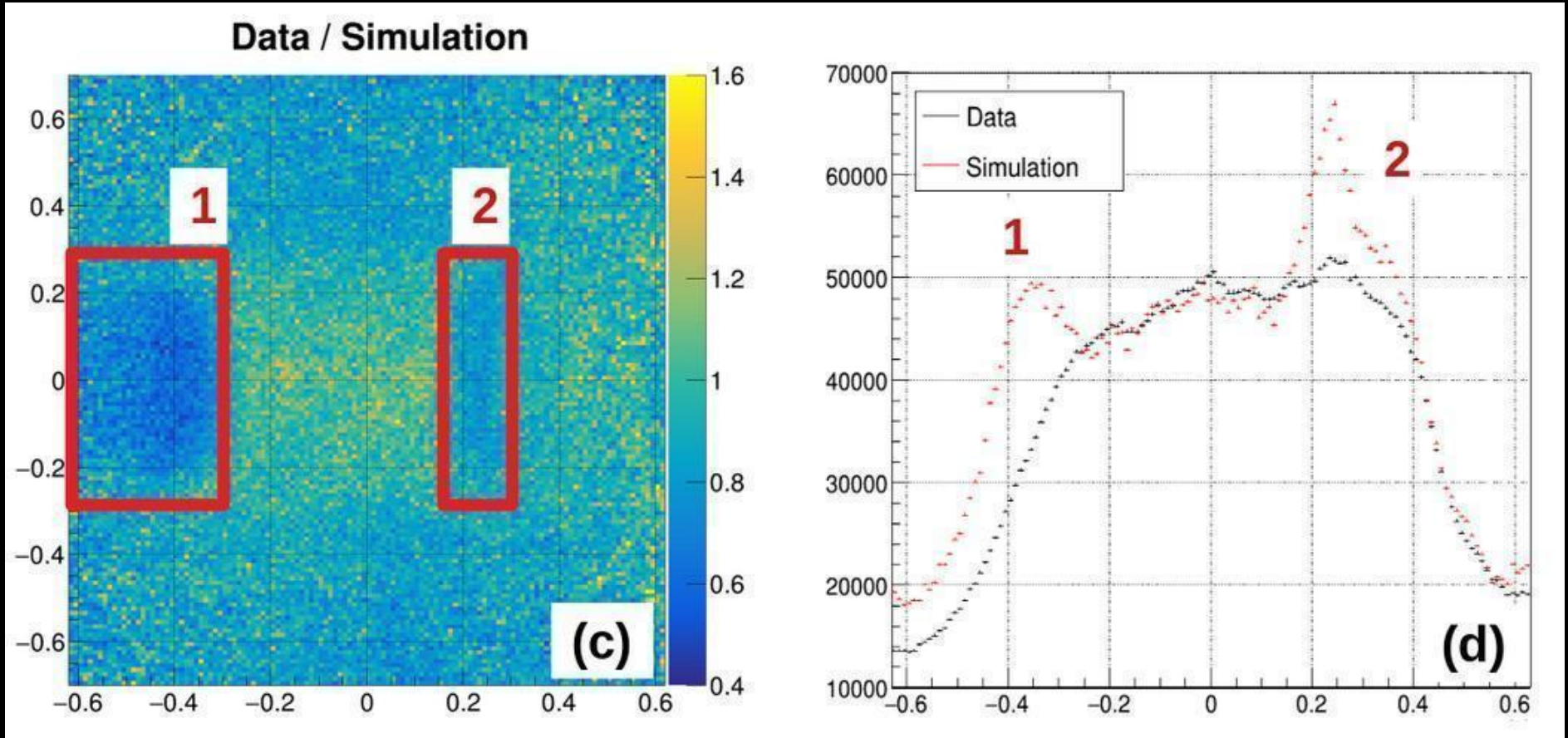
Fig. 4. Some tomographic slices obtained from the 3D reconstruction of the reactor, revealing several details of the structure. (A to E) $x-y$ slices at different heights. (F) $x-z$ slices close to the y axis. See text for more details.



laurent chevalier

Muography

identifier des anomalies



0/ Introduction

1/ Détecter quoi ↔ pourquoi

2/ Interaction particules matière

3/ Généralités sur les détecteurs

4/ Application sociétales

5/ Exemple avec D0/ATLAS (Fermilab/CERN)