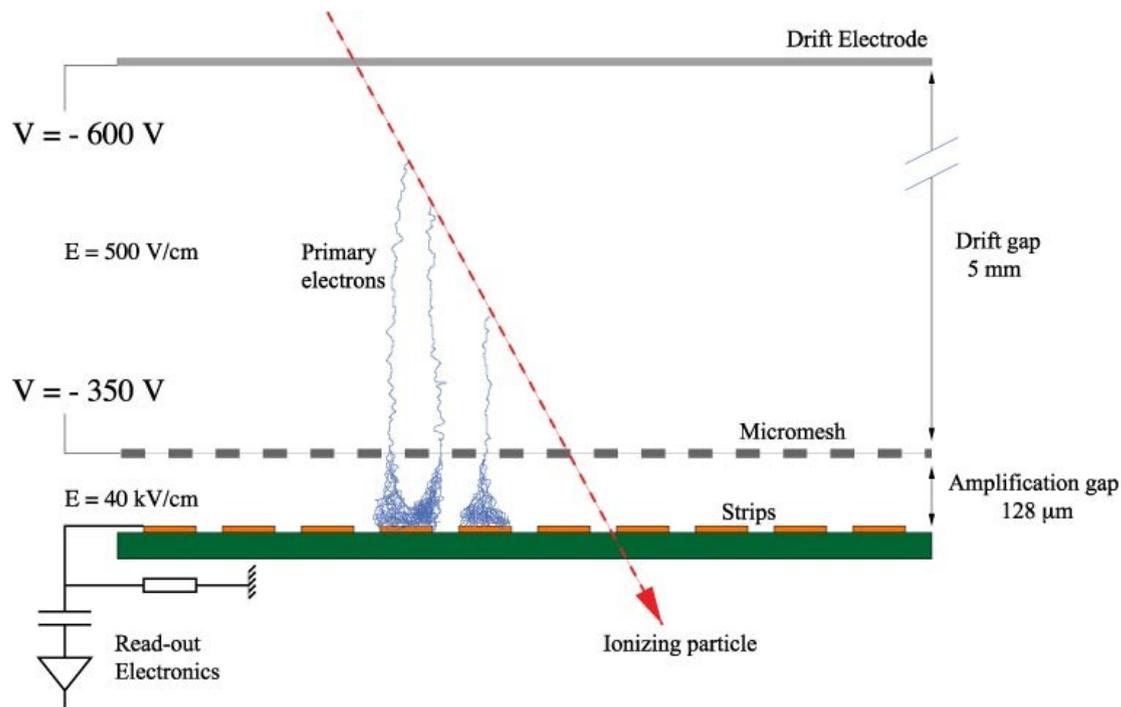


# L'experience WatTo : la muographie du chateau d'eau du centre



S. Bouteille

# Le détecteur micromégas



- Bulk
  - Robustesse
- Résistif
  - Suppression des claquages

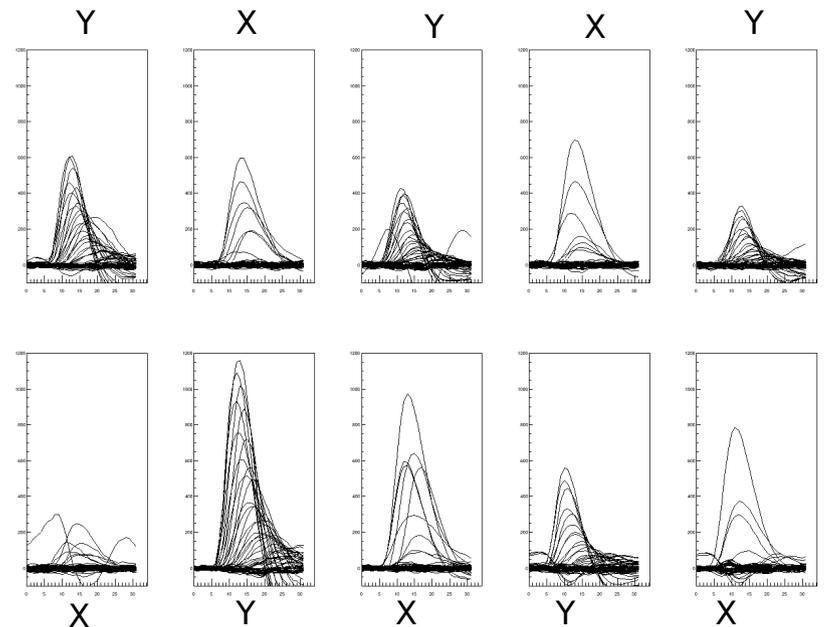
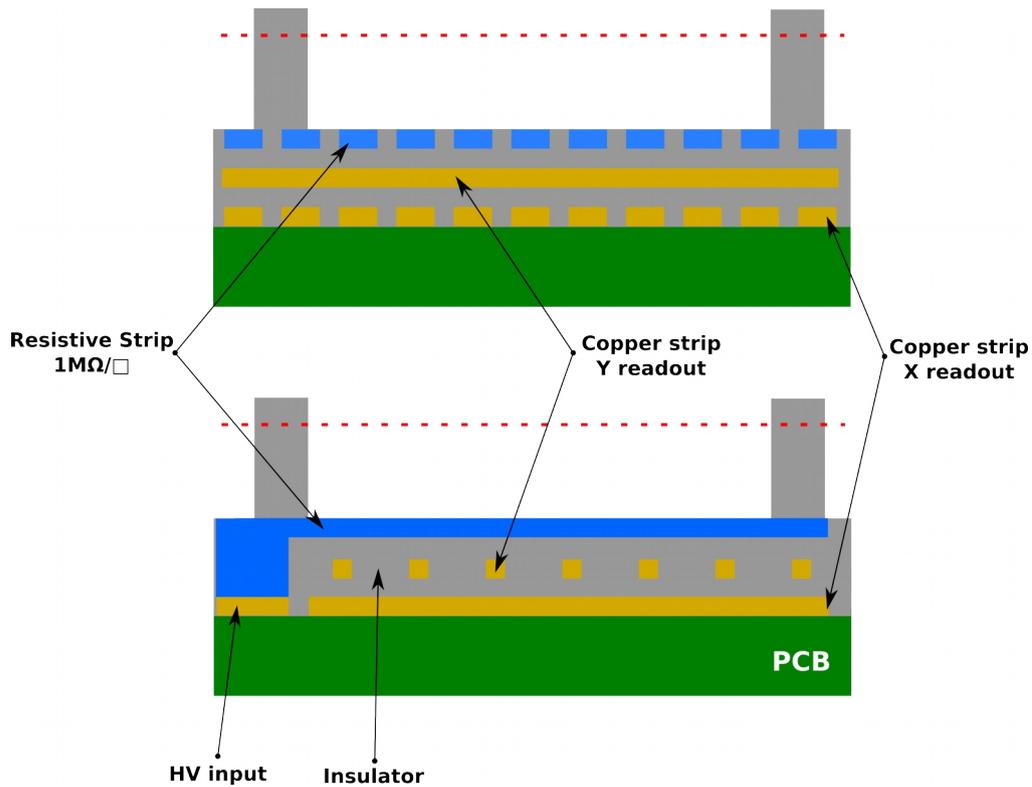
Excellentes performances pour la physique nucléaire et des particules

- résolution spatiale < 100 microns
- résolution temporelle < 10 ns
- peut supporter des hauts flux de particules

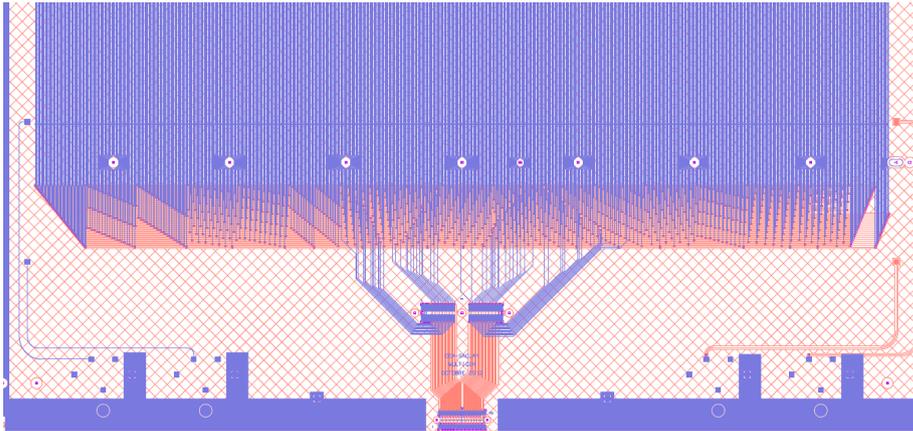
⇒ **Beaucoup utilisé depuis 2002**

# Le détecteur micromégas

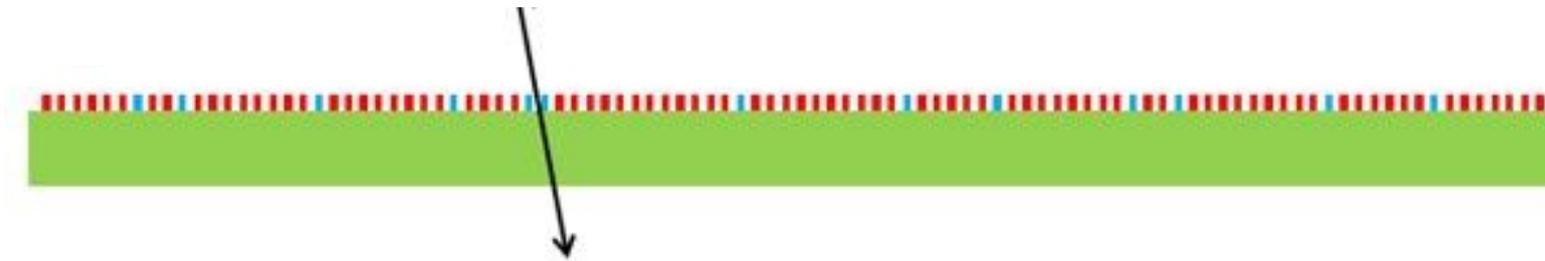
- La technologie résistive permet un readout 2D avec des pistes
- Effet capacitif
  - Nécessite un grand inter-piste pour la coordonnée Y
- Évacuation des charges
  - Signal plus étalé en Y



# Multiplexage

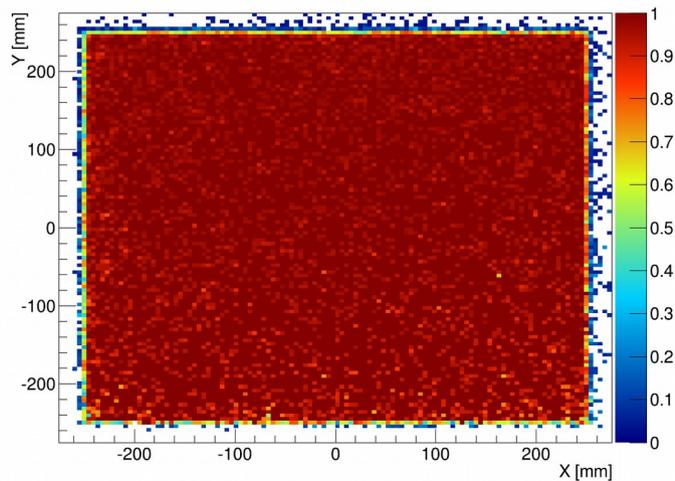
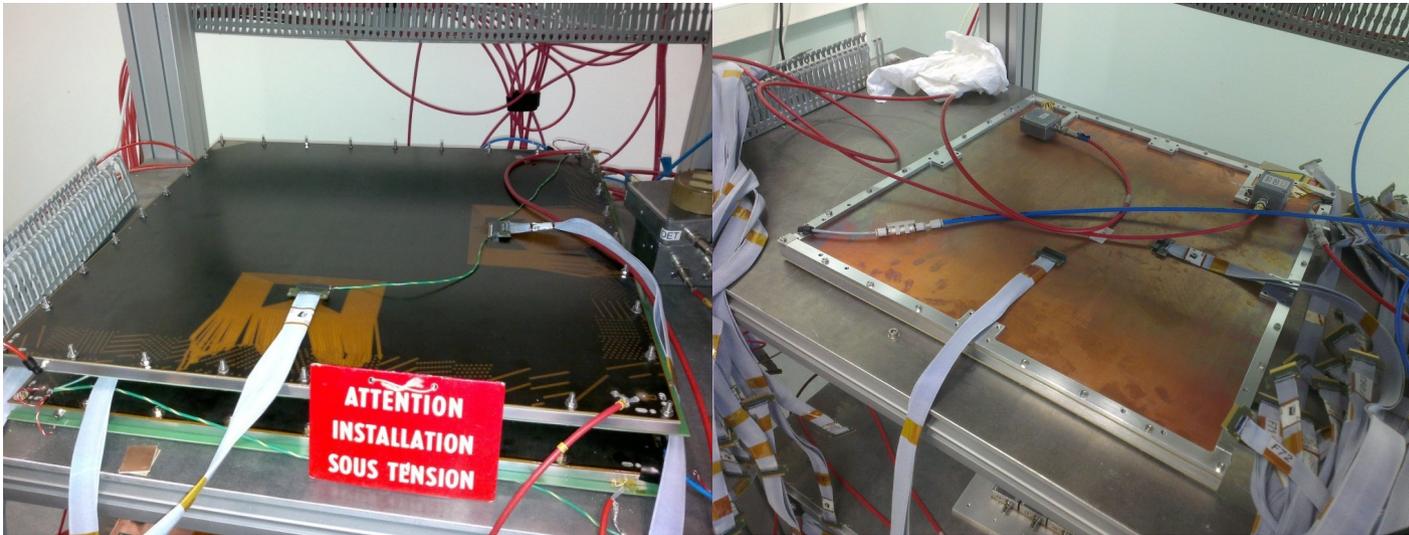


- Utilise l'étalement du signal sur les pistes
  - Détection de k-uplets uniques
  - Un doublet de voies d'électroniques est connecté à un unique doublet de pistes consécutives
- 1024 pistes lues par 61 voies d'électroniques
- Taux de multiplexage ajustable
  - Réduction des voies / ambiguïtés

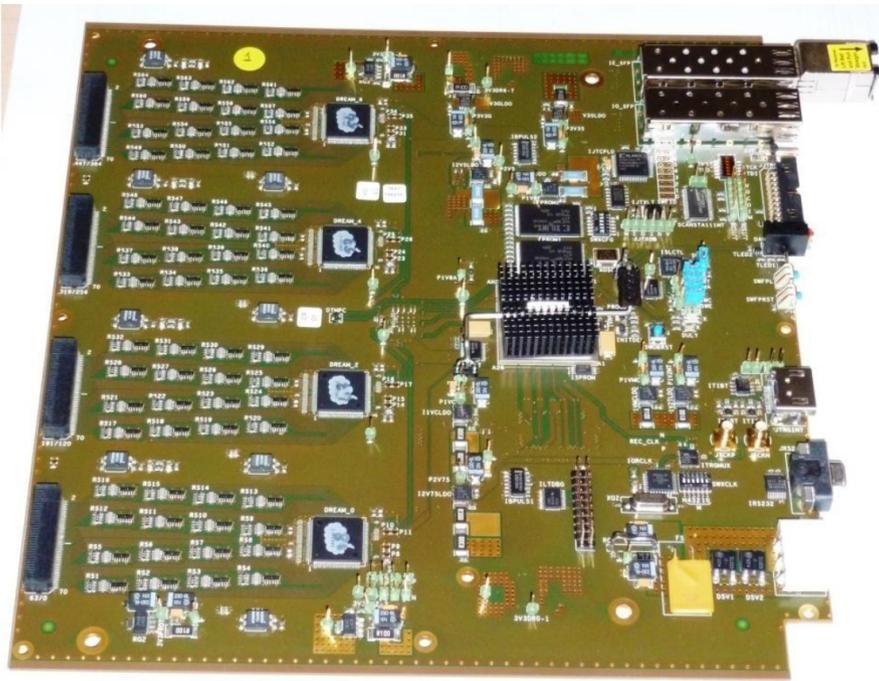
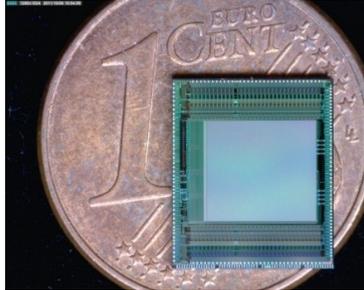


# Détecteur MultiGen-2D

- Zone active : 50x50cm<sup>2</sup>
- Résistif (1M $\Omega$ /□)
- Readout 2D
- Espace de dérive : 1.5cm
- Gaz : Ar-iC<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (95:5)
- Grille à la masse
- Efficacité 2D : >96 %
  - Bonne homogénéité
- S/B plus faible qu'un micromégas non multiplexé
  - Haute capacité (1nF)
- Résolution 300 $\mu$ m



# Électronique de lecture

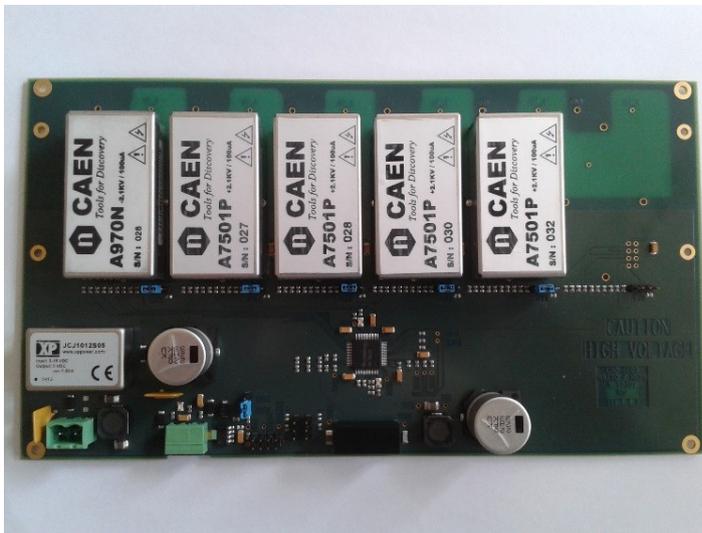


- Utilisation de l'électronique CLAS12
  - DREAM
  - Carte FEU (I. Mandjavidze)
    - Lit jusqu'à 4 MultiGen-2D
  - Self-triggering
  - Adaptée aux hautes capacités

# Alimentation haute tension



- Modules CAEN
  - 12V → 0-2.1kV
  - Consommation <0.6W
- Carte de contrôle dédiée (D. Calvet)
  - Contrôle jusqu'à 6 voies
  - Monitore I et V
  - Contrôle V et  $I_{\max}$

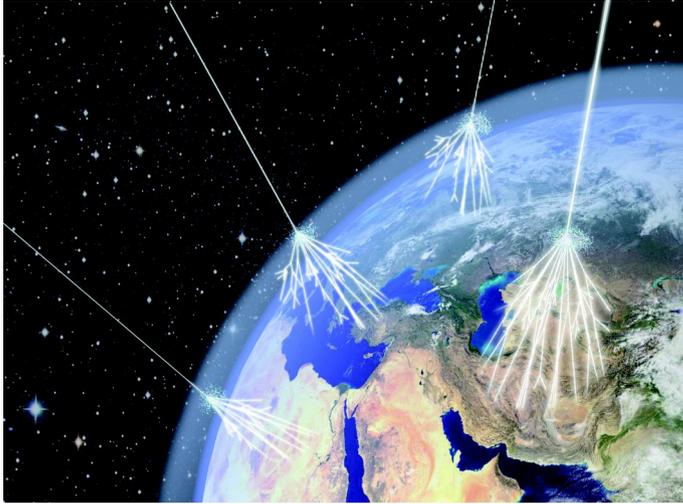


# Acquisition des données

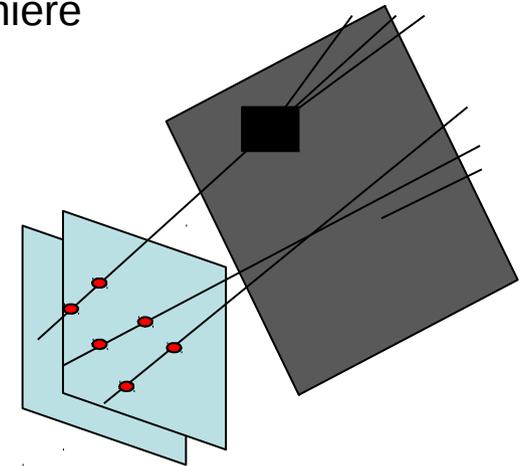
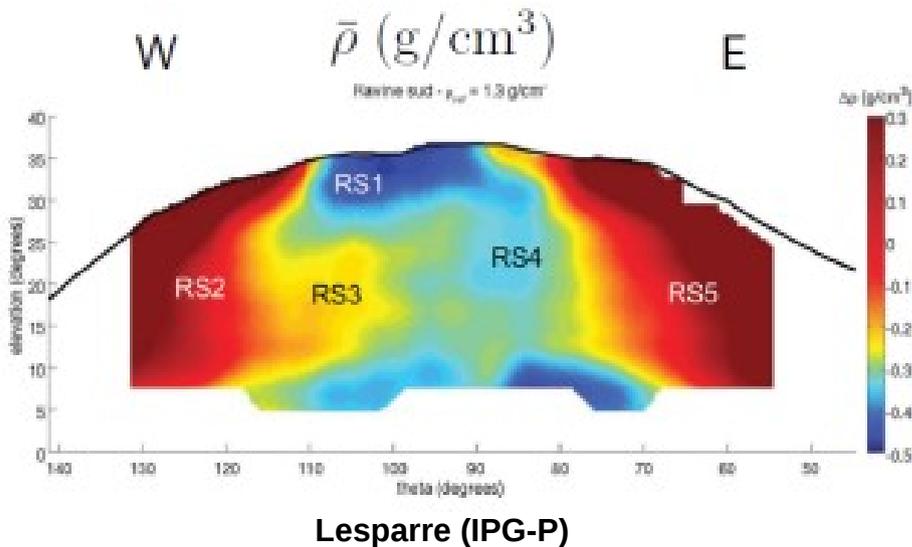


- Contrôle tout
  - FEU
  - HT
- Accès distant
- Acquisition, stockage et transfert des données
- Nano-PC
  - Technologie ARM (smartphone)

# La muographie



- Utilisation des muons cosmiques
  - Flux :  $1/\text{cm}^2/\text{min}$
- Probabilité d'absorption du muon proportionnelle à la densité
  - Flux de muon  $\rightarrow$  Carte de densité (opacité)
- Applications :
  - Volcanologie
  - Prospection minière
  - Archeologie



# L'experience WatTo



- Premier trajectographe Micromégas utilisé à l'extérieur
- 4 MultiGen-2D
- Consommation : 30W
  - Moins qu'une ampoule
  - Alimentation par batterie
- 3 mois de prise de données : de juin à août
- But :
  - Imager le château d'eau
  - Déceler les variations de niveau d'eau dans la cuve

# Conditions



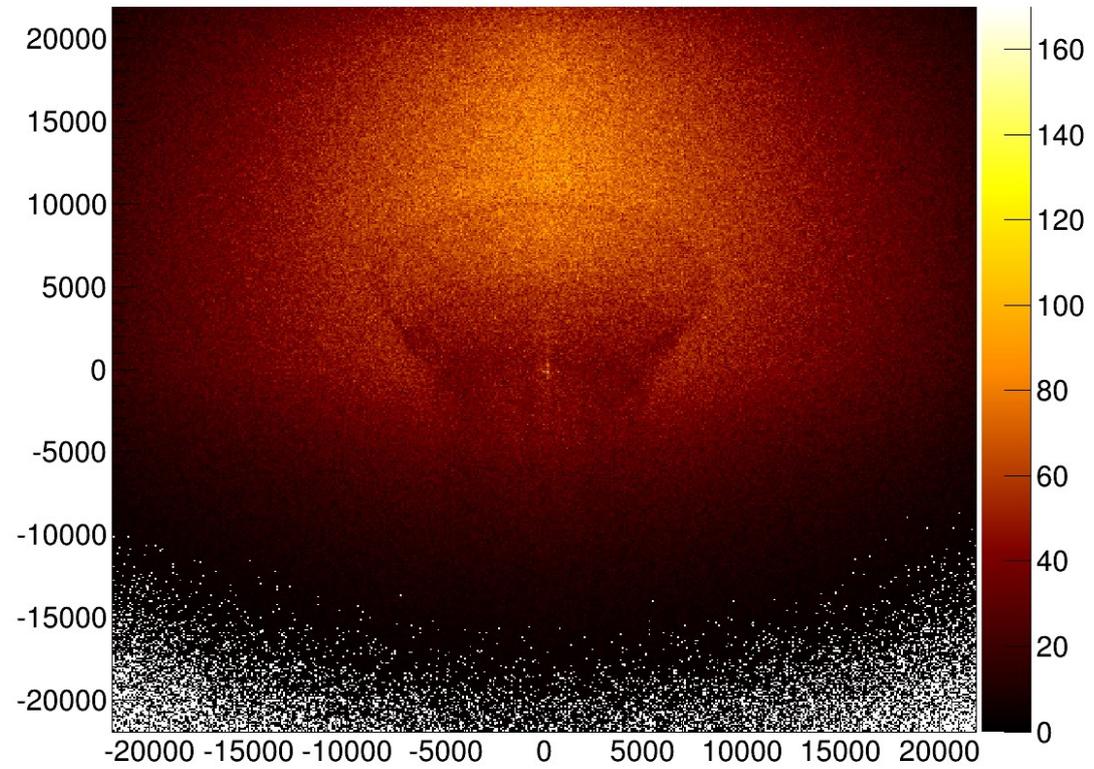
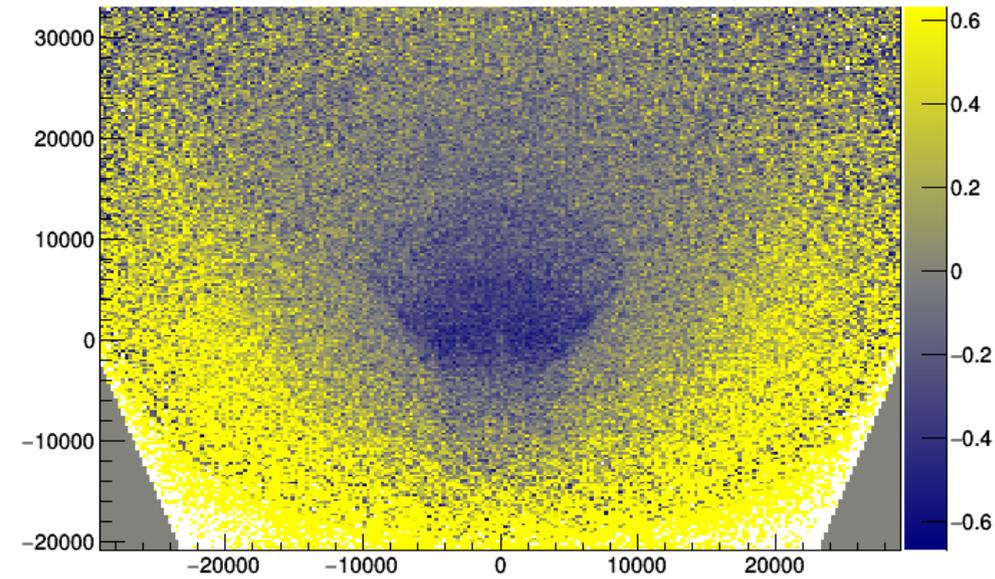
- Protection : tente
- WatTo 1
  - Accès au réseau et à l'électricité
  - Ligne de visée :  $30^\circ$  au dessus de l'horizontale
  - Distance au château d'eau :  $\sim 40\text{m}$
- WatTo 2
  - Autonomie totale (batterie, panneaux solaires, pas de réseau)
  - Ligne de visée :  $35^\circ$  au dessus de l'horizontale
    - Flux plus important
  - Distance au château d'eau :  $\sim 25\text{m}$
- Amplitude thermique :  $13\text{-}40^\circ\text{C}$

# Challenges

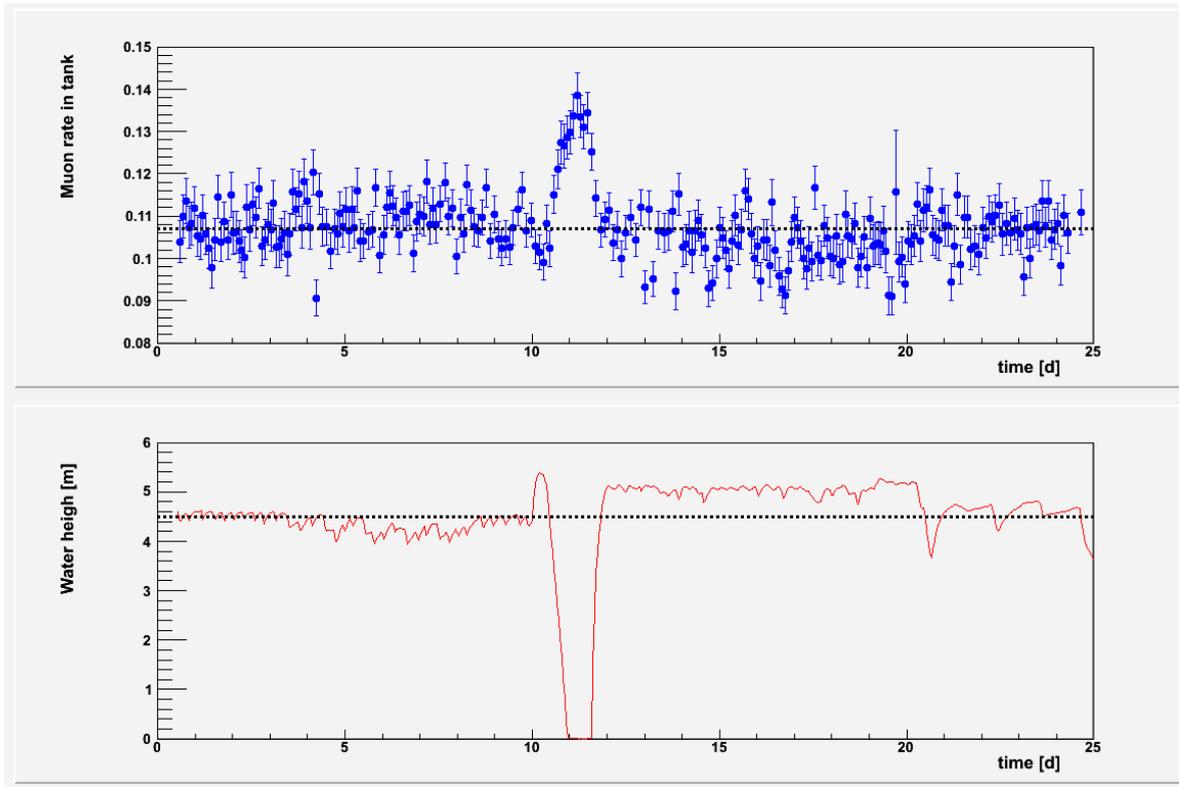


- Première utilisation du self-trigger pour l'électronique FEU/DREAM
- Efficacité du self-trigger dépend beaucoup du bruit
  - Difficulté en autonomie totale sans masse bien définie
- Dépendance du gain avec la température/pression
  - Contrôle des HT en fonction de la température ( $\sim 1.4V/^{\circ}C$ )

# Résultats



# Dynamique du château d'eau



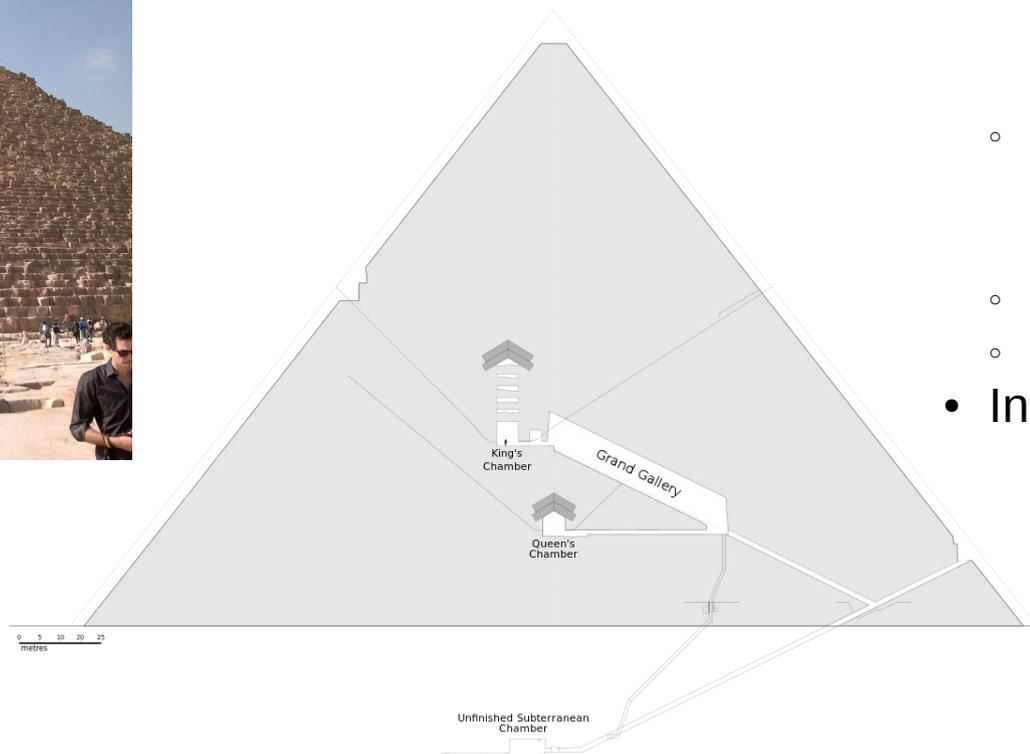
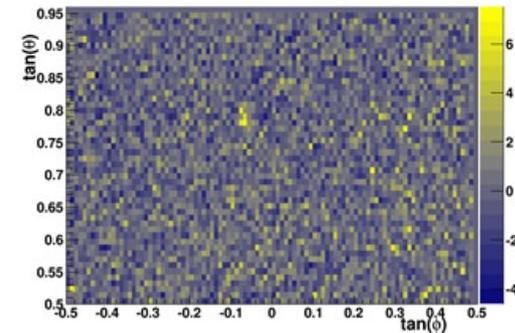
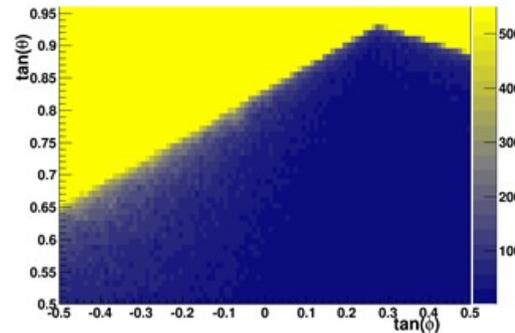
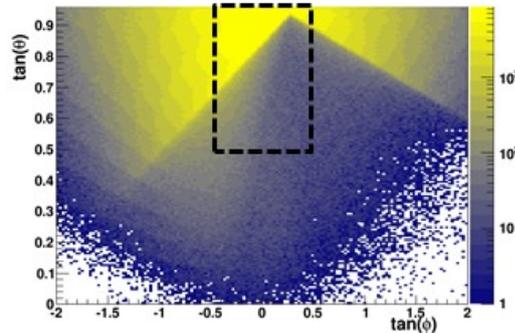
- Étude des variations du niveau d'eau dans la cuve
  - Obtenue uniquement en comparant le flux à l'extérieur et à l'intérieur de la cuve

# Quelle suite après WatTo ?



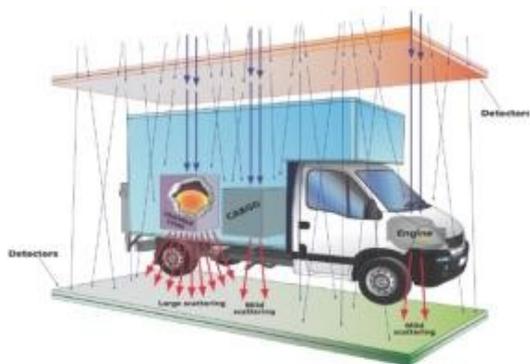
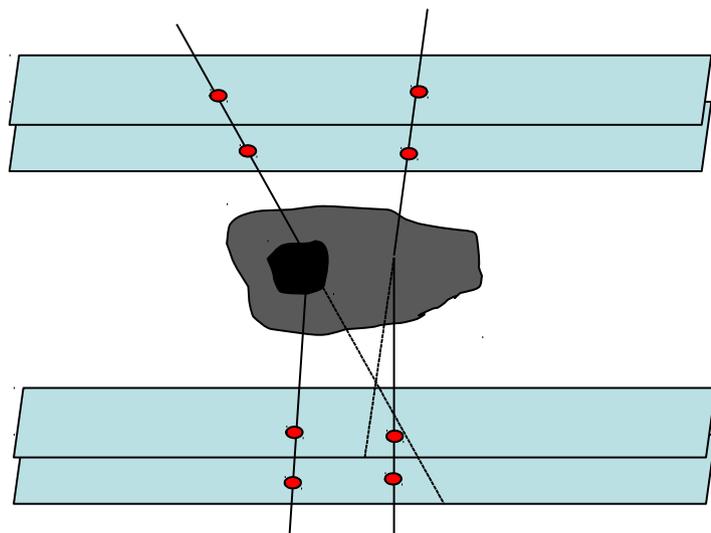
- Étude des pyramides de Gizeh en 2016
  - Mission Scan Pyramid
- Étude d'un tumulus en Grèce ?
- Prospection minière avec AREVA
- Contrôle des ouvrages d'art avec la RATP

# La mission Scan Pyramid



- Points clés :
  - Taille de la pyramide
    - Base : 230m
    - Hauter : 139m
  - Taille du télescope
    - Largeur : 50cm
    - Longueur : 1.5m
  - Éloignement de la zone à imager
  - Épaisseur de roche
- Installation prévue : mars-avril

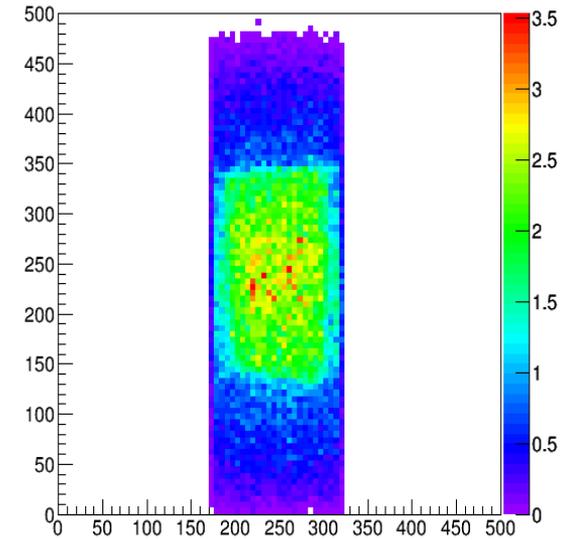
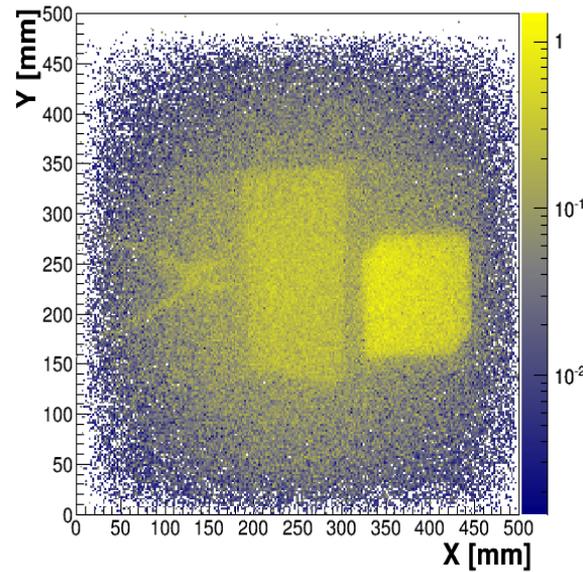
# La tomographie par déviation



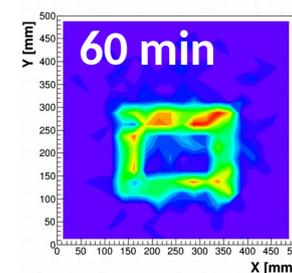
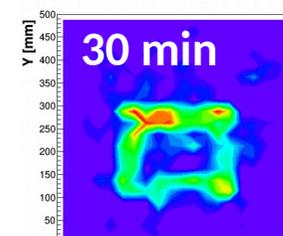
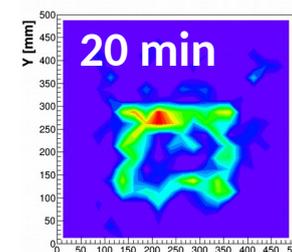
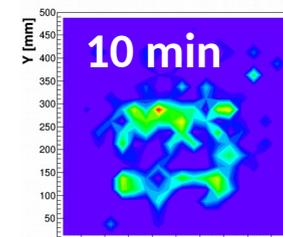
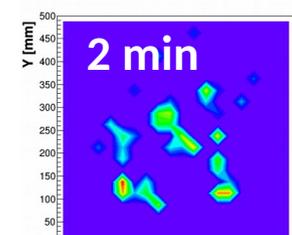
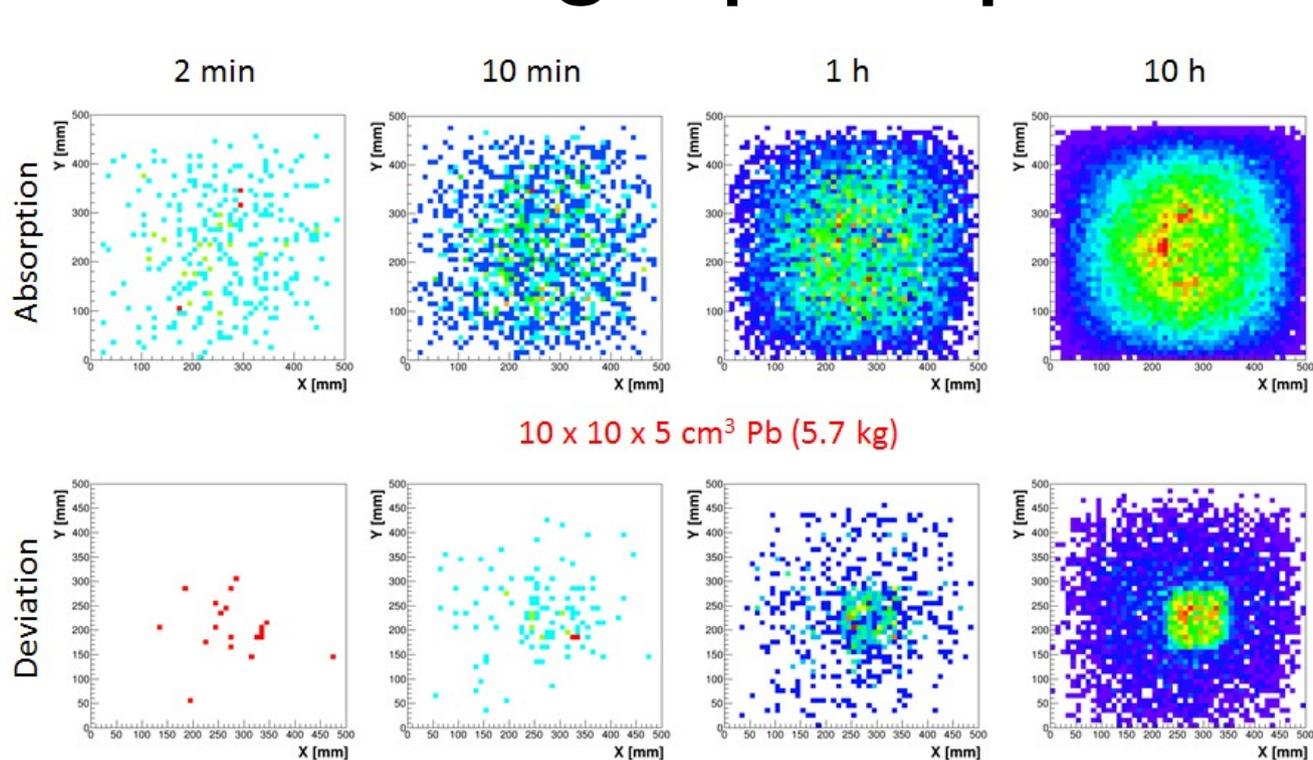
- Utilisation de la diffusion multiple
  - Détection des lieux et angles de déviation
  - Nécessite deux trajectographe
    - 1 en dessous de l'objet
    - 1 au dessus de l'objet
- Imagerie rapide (~min-10min) d'objets plus modestes
- Permet une imagerie 3D
- Projet M<sup>3</sup> et TomoMu
  - Sécurité du territoire (contrebande de matériaux nucléaires)
  - Détection de 4kg d'Uranium en moins de 2min

# La tomographie par déviation

- Premiers Tests

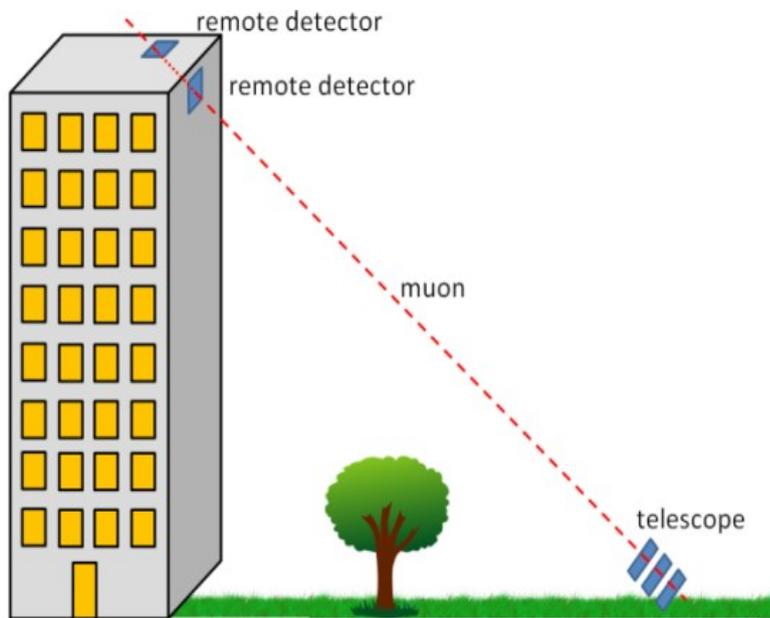


# La tomographie par déviation



- L'information supplémentaire en déviation permet de réduire drastiquement le temps d'acquisition
- Premier tests de détection en quelques minutes avec des briques de plomb

# La métrologie muonique

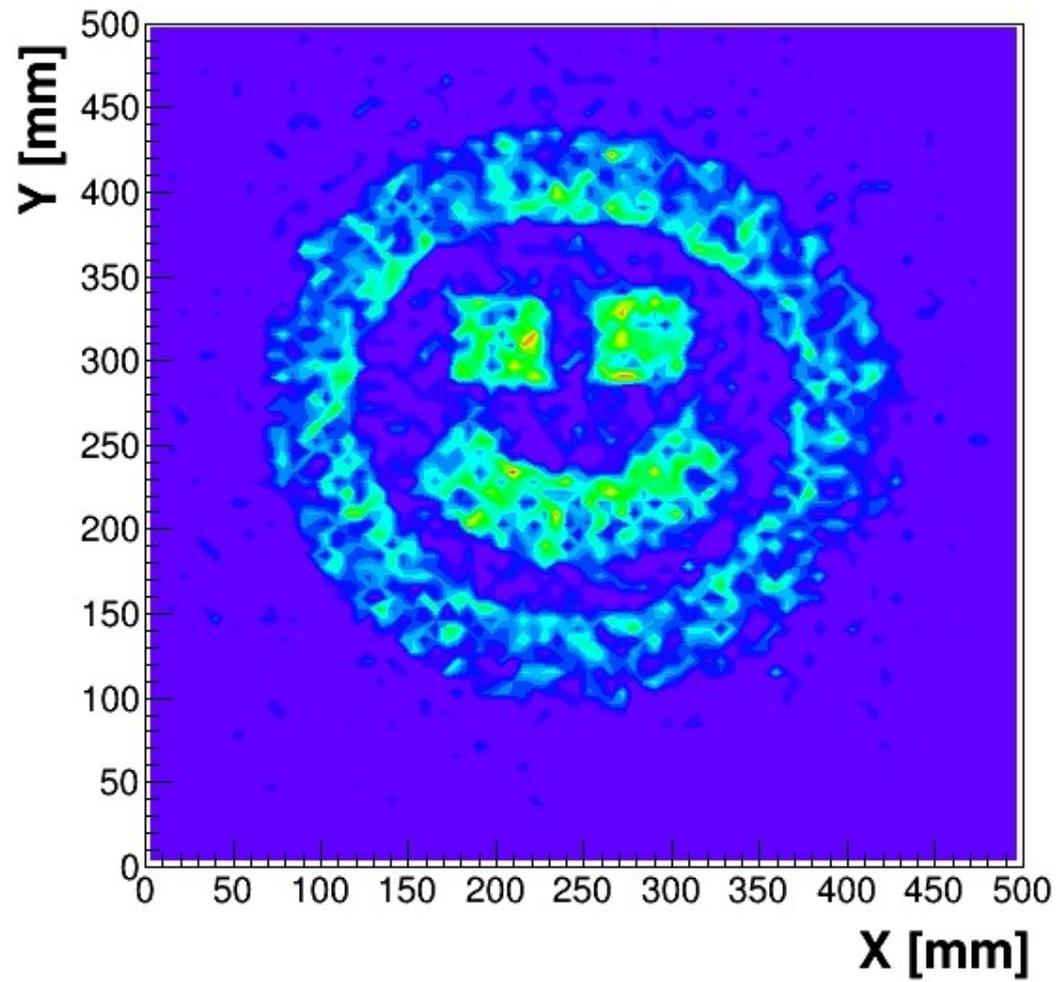


- Utilise la trajectoire droite (en moyenne) des muons
- Complémentaire aux technique actuelles (laser, GPS)
  - Mesure continue
  - Autonome
  - Mesure à travers des obstacles
- Résolution pour 1 jour de donnée : 1mm à 30m de distance
- Projet ANR MIAMM



# The $\mu$ team





Merci de votre attention