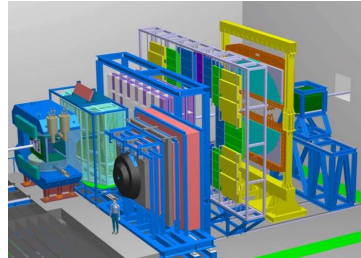


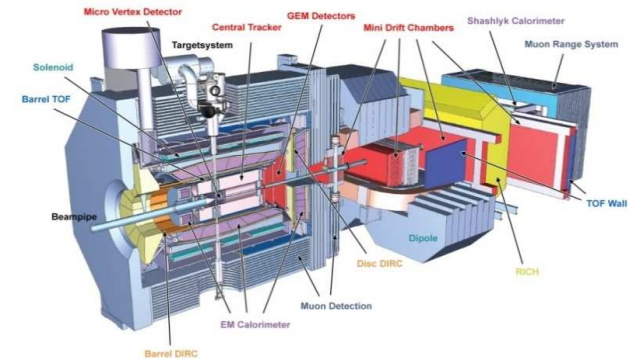
HADES



CBM



PANDA



Physique hadronique à GSI/FAIR

B. Ramstein (IPNO), P. Robbe (LAL), M. Winter (IPHC)

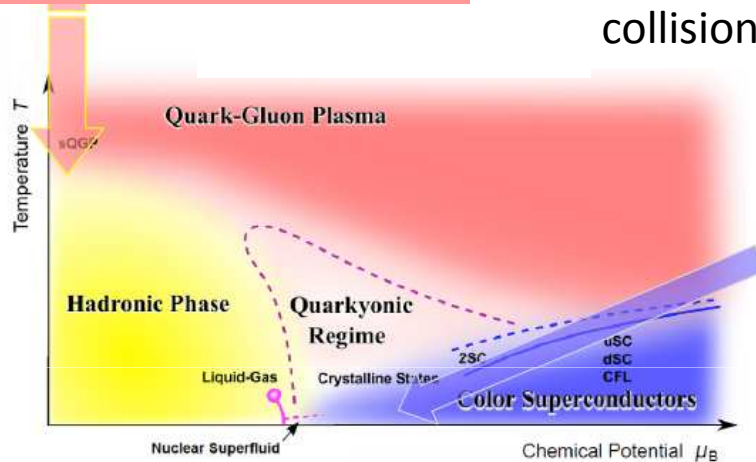
CSI IN2P3, 8 février 2018

Plan

- Introduction: études de QCD à FAIR
- GSI et le projet FAIR
- HADES, CBM et PANDA :
 - implication actuelle de l'IN2P3
 - Projets scientifiques et/ou techniques
- Conclusion: récapitulatif du projet.

Deux approches de QCD

Étude des phases de la matière en interaction forte



HADES et **CBM**: études de la matière dense à température modérée ($T < 80-100$ MeV) collisions d'ions lourds à quelques GeV/nucléon



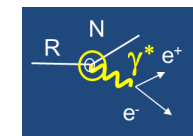
Étude du spectre des hadrons

- Baryons (qqq): $p, n, \Delta, \Lambda, \Sigma, \Xi, \Omega, \Omega_c$
- Mésons ($q\bar{q}$): $\dots J/\psi \dots \eta_c$
- Glueballs (ggg), hybrides ($q\bar{q}g$), tetraquarks, pentaquarks, molécules
- Nouveaux états XYZ découverts récemment e.g. $X(3872)$, $Y(4260)$,...

→ **PANDA**

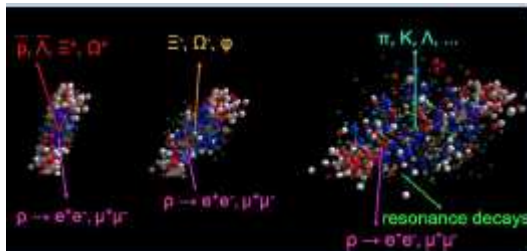
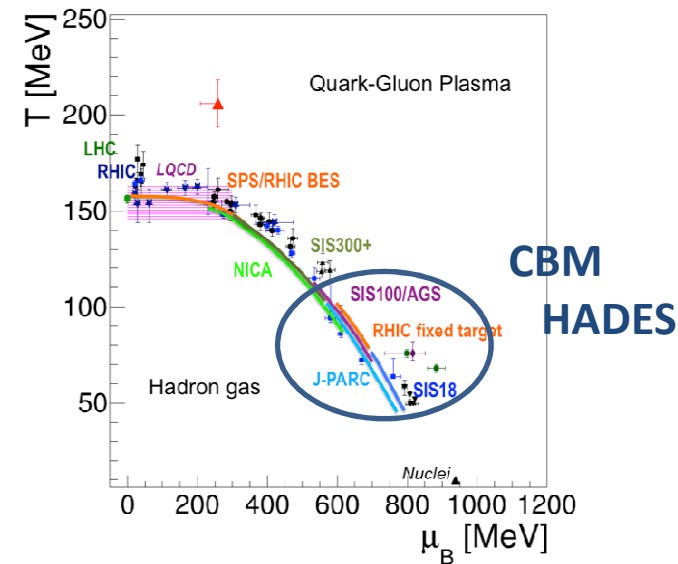
HADES mésons et baryons+ légers

Dalitz decays: $R \rightarrow \pi^+ e^-$

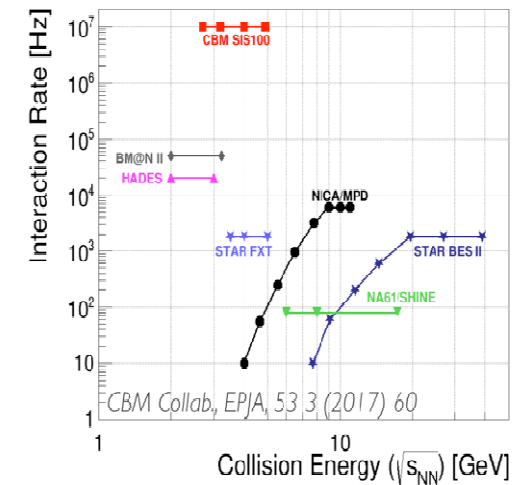
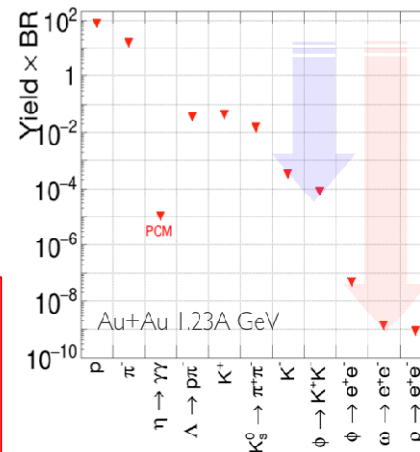


Etudes de matière hadronique à FAIR:

- Equation d'état
- Structure de la matière dense
- Restauration de la symétrie chirale



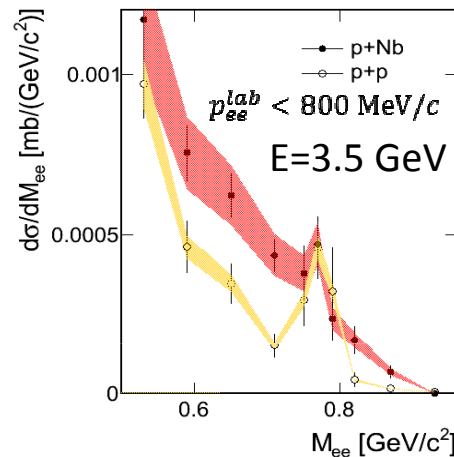
- dileptons (e^+e^- , $\mu^+\mu^-$)
- production d'étrangeté et de charme
- Corrélations, fluctuations



Émission de dileptons

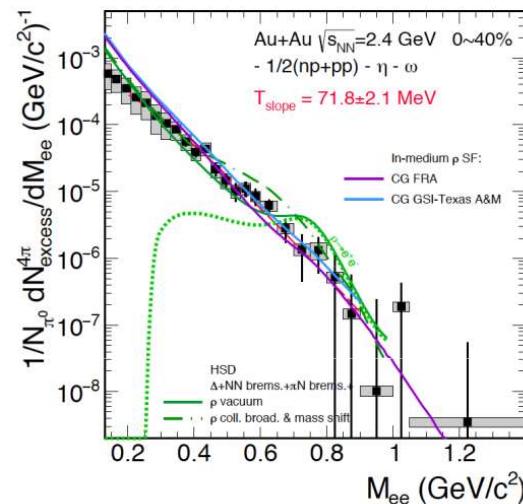
Résultats d'HADES $E/A=1.25-3.5$ GeV

Matière froide

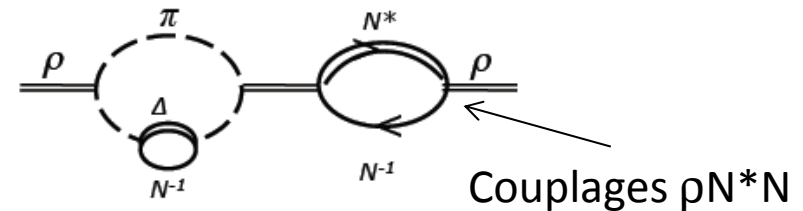
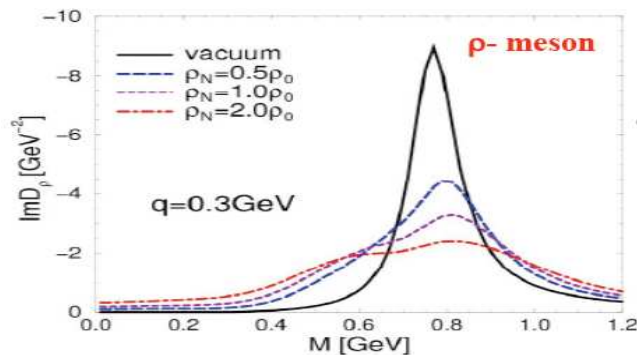
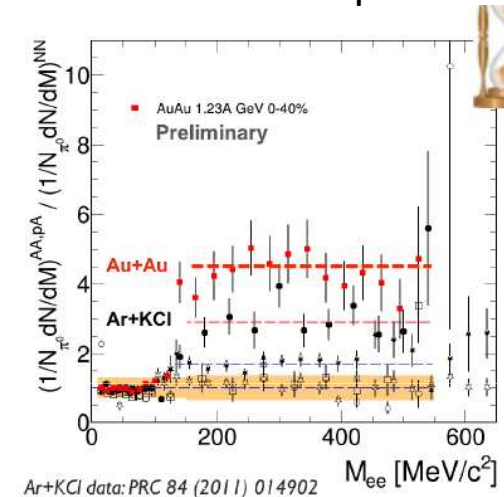


HADES: Eur. Phys. J. A (2014) 50: 82

Matière dense et chaude

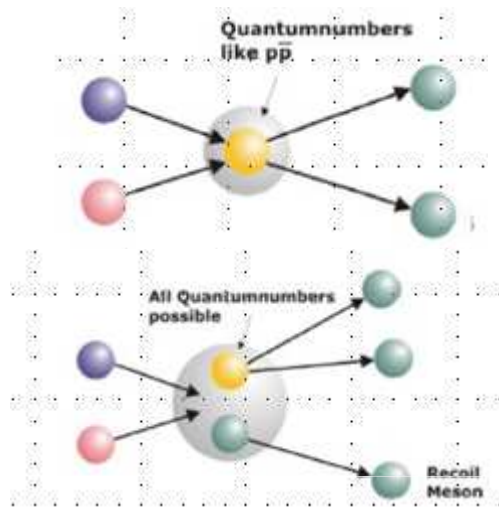


Excès de dileptons



Rapp, Chanfray and Wambach NPA 617, (1997) 472
Rapp and Wambach EPJA 6 (1999) 415

Annihilation proton-antiproton

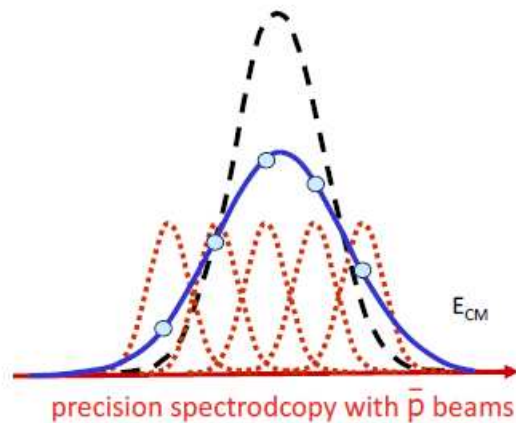


Formation: accès à tous les nombres quantiques non exotiques (seulement $J^{PC}=1^{--}$ en e^+e^-)

Mesures de précision sur états connus

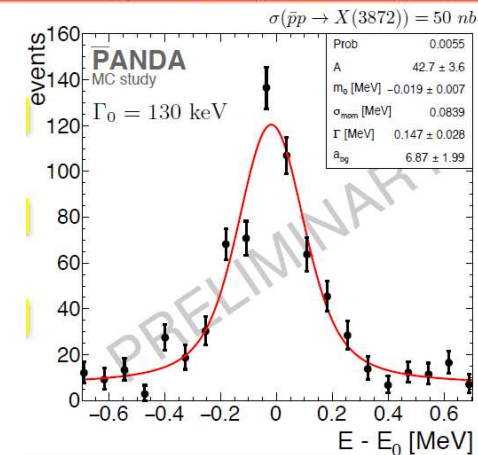
Production: accès à tous les nombres quantiques exotiques et non exotiques ($\bar{q}q$)

Grand potentiel de découverte



Projections pour 2 jours
en luminosité « day1 »
 $\Delta E=84$ keV

$$\bar{p}p \rightarrow X(3872) \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^-$$



GSI (Gesellschaft für Schwerionen Forschung) et FAIR (Facility for Antiproton and Ion research)

Les 4 piliers de FAIR:

APPA (Atomic Physics, Plasma and Applied sciences)
NUSTAR (Nuclear STructure, Astrophysics and Reactions)
CBM (Compressed Baryonic Matter:
expériences HADES et CBM)
PANDA (AntiProton ANnihilation at DArmstadt)

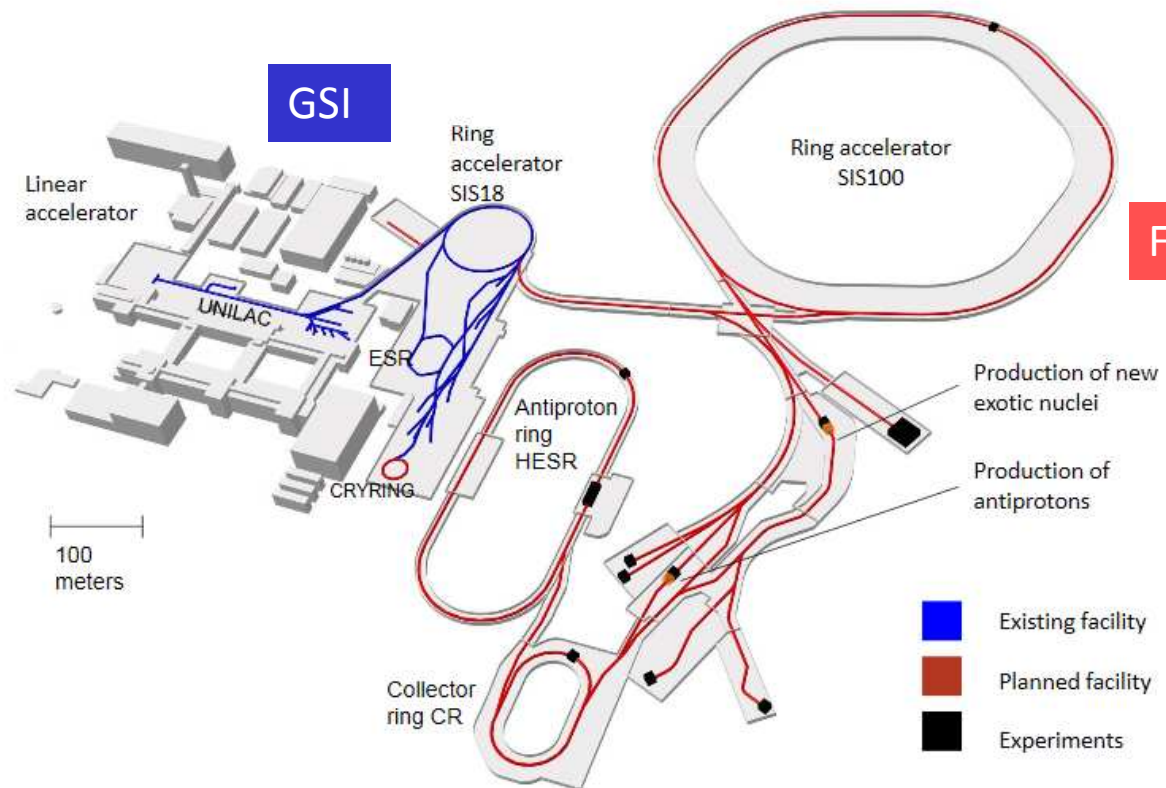
Faisceaux primaires:

Au $10^9/s$ $E_{\max}/A = 11$ GeV

C, Ca,.. $10^9/s$ $E_{\max}/A = 14$ GeV

p $10^{11}/s$ $E_{\max} = 29$ GeV

Premières expériences
en 2025



HADES, CBM et PANDA : physique hadronique à GSI et FAIR

HADES@GSI

~120 membres

faisceaux de p, d, π , A

π : p 0.6 -1.7 GeV/c

p : $E_{\max}=4.5$ GeV

Au: $E_{\max}/A \sim 1.25$ GeV



High Acceptance Di-Electron Spectrometer

HADES@FAIR

faisceaux de p, d, A

Au: $E_{\max}/A \sim 4$ GeV

p: $E_{\max}=29$ GeV

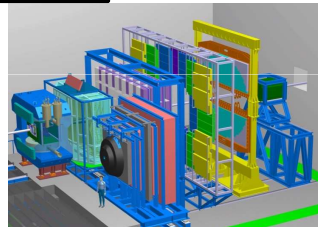
Compressed Baryonic Matter

CBM@FAIR

faisceaux A

Au: $E_{\max}/A \sim 11$ GeV

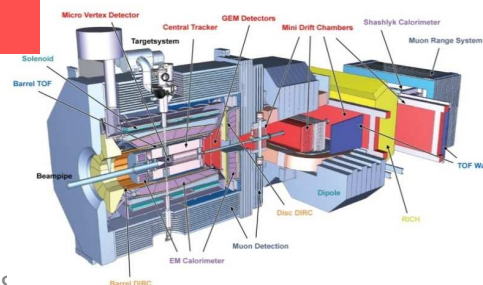
A/Z=2: $E_{\max}/A \sim 14$ GeV) ~500 membres



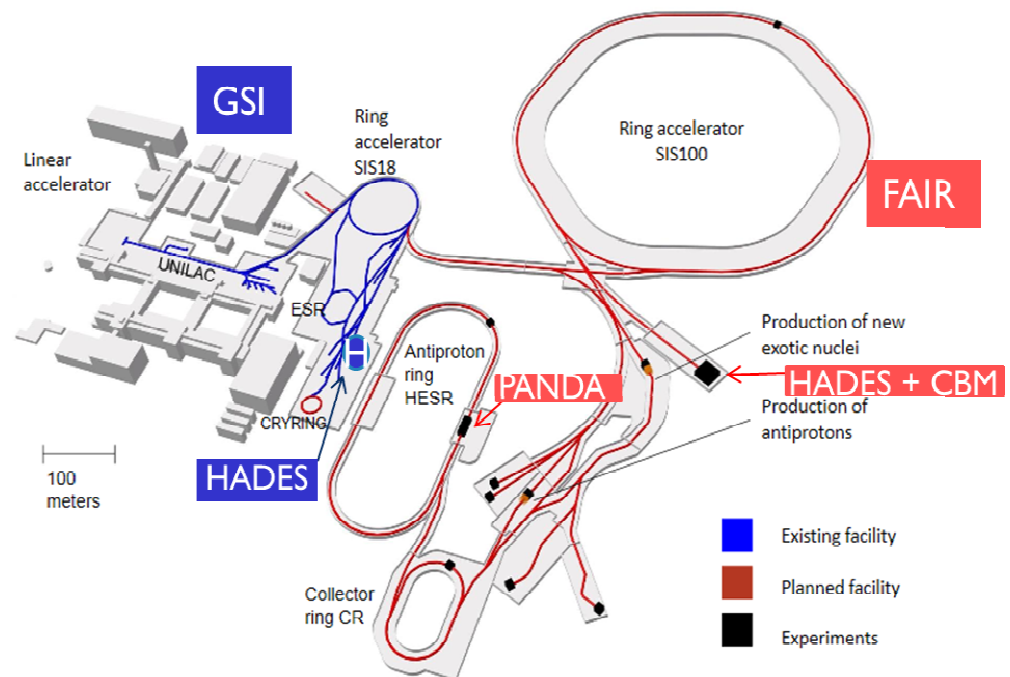
AntiProton ANnihilation at DArmstadt

PANDA@FAIR

faisceaux de $\bar{p}$
1.5-15 GeV/c



~450 membres



FAIR : planning de construction

Modularized Start version (MSV): programme expérimental en 4 phases

Phase 0- avec les dispositifs instrumentaux (détecteurs, prototypes,..)
de FAIR avant le démarrage de FAIR **2018**

Phase 1- avec SIS100 et faisceaux secondaires,
première version des détecteurs (« day 1 ») **2025**

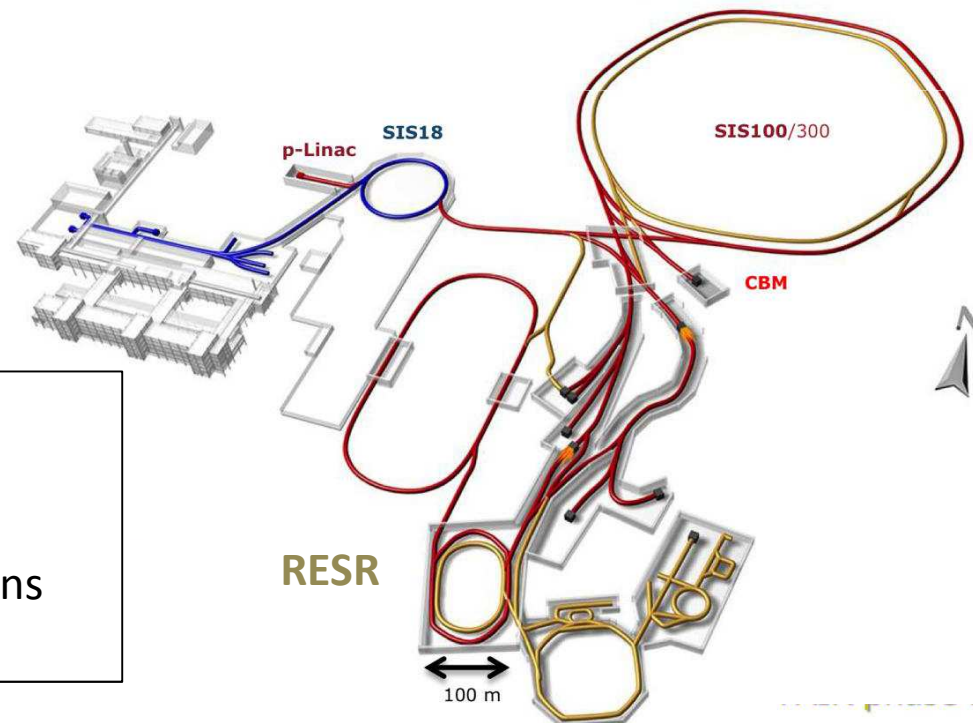
Phase 2 - détecteurs complets **~2027**

Phase 3- au-delà de MSV nécessite financement supplémentaire (SIS300, RESR)

Au-delà de MSV

(prévu, mais pas encore financé):

- SIS300 Au Emax: 11→35A GeV
- RESR préstockage des antiprotons
 $10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} \rightarrow 2 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



FAIR: le démarrage des travaux

La France est un « actionnaire de FAIR »
Contribution française à FAIR: 30 M€

Signature de l'accord sur FAIR: oct.2010



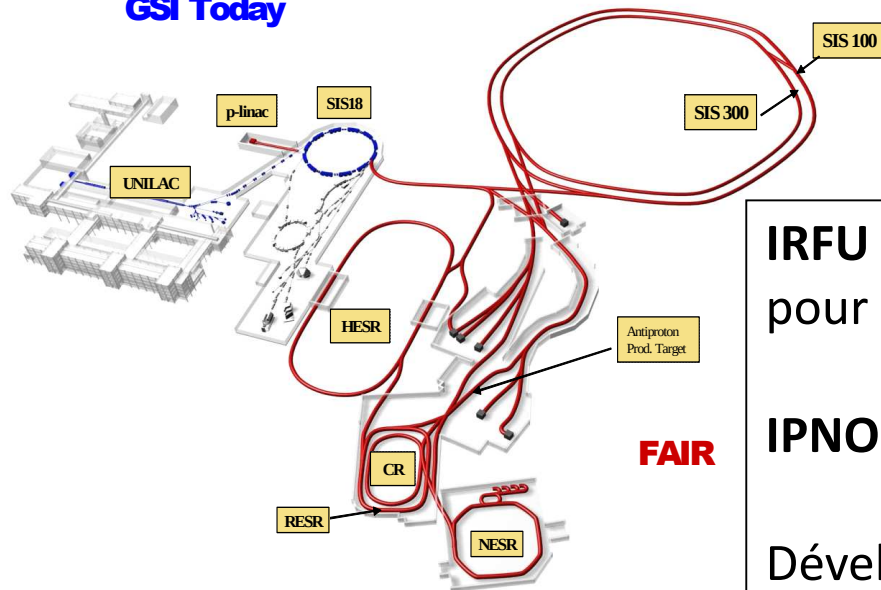
4 juillet 2017



Contribution de l'IN2P3 au linac proton

Livraison du linac: 2021

GSI Today



Contribution française à FAIR: 30 M€
15 M€ : CEA, 15 M€ : CNRS
p-LINAC : 70 MeV protons

IRFU : source d'ions, ligne basse énergie, aimants pour la ligne haute énergie, diagnostics

IPNO : chaîne RF (klystrons, coupleurs,...)
+ éléments du banc de test des cavités

Développement du klystron avec Thalès:

Déjà livrés à GSI:

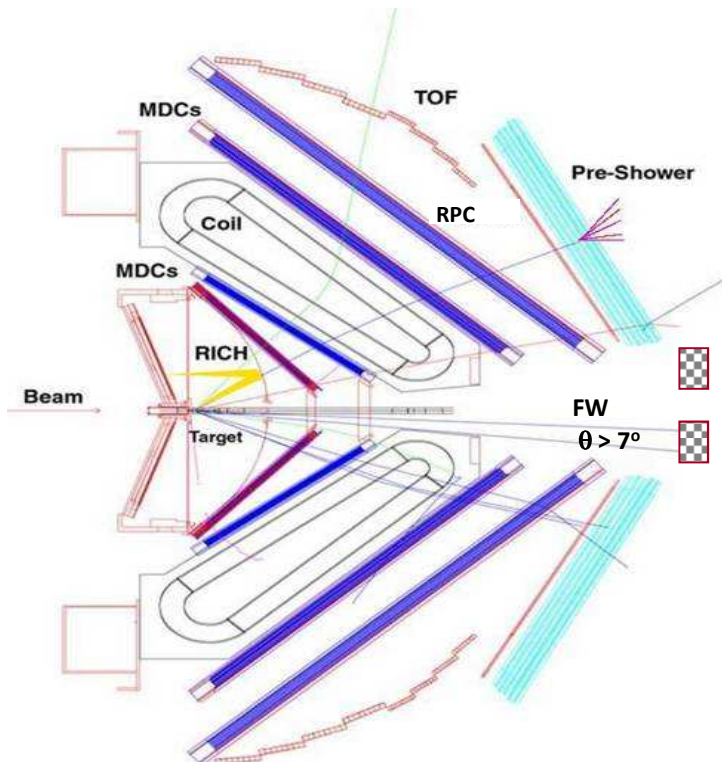
7 klystrons/8, 7 cuves /8, 2 alimentations filament/6

7 charges/7, 7 coupleurs/7, 3 amplis 45 kW/3

CENBG: alimentation des aimants



High Acceptance Di-Electron Spectrometer



Acceptance: totale en ϕ , $18^\circ < \theta < 85^\circ$
 Conçu pour la détection de paires (e^+e^-)
 $\Delta M_{ee}/M_{ee} \sim 2.3\%$ (masse du ω)

Très bonnes performances aussi pour
 π^+/π^- , $K^+/\bar{K}^-$, p

Expériences réalisées (2004-2014)

Études de matière hadronique

C+C 1 et 2 GeV/nucléon, Ar+ KCl 1.75 GeV/nucléon

Au+Au 1.25 GeV/nucléon

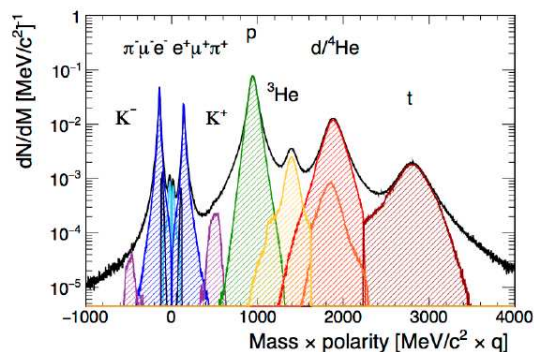
Matière froide:

p+Nb 3.5 GeV, π +C/W 1.7 GeV/c

Réactions élémentaires:

p+ p 1.25, 2.2 , 3.5 GeV, d+p 1.25 GeV/nucléon

π +CH₂/C 0.7 GeV/c



Transitions baryoniques dans la région temps en réactions pp

- pp → ppe⁺e⁻ E=1.25 GeV**

1^{ère} mesure de la décroissance **Dalitz du $\Delta(1232)$**

$$BR(\Delta^+ \rightarrow pe^+e^-) = 4.19 \pm 0.42 \text{ (model)} \pm 0.46 \text{ (syst.)} \pm 0.34 \text{ (stat.) } 10^{-5}$$

HADES PRC95, 065205 (2017)

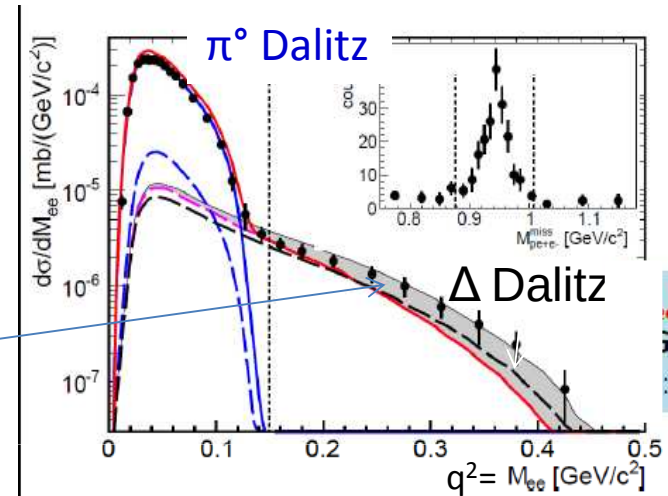
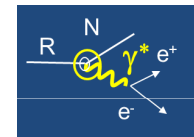
Sensibilité à la **structure électromagnétique** de la transition N- Δ (région temps)

nuage de mésons/cœur de quarks

Wan and Iachello, *Int. J. Mod. Phys. A*20 (2005) 1846

T. Pena and G. Ramalho, *Phys. Rev. D*85 (2012) 113014

Contributions: Thèses E. Morinière (2008), T. Liu (2011)



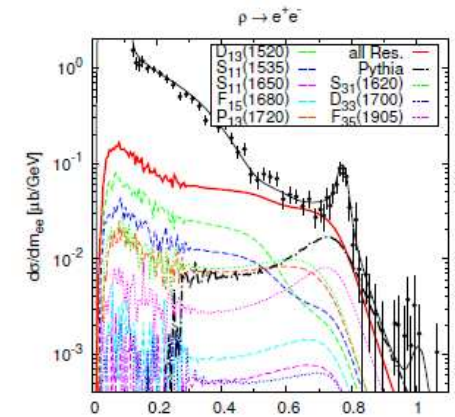
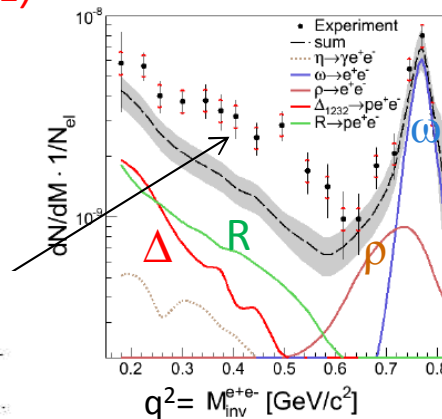
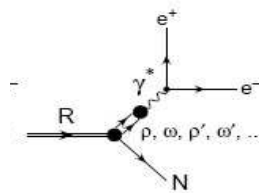
- pp → ppe⁺e⁻ E=3.5 GeV**

Signature de facteurs de forme du type

« **Dominance vectorielle** »

(couplage au ρ)

HADES *Eur. Phys. J. A*50 (2014) 8



B. Ramstein

Weil, et al., *EPJA* 48, 111 (2012)

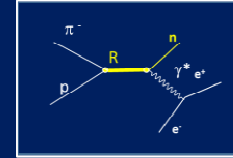
Expérience HADES avec le faisceau de pions

Expérience de 2014 : cible polyéthylène (CH₂), région de la **N(1520)**

✓ Canaux 2 π N : nouvelles données pour la spectroscopie des baryons

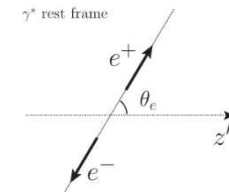
$N^* \rightarrow \rho N, \sigma N, \pi \Delta$ (analyse en ondes partielles)

✓ Production $e^+e^- \rightarrow$ **étude des transitions baryoniques dans la région temps**,



Quasi-libre $\pi^- p \rightarrow n e^+ e^-$ $\sqrt{s} = 1.49 \text{ GeV}/c^2$

$\pi^- p \rightarrow n \pi^+ \pi^-$ (analyse en ondes partielles)

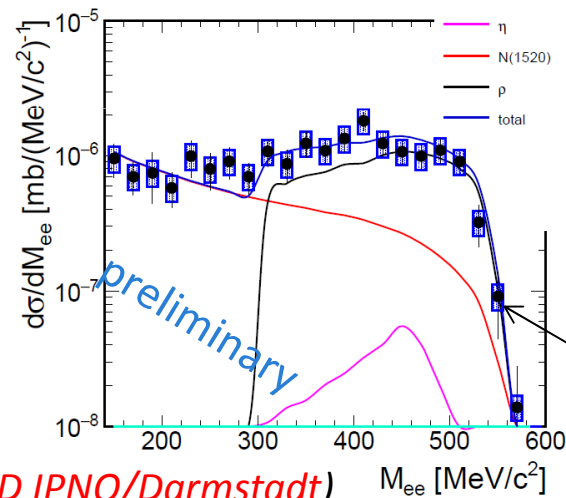


Total

$\eta \rightarrow e^+ e^- \gamma$

$N(1520) \rightarrow n e^+ e^-$

$\rho \rightarrow e^+ e^-$



$\rho \rightarrow \pi^+ \pi^-$

$\rho \rightarrow e^+ e^-$

information suppl. dans les distributions angulaires (matrice de densité de spin: contient les facteurs de forme)

Federico Scozzi (PHD IPNO/Darmstadt)

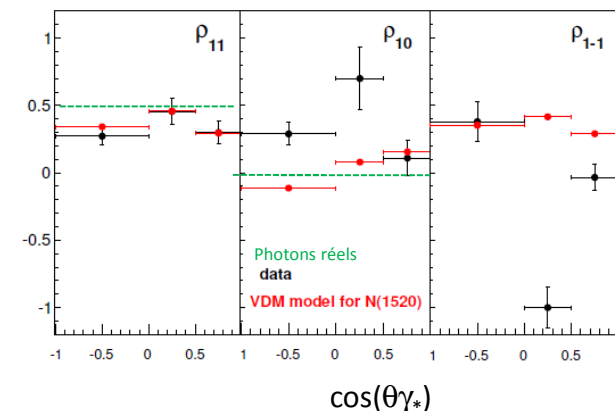
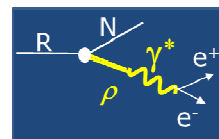
MESON2016, Conf12

EPJ Web Conf., 137 (2017) 05023

Collaboration avec GSI et Cracovie

Exposé invité NSTAR2017 (B.R.)

Dominance vectorielle

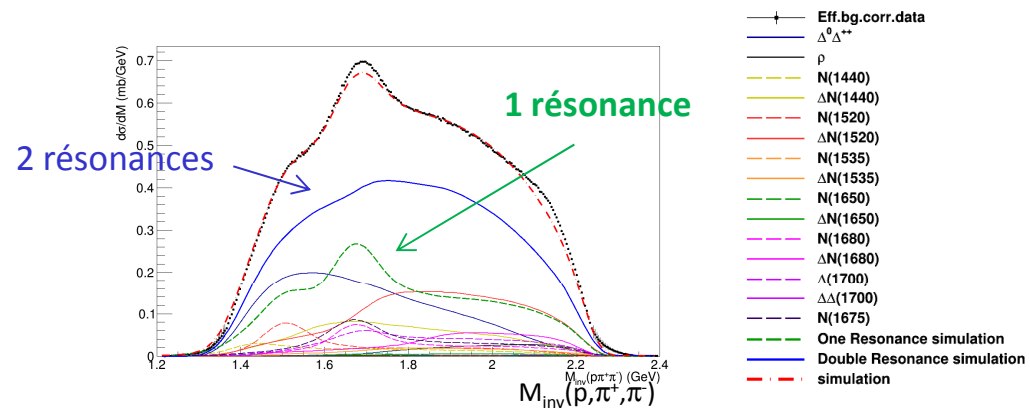
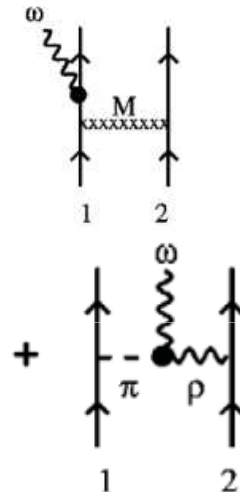


Implication de l'IPN dans HADES: autres travaux

- Etude de canaux hadroniques $pp \rightarrow pp\pi^0$, $pp \rightarrow pn\pi^+$, $pp \rightarrow pp\eta$, $'n'p \rightarrow np\pi^+\pi^-$, $d\pi^+\pi^-$
- $pp \rightarrow pp\omega/\eta$ $E=3.5$ GeV
analyse R. Kunne 2017-2018
- $pp \rightarrow pp\pi^+\pi^-$, $pp\pi^+\pi^-\pi^+\pi^-$ $E=3.5$ GeV
thèse Amel Belounnas 2016-2019, analyse de données
+ études phénom. avec J. van de Wiele

Rôle des
résonances
baryoniques ?

émission liée
aux courants
d'échange?



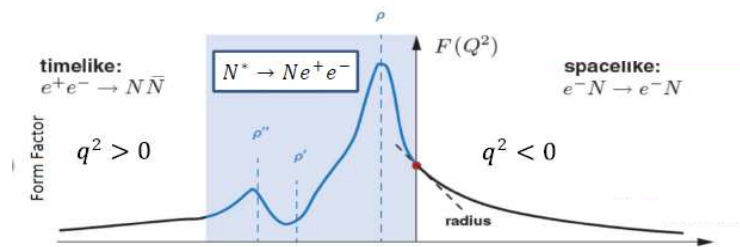
- Unification des régions espace et temps :

Modèle de facteur de forme (données de CLAS)

B.R + M. Krivoruchenko (Moscow)

Rapprochement des communautés diffusion d' e^- / faisceaux de hadrons

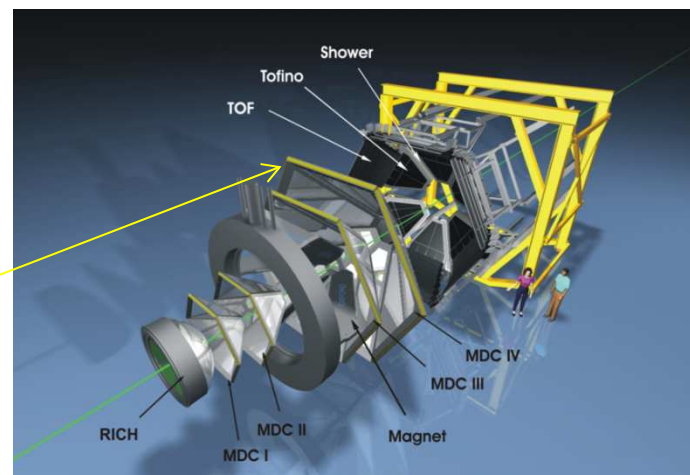
e.g. « Time like and Space like baryonic transitions », ECT* Trento 8-12 May 2017



Contribution technique de l'IPN à HADES



4^{ème} plan de reconstruction de trajectoires
6 chambres à dérive construites à l'IPN
(dernière livrée en 2006)
cellule de dérive (14x10 mm²)
Surface active 21 m² , 7200 fils sensibles

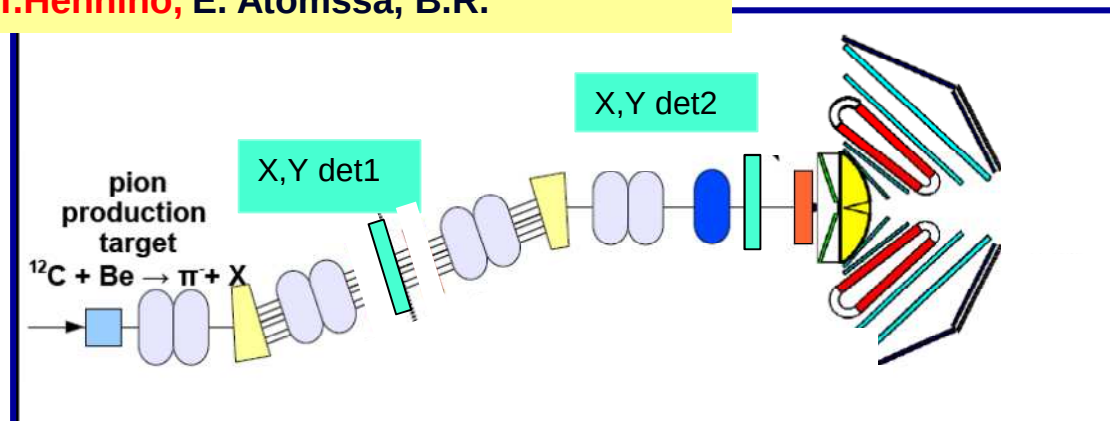


*Transfert de responsabilité
à GSI pour chambres
et cible LH2 en 2015*



Cible LH2 (construite à l'IPN0
par le groupe de cryogénie)

Calculs d'optique du faisceau de pions:
T.Hennino, E. Atomssa, B.R.



Tests au tandem d'Orsay: Jan.2014

B. Ramstein

16

Main d'oeuvre , production scientifique, collab. (HADES)

Post-doc (HADES/PANDA) Malgorzata Gumberidze(Sudol): 30% HADES from 2010 to 2012
Ermias Atomssa (Oct. 2013-Oct. 2016, 20% HADES)

Thèses:

- E. Morinière (2008) -T. Liu: (2010)
- H. Kuc (ambassade de France+IPN+ParisXI, co-tutelle avec Cracovie, déc. 2014)
- F. Scozzi (P2IO Labex + TU Darmstadt, co-tutelle, oct.2014-oct. 2017)
- A. Belounnas (ED Pheniics grant, oct. 2016-oct.2019)

Collaborations :

groupes HADES Cracovie, GSI/Darmstadt

groupes théoriques: F. Iachello (Yale 2008), Bonn-Gatchina (A. Sarantsev), X. Cao (Pékin)

IST Lisbon (T.Pena), M.Baskanov (Edimbourg), M. Zetenyi (Budapest), B.Friman(GSI),
M. Krivoruchenko (Moscow), J.C. David(IRFU)

Accords de collaboration: IN2P3/GSI, IN2P3/Pologne, demande en cours France-Hongrie

Organisation de réunions:

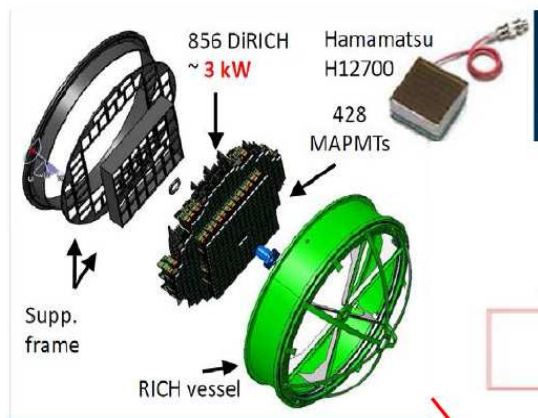
- Pion beam experiments meeting Orsay (2009)
- Réunions de collaboration (Seillac 2011 and automne 2016)
- meeting conjoint HADES-WASA à Orsay (April 2013)
- Session sur les facteurs de forme électromagnétiques RRTF meeting in GSI
- Organisation d'un workshop ECT* meeting en 2017
- budget du Labex P2IO pour un meeting à Orsay et invitation de P. Salabura (2 mois) en 2018

Présidence du bureau de la collaboration (T. Hennino (2001-2007), B.Ramstein (>2015)→MOU)

Production scientifique :

- 35 publications, contribution significative de l'IPNO à 12 publications ,13 proceedings (IPNO)
- 14 exposés à des conférences et workshops (7 invités) + 5 séminaires
- ~ 8 exposés/an aux réunions de collaboration, GDR (co-coord. d'une session), réseau Mesonnet

HADES upgrade



New RICH photon detector
& read-out (CBM @ HADES)
Gain in e+e- eff x 5

Installation 2018

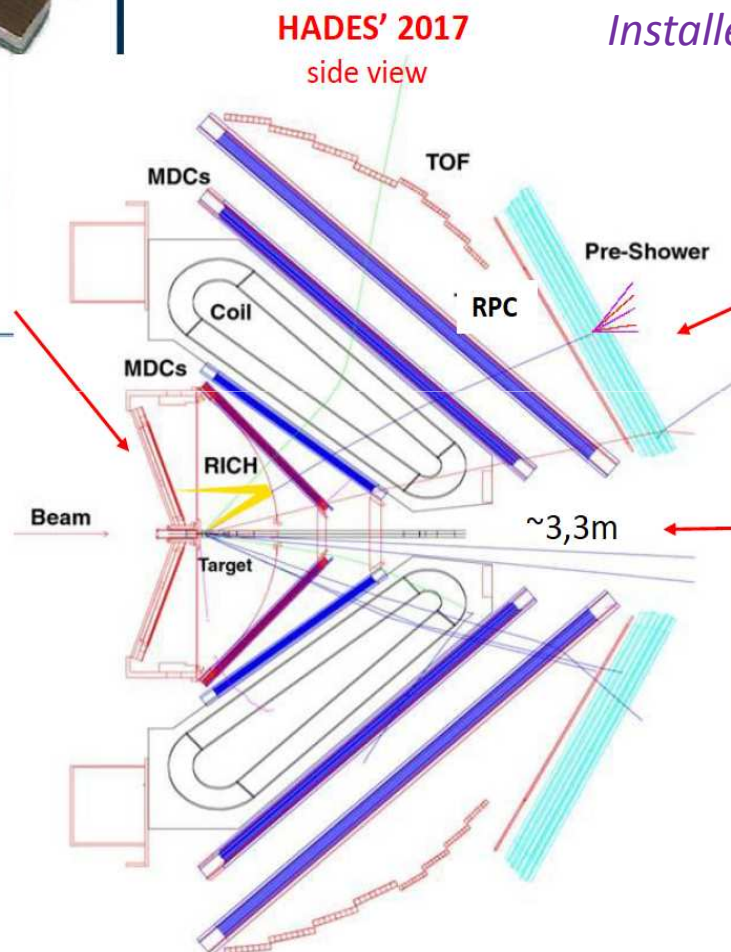
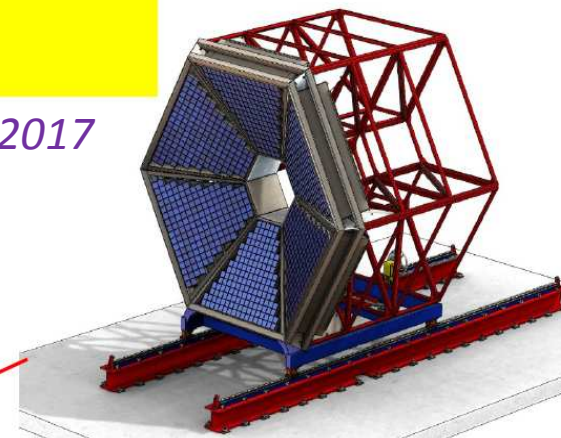
MoUs:
HADES-CBM
HADES-PANDA

New ECAL (lead glass)

γ, e^+, e^-

$\sigma(E)/\sqrt{E} \sim 5.5\%$

Installé en 2017



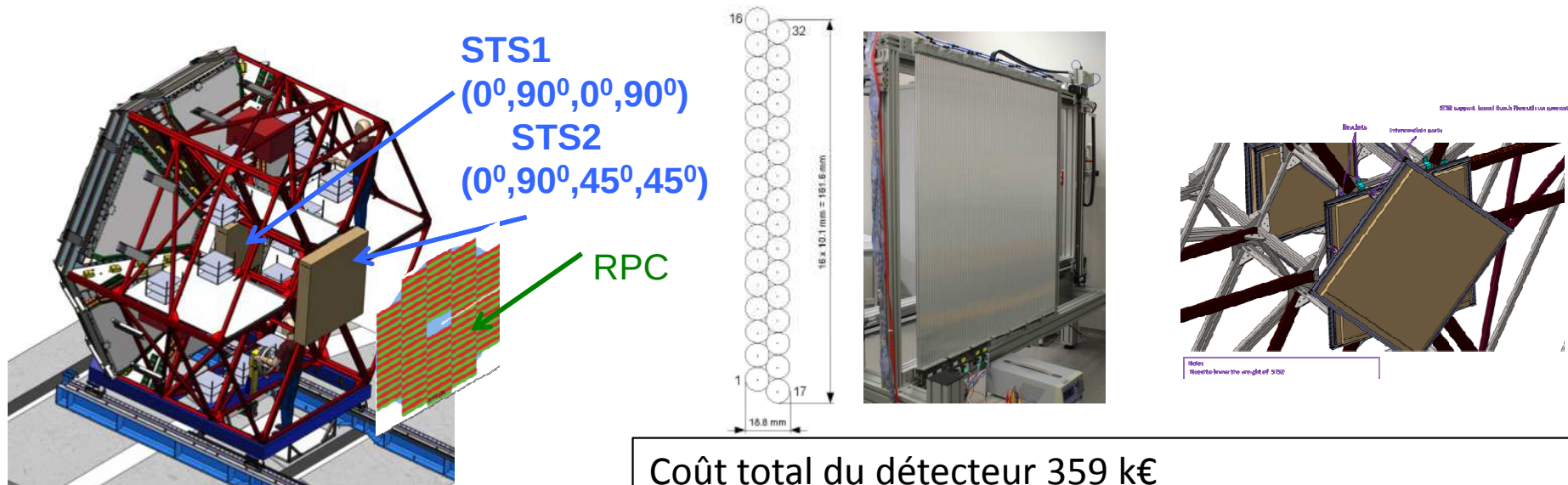
+RPC (5 m distance)

Forward Detector (0.5° : 6.5°)
Panda FT straws + RPC TOF
(HADES@PANDA)
 $\sigma(x) \sim 150 \mu\text{m}$ $\sigma(\text{TOF}) \sim 70 \text{ ps}$

Installation fin 2018

Détecteur angles-avant de HADES: contribution de l'IPNO

2 stations de détecteurs de tube-paille: technologie du « forward tracker » de PANDA



Acceptance aux angles 0-6.5°
Crucial pour les études de hypérons
Résolution en position 150 μm
angle ~ 1 mrd
Mesure de TOF par les stations RPC

Coût total du détecteur 359 k€
Participation française: 40 k€

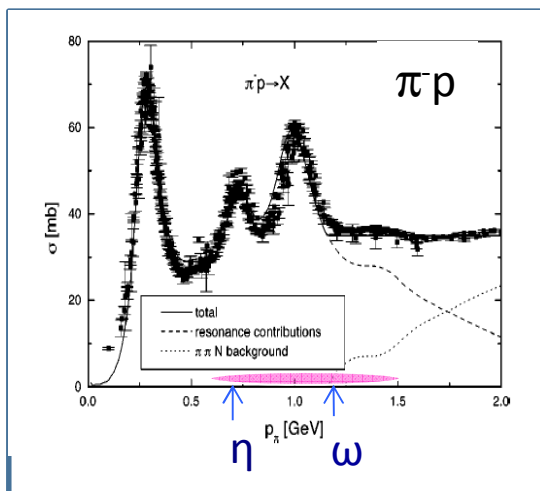
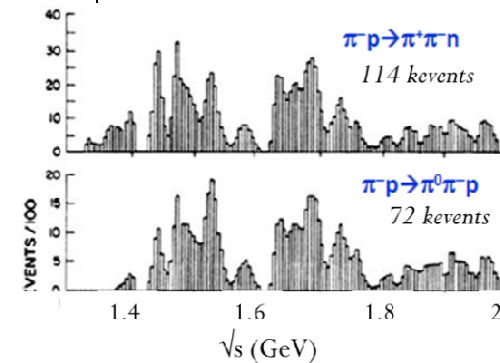
STS1 construite à Jülich
STS2 construite à Cracovie avec participation française:
½ STS2 30 k€ (16.5 k€ en 2017, 13.5 k€ en 2018)
Construction des cadres et supports à l'IPN en 2018
(C. Le Galliard) 10 k€ (max)
4-5 mois (6 ETP*mois)

Expériences futures sur SIS18

Faisceaux d'ions lourds et de pions

SIS18 experiments = FAIR Phase0 experiments

- ✓ Août 2018: 30 jours de faisceau
étude d'effets de milieu Ag+Ag à 1.65 GeV/nucléon
- ✓ 2019-2020: Faisceau de π^-
 - $\pi^- + p$ *résonances baryoniques* $\Delta(1620)$, $N(1720)$,...
 - canaux e^+e^- et hadroniques $\pi\pi N$, ωn , ηn , $K^0\Lambda$, $K\Sigma$,...+ γ
 - $\pi^- + C$ *matière nucléaire froide*
 - Après 2020: *résonances baryoniques* $M > 2$ GeV et $\Lambda(1405)$

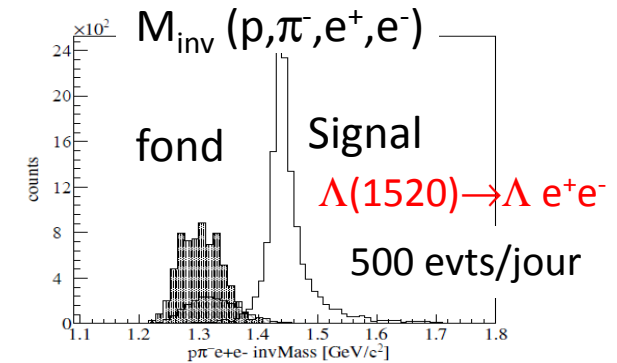
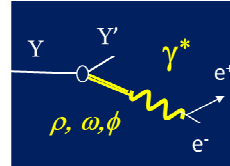
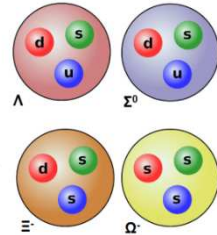


Unique pour le moment, mais bientôt compétition avec JPARC pour les canaux hadroniques

Ouvrir la voie aux futures usines à mésons
W. J. Briscoe et al., EPJ. A51 (2015)129

Expériences futures sur SIS18: Faisceaux de protons

p+p E=4.5 GeV



- Décroissances radiatives $Y \rightarrow \Lambda \gamma$
et Dalitz $Y \rightarrow \Lambda e^+ e^-$ ($BR \sim 10^{-3} - 10^{-5}$) Y : hypéron (baryon étrange) = $\Lambda(1520)$, Σ^0 , $\Sigma(1385)$,
 - pas ou mal connues
 - $Y \rightarrow \Lambda \gamma$: Grande sensibilité à la structure interne du hypéron
 - $Y \rightarrow \Lambda e^+ e^-$: Facteurs de forme de transition dans la région temps:

Comparaison $N(1520)$ et $\Lambda(1520)$: dominance vectorielle?

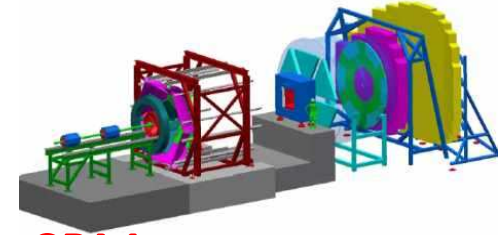
- Production de baryons doublement étranges $\Xi^-(1321)$ ($S = -2$)
- Production de paires $e^+ e^-$ $M_{ee} > 1 \text{ GeV}/c^2$

p+Nb E=4.5 GeV

- Études de matière nucléaire froide: production $e^+ e^-$, mésons vecteurs, ρ, ω, ϕ , étrangeté
- Short Range Correlations (avec détecteur de neutrons)
- Dark photon

Expériences HADES sur FAIR

Après 2023: Transport de HADES dans la cave CBM
→ expériences HADES sur SIS100

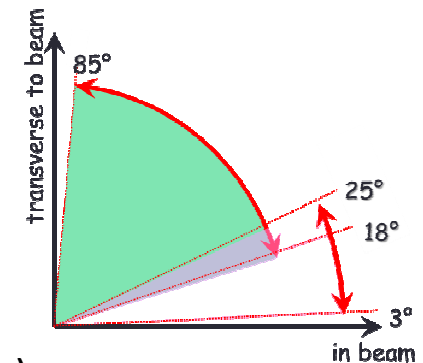


✓ Études de matière hadronique : complémentaires de CBM

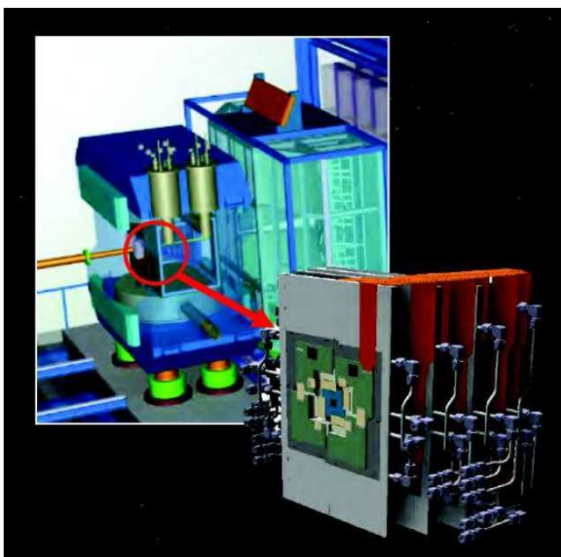
- HADES: A+A (Au: $E/A < 4$ GeV/nucléon), p+p (référence) et p+A (matière froide)
- CBM: A+A (Au: $E/A < 11$ GeV/nucléon)

✓ Etudes de physique hadronique:

- études de hypérons en pp : complémentaires de PANDA ($\bar{p}p$)
HADES: décroissances Dalitz des hypérons légers
PANDA: spectroscopie, recherche de nouveaux états (charmés ou non)
- production de mésons $\pi^\pm$, $K^\pm$, π^0 / $\eta \rightarrow \gamma\gamma$, $\omega \rightarrow \pi^0\pi^+\pi^-$, $\rho \rightarrow \pi^+\pi^-$, $\phi \rightarrow K^+K^-$, $\eta' \rightarrow \pi^0\pi^+\pi^-$, $J/\psi \rightarrow e^+e^-$
et...
- transition degrés de liberté hadroniques → quarks, gluons ?
(dépendance en s,t de processus exclusifs)



CBM: Micro Vertex Detector

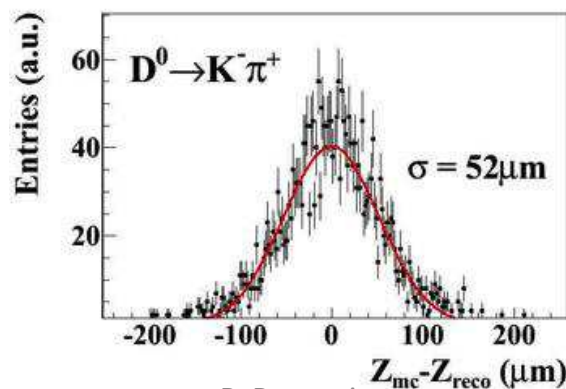


4 stations de détecteurs CMOS
(Combined Metal Oxide Semiconductor)

Spécifications:

- ✓ Résolution vertex $50\mu\text{m}$ (en z)
- ✓ Résolution (par point): $5\mu\text{m} \times 5\mu\text{m}$
- ✓ Résolution en temps: $5\mu\text{s}$
- ✓ Consommation max: $200\text{-}350\text{ mW/cm}^2$
- ✓ Tol. radiation (-20°C), 3 MRad , $3 \cdot 10^{13}\text{ n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$
- ✓ Épaisseur: $< 0.5\% X_0$ par couche

Essentiel pour la physique
du charme

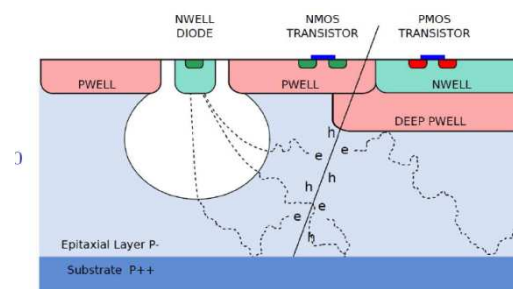


$$c\tau = 123\mu$$

Projet IPHC/CBM: genèse

Groupe PICSEL de l'IPHC pionnier dans le développement des CPS
CMOS pixel sensors)

- couche sensible très mince ($20\mu\text{m}$)
- électronique de traitement de signal sur le détecteur
- limitations: vitesse de lecture et tolérance aux radiations



Réalisations de l'IPHC:

30 capteurs conçus et testés depuis 1999

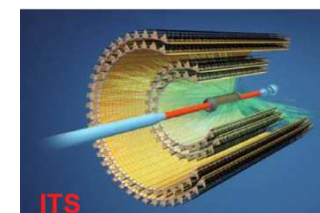
STAR/RHIC (2014-2016)

ALICE-ITS (30000 capteurs ALPIDE)

MIMOSA-28 (STAR)



ALPIDE



depuis 2003: R&D pour le MVD de CBM sur fonds allemands

capteurs MIMOSIS: upgrade d'ALPIDE : taux de particules ($\times 10$ -100), radiations ($\times 10$)

504x1024 pixels (1 pixel = $27\mu\text{m} \times 30\mu\text{m}$)

organisation en régions (64 colonnes de 504 pixels, 1 syst. de lecture pour 2 colonnes)

Motivation: Améliorer la performance des détecteurs CPS en vue du projet ILC

Projet IPHC/CBM: calendrier et budget

Calendrier:

sur 2018-2021: test et construction de 4 prototypes + capteur final
Partenariat avec l'université Goethe de Francfort

Ressources humaines à l'IPHC:

7 ingénieurs micro-électroniciens (conception)
4 ingénieurs électroniciens (tests de fonctionnement)
1 ingénieur électronicien (gestion des logiciels)
2 physiciens (cahier des charges, suivi du projet, évaluation des performances)

A. Besson, M. Winter

10 ETP/an (ingénieurs) + 0.5 ETP/an (physiciens)
renfort souhaité par un post-doc ou un doctorant

Budget:

Année	Fonderie	PCB	Equip. test	Irradiations	Voyages	Total
2018	15 kEUR	15-20 kEUR	43-64 kEUR	5 kEUR	13 kEUR	~ 90-120 kEUR
2019	15 kEUR	5 kEUR	3-4 kEUR	5 kEUR	13 kEUR	≥ 40 kEUR
2020	15 kEUR		3-4 kEUR	5 kEUR	13 kEUR	≤ 40 kEUR
2021	15 kEUR		3-4 kEUR	5 kEUR	13 kEUR	≤ 40 kEUR

Total 210-240 k€

Peut déboucher sur la **construction du MVD (>2021)**

PANDA: activités de l'IN2P3 (2004-2017)

- 7 permanents à l'IPNO jusqu'en 2014 (responsable T. Hennino), 2 *post-docs*, 4 *thèses*
- Etudes de faisabilité (structure du nucléon) (*5 articles*)

facteurs de forme électromagnétiques dans la région temps,

Transition Distribution Amplitudes

$\bar{p}p \rightarrow e^+e^-$, $\bar{p}p \rightarrow e^+e^-\pi^0$, $\bar{p}p \rightarrow J/\psi \pi^0$ ($J/\psi \rightarrow e^+e^-$)

- Développement du code d'analyse et de simulations
- Phénoménologie (*17 articles*)
- R&D sur le calorimètre électromagnétique (mécanique et refroidissement)

Investissement IPNO: ~ 1.5 FTE/an, ~ 260 k€ pour la R&D

Eol (annulée en 2014): 300 k€ pour le refroidissement du calorimètre EMC



1/3 du
prototype
120 cristaux

Septembre 2014: Décision IPN/IN2P3 (raison invoquée: budget et main d'oeuvre)
pas de contribution à la construction de PANDA

R. Kunne (CNRS) → ProRad et HADES

D. Marchand (CNRS) → ProRad

B. Ramstein (CNRS, 2014 30% PANDA-70% HADES) → HADES

E. Tomasi-Gustafsson (retour CEA 2014)

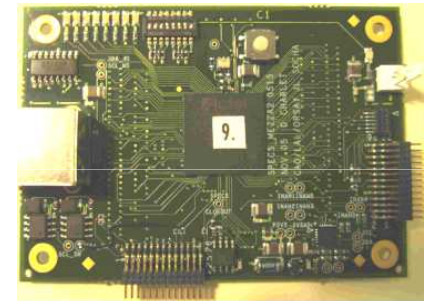
J. Van de Wiele (CNRS, émérite 2014) → phénom. pour ProRad et HADES



PANDA: une nouvelle contribution de l'IN2P3 ?

Discussions en cours au LAL(depuis < 8 mois)

- ✓ Objectif: Développer un système de **slow control** (hard-ware, software et intégration) pour PANDA
- ✓ Personnes intéressées: Patrick Robbe (chercheur CNRS) + Monique Taurigna, Daniel Charlet (ingénieurs CNRS)
- ✓ Exploiter les compétences acquises pour le développement de **SPECS** (Serial Protocol for Experiment Control System) pour LHCb au LAL
- ✓ Intérêt et expertise (LHCb) pour la physique de PANDA (charmonium, baryons charmés, et leurs décroissances radiatives)



Estimer les besoins spécifiques de PANDA:

→ Utiliser IPBUS (moins cher) avec cartes électroniques spécifiques pour la tenue aux radiations (cf cartes « slave » de SPECS) ?

Contribution envisagée (50 k€, à préciser)

Récapitulatif du projet

HADES (IPNO) Ronald Kunne, Béatrice Ramstein

- finaliser la réalisation technique sur le détecteur de tubes-paille (40 k€ obtenus)
- participer au programme de physique sur SIS18 (GSI) et SIS100 (FAIR)

CBM: Auguste Besson, Marc Winter

- Développer des détecteurs CPS pour le MVD (210-240 k€ demandés sur 4 ans)

PANDA Patrick Robbe

- Développer un système de « slow control » (en discussion, peut-être 50 k€)

Objectifs:

→ Participer à la production scientifique en physique hadronique à GSI et FAIR en exploitant les synergies entre les 3 collaborations

HADES @SIS18: banc d'essai pour les projets CBM et PANDA (physique ET technique)

HADES@SIS100: complémentaire de PANDA et CBM

→ Faire évoluer des technologies de pointe (détecteurs CPS, système de slow control) pour la physique des hautes énergies

Organisation:

Apparaître sous une ligne « physique hadronique à GSI/FAIR »

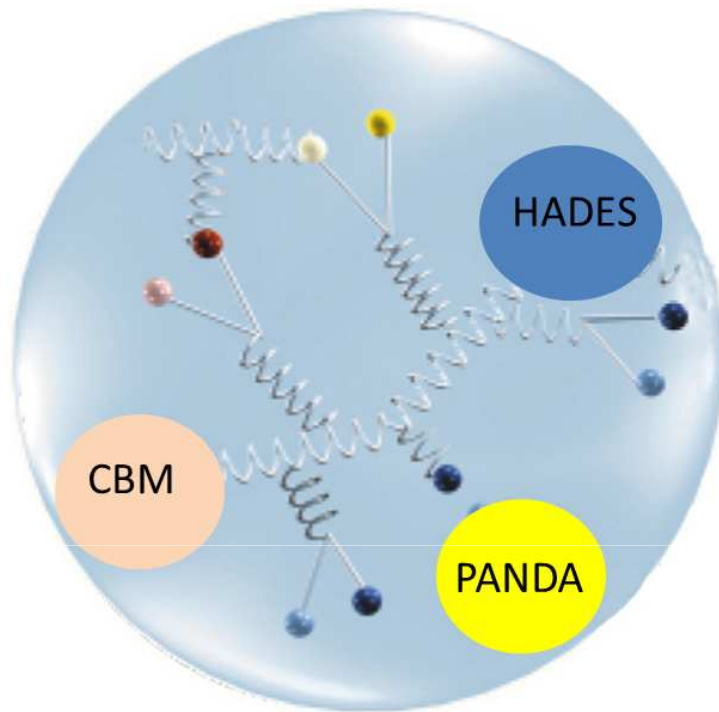
Définir ensemble une stratégie d'implication dans HADES, CBM, PANDA

Demande de postes:

1 postdoc ou doctorant pour les tests de capteurs pour CBM

1 CR sur HADES le plus tôt possible

1 CR dans 2-3 ans pour développer la physique sur CBM ou PANDA



HADES,CBM,PANDA:
3 projets en « interaction forte »

MERCI de votre attention

Analyse AFOR

Atouts:

- L'IN2P3 a (encore) une place reconnue dans les trois collaborations HADES, CBM et PANDA
- Compétences scientifiques et techniques uniques et recherchées
- Possibilité d'une contribution globale équilibrée (physique/technique)

Faiblesses: peu de physiciens (renforcement urgent !)

Opportunités:

- FAIR : machine d'avenir pour la physique (et matière hadronique) en Europe
- Enjeux scientifiques **différents et complémentaires** des autres projets de l'IN2P3 (états excités du nucléon, hypérons, matière dense, recherche de glueballs,...)
- Projets techniques ambitieux sur CBM et PANDA → vecteur d'évolution de compétences techniques

Risques:

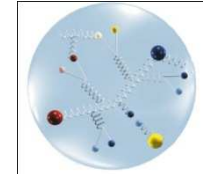
- Perte de leadership dans le domaine technique (slow control, capteurs CMOS)
- Ne pas participer à la prod. scientifique de FAIR en physique/matière hadronique
- Perte de diversité des activités de l'IN2P3 en physique/matière hadronique
- Perdre l'investissement financier important déjà réalisé (HADES, PANDA)

investissement de l'IPNO dans PANDA



2 Post-docs: Malgorzata Gumberidze: 2008-2012 (30% HADES from 2010 to 2012)
Ermias Atomssa (Oct. 2013-Oct. 2016, 20% HADES)

4 PhDs: Jérôme Boucher (Sept. 2011) (IPNO/Mainz) Alaa Dbeyssi (Sept. 2013)
Binsong Ma (Sept. 2014) Wang Ying (7 Juillet 2017)



Production scientifique :

- Phénoménologie (17 articles), études de faisabilité (5 articles)
- Contribution aux TDRs **EMC and STT**
- 1 note technique and 1 release note (RN) (IPNO), 1 RN en collaboration avec Mainz
- 26 exposés (10 invités) ; 8 exposés/an dans les réunions de collaboration

Support pour les collaborations:

- **Accords IN2P3-GSI** (T. Hennino → B. R.), **JINR-IN2P3** (E. Tomasi-Gustafsson→D. Marchand)
- **PICS** Ukraine, E. Tomasi-Gustafsson (2010-2012), Italie: B. R. (2011-2013)

Responsabilités:

Collaboration Board (2 votes) - **FAIR Ressource Review Board** (T. Hennino, D. Guillemaud-Müller) -
Technical board (P. Rosier/R&D detectors)

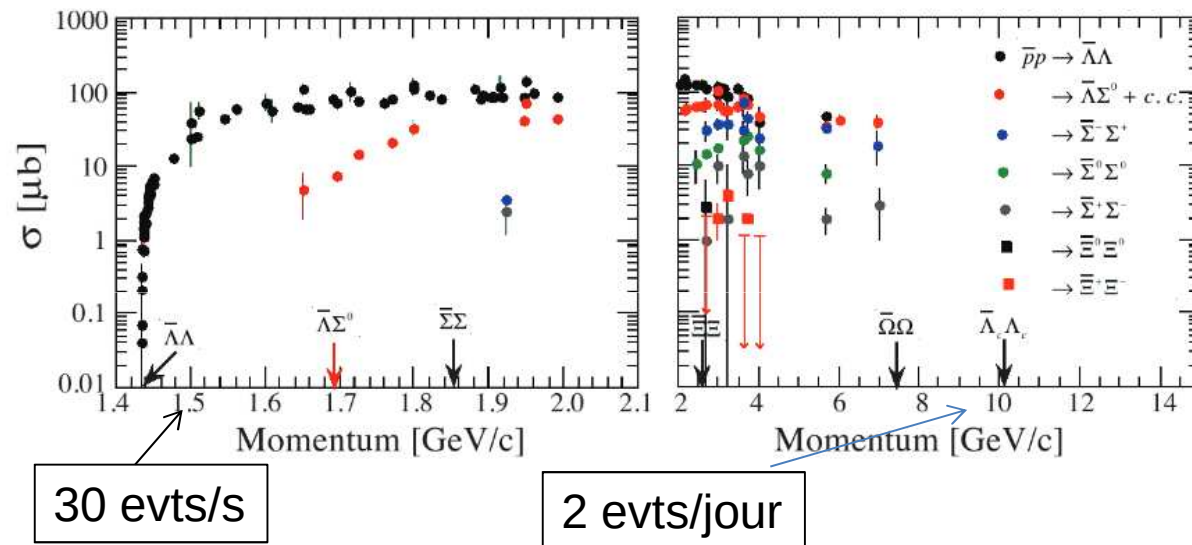
- **Speakers committee** T. Hennino (2009-2011), E. Tomasi-Gustafsson (2011, chair 2012), B. R. (2013-2014)
- Coordination du « **working group on Electromagnetic processes** » (D. Marchand, B. R.)

Organisation de réunions

- PANDA **réunion de collaboration** Paris/CNRS (9-13 sept 2012) (160 physiciens)
- **ECT*** 'Scattering and annihilation electromagnetic processes' (18-22 Feb. 2013)
- GDR PH QCD meeting général à l'IPN (décembre 2012) + meetings thématique annuels (facteurs de forme)

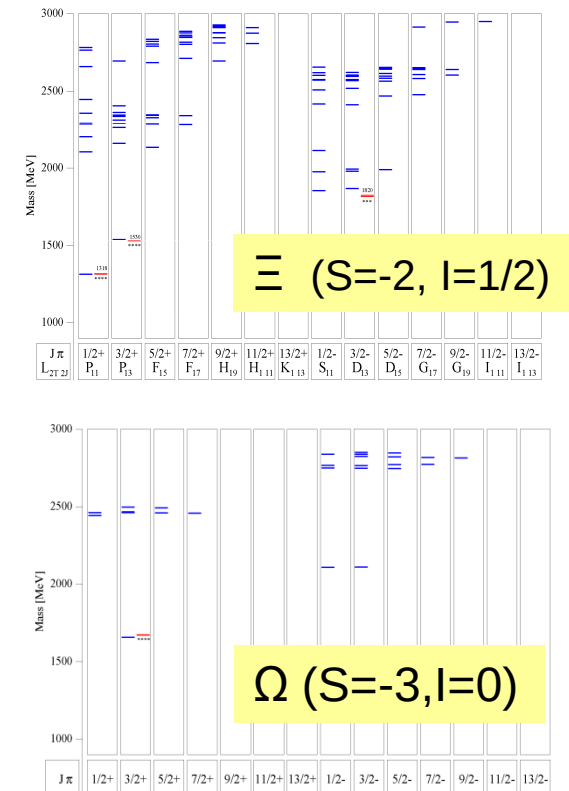
Etudes de hypérons: complémentarité HADES/PANDA

Projections pour PANDA:
luminosité « day 1 »

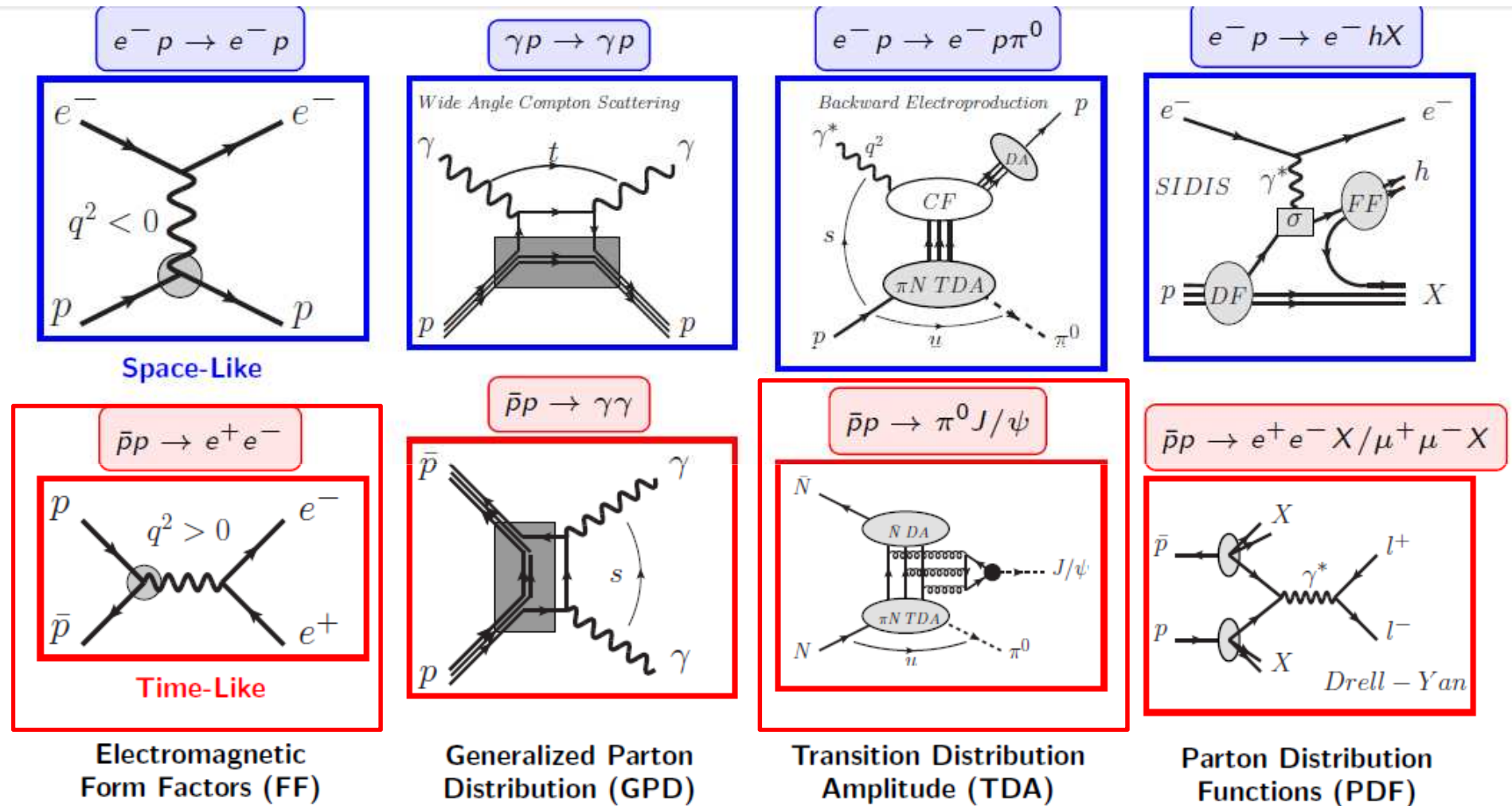


- déterminer les rapports de branchement:
 $\Xi\pi$, $\Xi\pi^+\pi^-$, $\Xi\pi^0\pi^0$, ΛK^- , $\Sigma\bar{K}$, $\Xi\eta$, $\Xi\eta\pi$, $\Xi\eta'$, $\Xi\omega$, $\Xi\phi$, ...
- études de faisabilité:
 $\bar{p}p \rightarrow \Xi^+\Xi(1530)^- \rightarrow \Xi^+\Lambda K^-$, $\bar{p}p \rightarrow \Xi^+\Xi(1820)^- \rightarrow \Xi^+\Lambda K^-$
Cracow, Jülich, Bochum, Uppsala

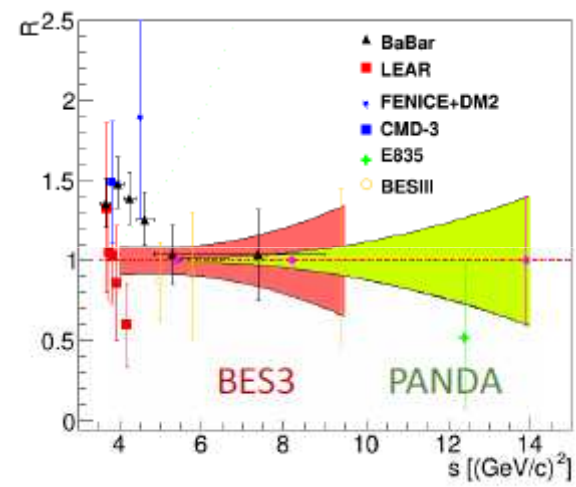
Hypérons double- et triplement
étranges
Prédits par le modèle des quarks
observés



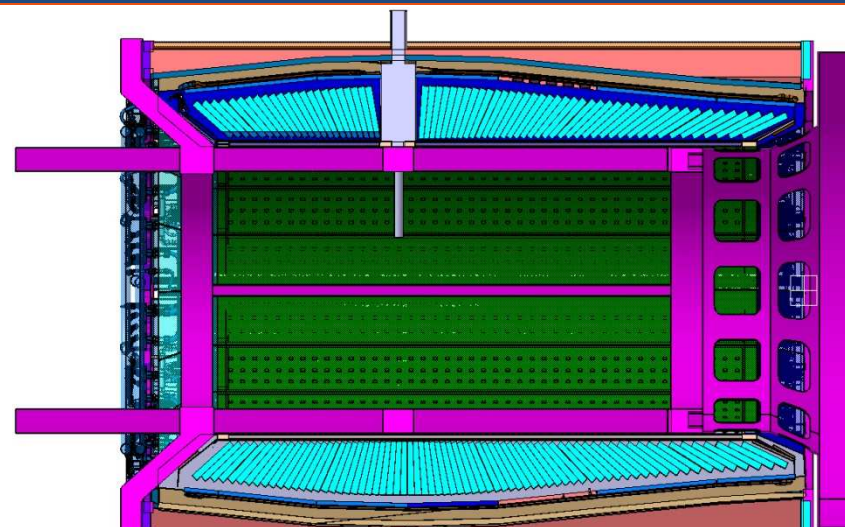
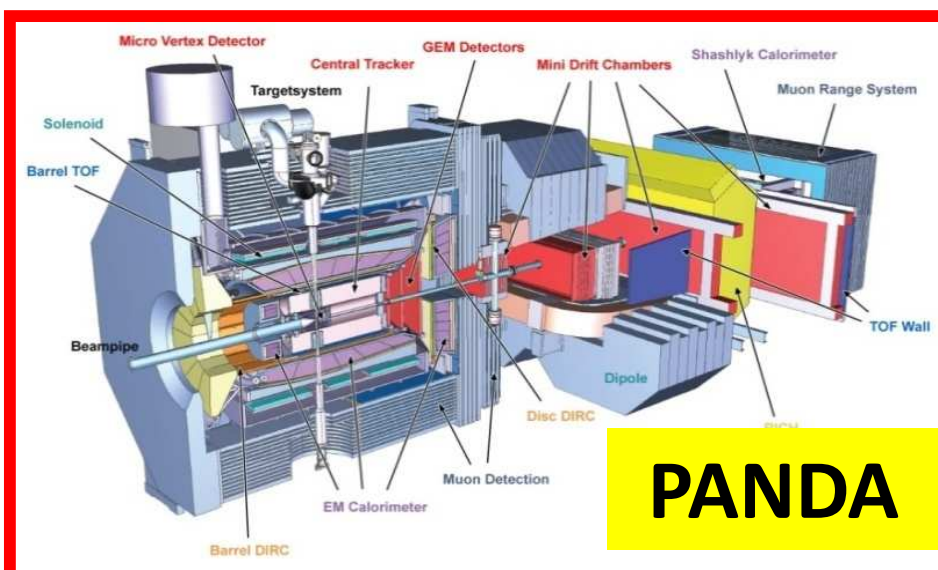
sonde électromagnétique dans la **région espace** et dans la **région temps**



- ✓ Informations complémentaires sur la structure du nucléon
- ✓ groupe de travail sur la Physique Electromagnétique de PANDA:



R & D sur le calorimètre électromagnétique



Calorimètre tonneau: 11520 cristaux de PbWO4

- Configuration générale et intégration (TDR)
- Etudes de colles optiques
- Conception du système de refroidissement (-25°C)
- Participation à la construction de deux prototypes et tests associés
- EoI (annulée): 300 k€ pour le refroidissement du calorimètre EMC
- Transfert de compétences (Bochum/Giessen 2015)

Investissement IPNO: ~ 1.5 FTE/an, ~260 k€ pour la R&D

RDD: B. Gajewski, M. Imre, C. Le Galliard, G. Minier, P. Rosier,

L. Seminor, A. Maroni, C. Theneau

CS IN2P3, 8 février 2018

B. Ramstein



1/3 du prototype 120 cristaux

PANDA: réalisations

✓ Etudes de faisabilité (structure du nucléon):

Réjection du fond, efficacité du signal, taux de comptage

- mesure des facteurs de forme électrique (G_E et magnétique G_M) du nucléon
 - en $\bar{p}p \rightarrow e^+e^-$ (région physique $q^2 > 4m_p^2$)
 - et $\bar{p}p \rightarrow e^+e^-\pi^0$ (région non physique $0 < q^2 < 4m_p^2$)
- **N- π Transition Distribution Amplitudes** en réaction $\bar{p}p \rightarrow J/\psi \pi^0 \rightarrow e^+e^-\pi^0$

✓ Développement du code d'analyse et de simulations

sur des aspects spécifiques aux canaux électromagnétiques

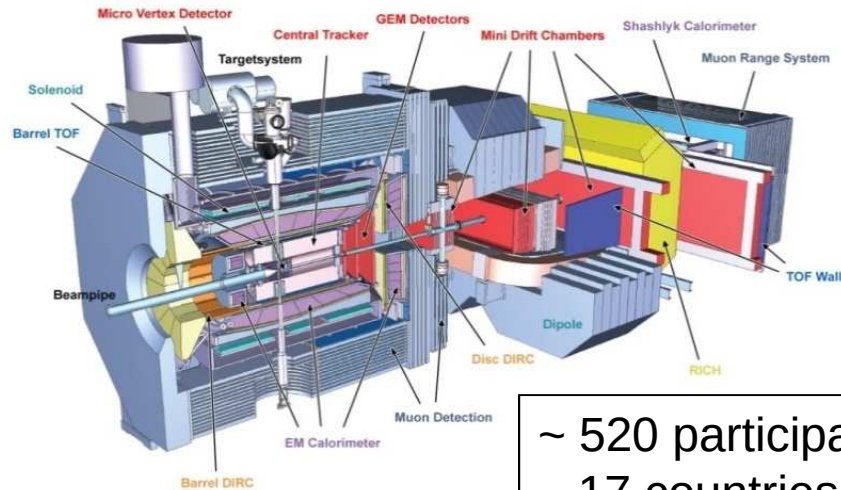
- Correction de l'effet de **Bremsstrahlung** en utilisant la détection du photon dans le calorimètre électromagnétique
- **Identification de particules** (Méthodes Bayésiennes)
- Études de **GEANT4** (sensibilité aux modèles hadroniques)
- **Filtrage** d'événements (trigger)
- Générateurs d'événements (facteurs de forme, TDA, radiative corrections)

✓ Phenomenologie:

- **Facteurs de forme et corrections radiatives**
- **Polarisation et leptons lourds**
- **Canaux hadroniques**

36

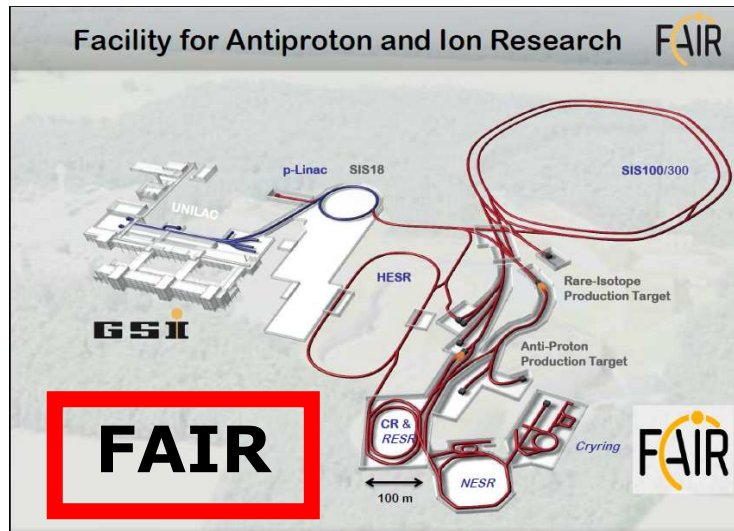
anti $\bar{p}$ Proton ANnihilation at DArmstadt

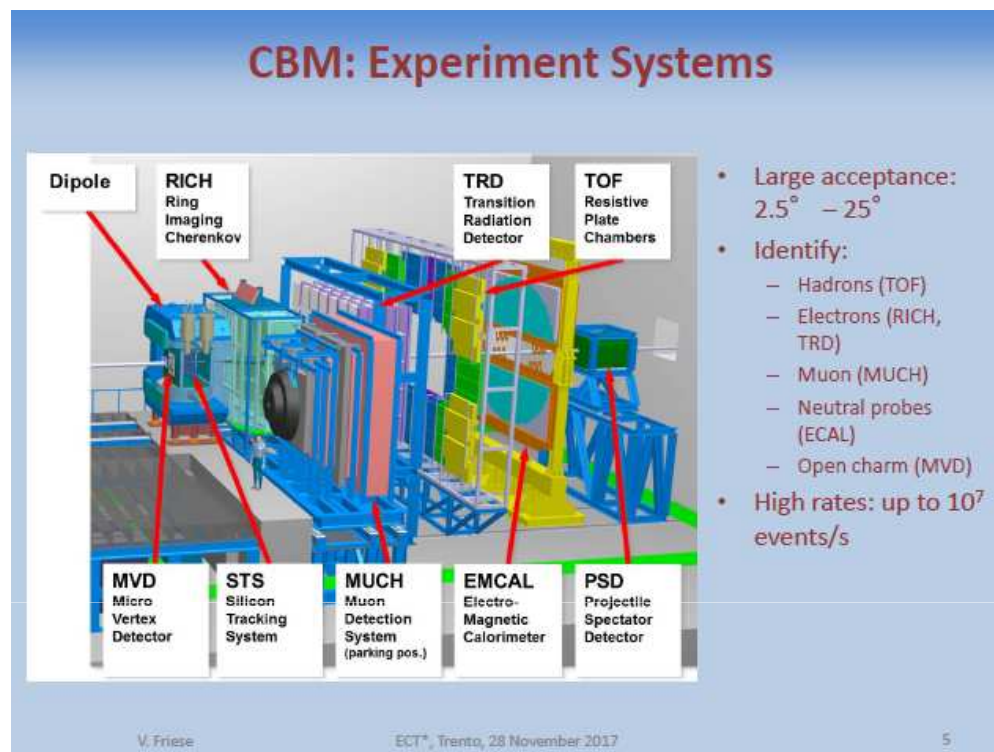


~ 520 participants,
17 countries

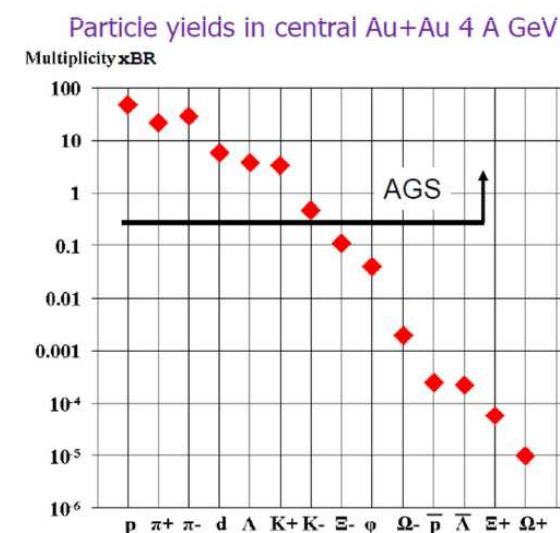
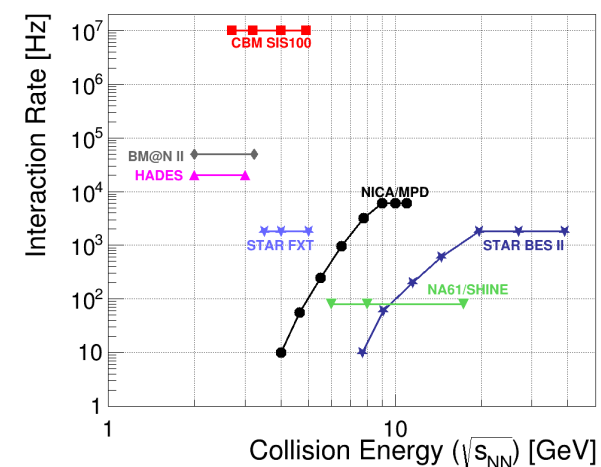
Recouvrement très large avec les
thématiques de l'IN2P3

- ✓ Meson spectroscopy
 - D mesons
 - Charmonium
- ✓ New QCD states, glueballs, hybrids, tetraquarks, molecules,...
- ✓ Charmed and multi-strange baryon spectroscopy
- ✓ Single and double hypernuclei
- ✓ Hadrons in nuclear matter
- ✓ Proton structure





Beam	$p_{lab, max}$	$\sqrt{s_{NN, max}}$
heavy ions (Au)	11A GeV	4.7 GeV
light ions ($Z/A = 0.5$)	14A GeV	5.3 GeV
protons	29 GeV	7.5 GeV



<i>Experiment</i>	<i>Energy range (Au/Pb beams)</i>	<i>Reaction rates Hz</i>
PHENIX & STAR @RHIC, BNL	$\sqrt{s_{NN}} = 7 - 200 \text{ GeV}$	1 – 800 (limitation by luminosity)
NA61@SPS CERN	$E_{kin} = 20 - 160 \text{ A GeV}$ $\sqrt{s_{NN}} = 6.4 - 17.4 \text{ GeV}$	80 (limitation by detector)
MPD@NICA Dubna	$\sqrt{s_{NN}} = 4.0 - 11.0 \text{ GeV}$	~1000 (design luminosity of $10^{27} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ for heavy ions)
HADES@SIS100 Darmstadt	$E_{kin} \sim 2\text{-}4 \text{ A GeV Au+Au}$ $\sim 2\text{-}8 \text{ A GeV Ni+Ni}$	10^4 (limitation by detector)
CBM@FAIR Darmstadt	$E_{kin} = 2.0 - 35 \text{ A GeV}$ $\sqrt{s_{NN}} = 2.7 - 8.3 \text{ GeV}$	$10^5 - 10^7$ (limitation by detector)
NA60'@SPS CERN	$E_{kin} = 10.0 - 158 \text{ A GeV}$ $\sqrt{s_{NN}} = 5 - 17.3 \text{ GeV}$	10^6 (after new injection scheme)

Tests @ FZ Juelich

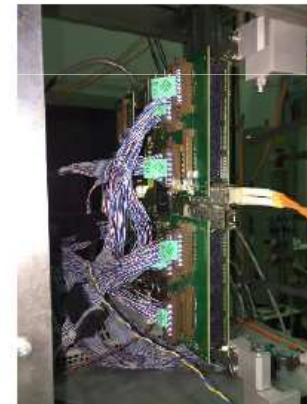
- Two beam tests (1+1 week) for PANDA-STT and one test (1 week) for PANDA - FT
- Proton and deuteron beam in momentum range 0.6 – 3.0 GeV/c
- Signal dynamical range $dE/dx \sim 5\text{-}50 \text{ keV/cm}$ (Ar/CO₂ @ 2 bar)
- STT (144) FT (192) channels readout system: PASTTRECv1-FEBs + TRB3
- Stable operation from April – Dec. 2016, low noise level $\sim 5\text{mV}$, thresholds down to 10mV (see next slides)



Straw setup in beam position. Beam enters from the right.

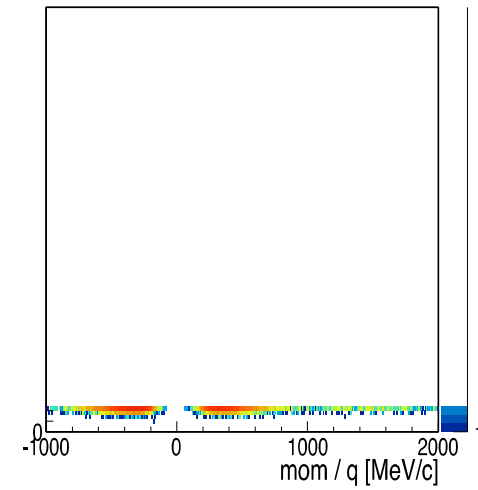
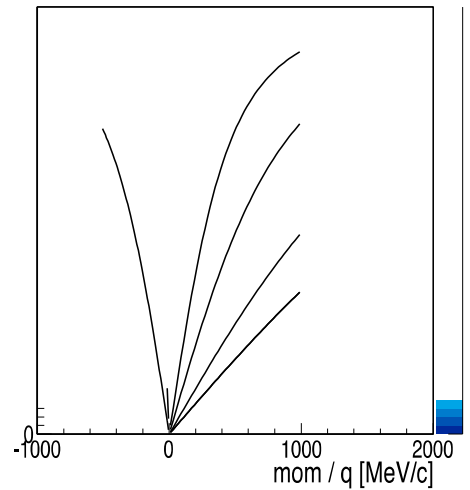
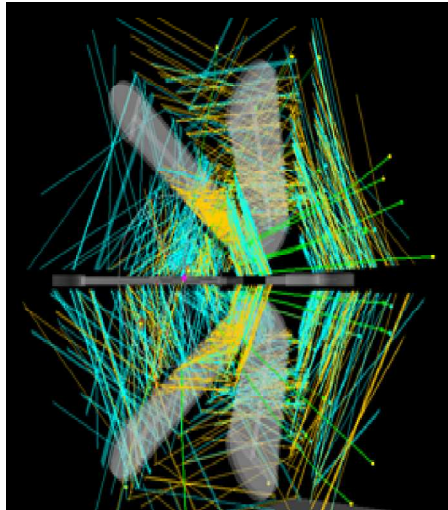


Front-end electronic cards with PASTTREC ASIC.

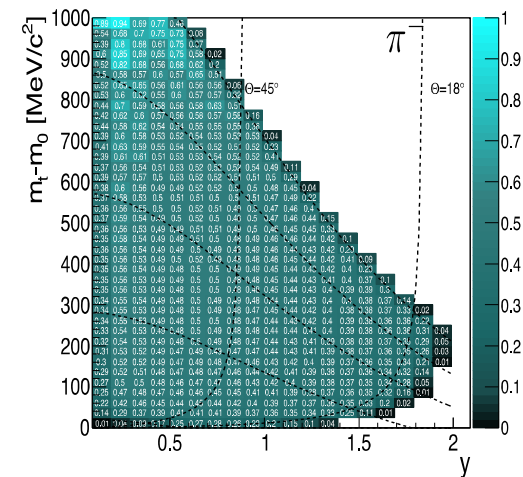
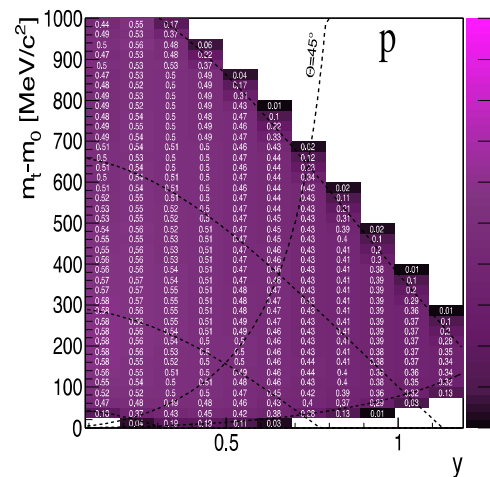


TRB3 readout board.

Performance (hadrons)



- o Large acceptance around mid-rapidity.
- o Centrality and event plane via forward hodoscope (FW)
- o reduced acceptance for elementary (exclusive channels)



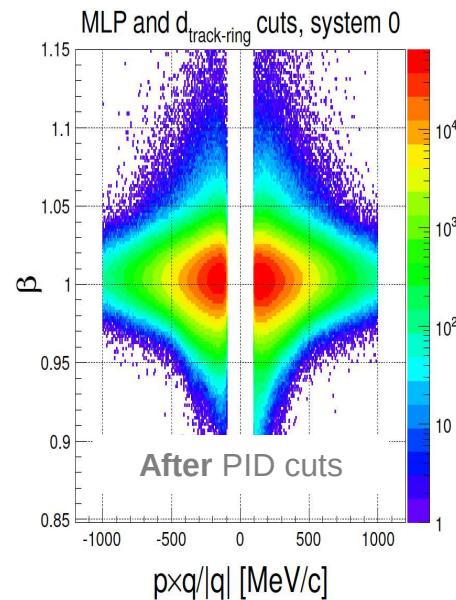
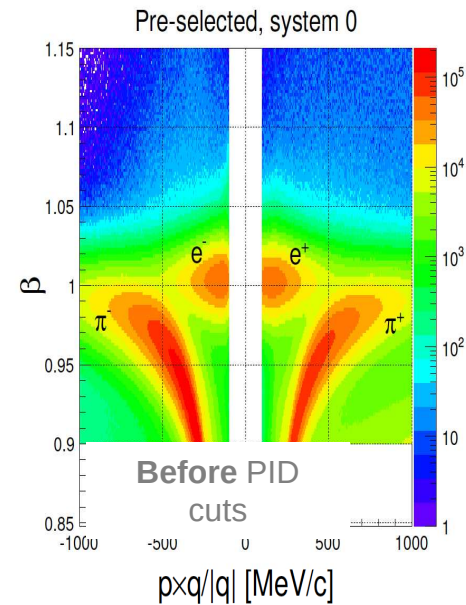
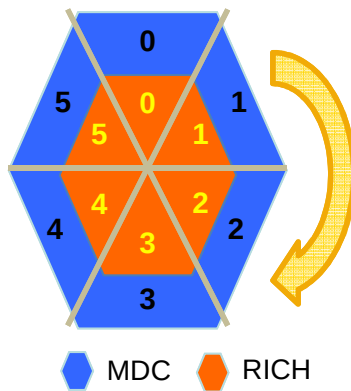
Electron/positron

Multivariate analysis (neural network) using:

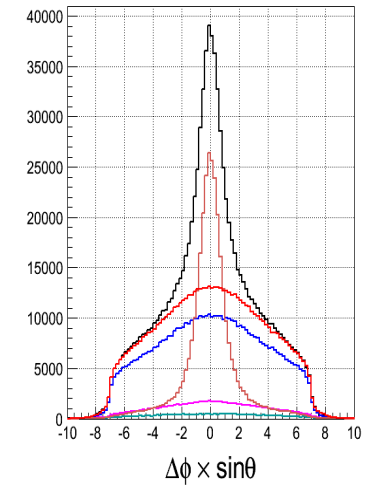
- Particle velocity
- dE/dx in MDC and ToF
- Electromagnetic shower
- Cherenkov radiation

Purity derived from “RICH rotation”

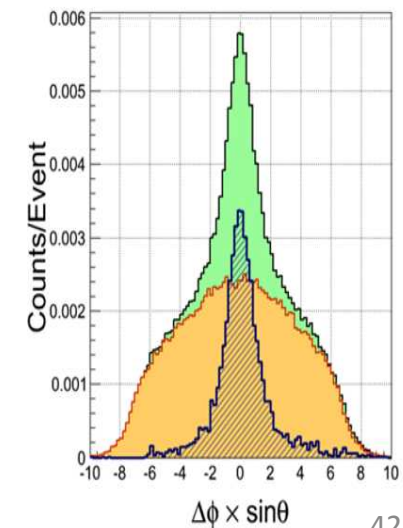
- Random matches



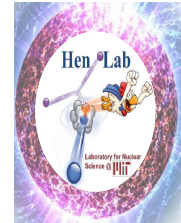
Ring Matching
Monte Carlo



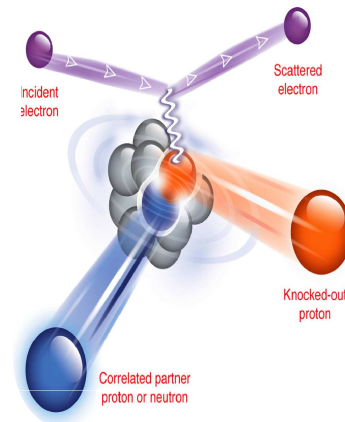
Data



Backward Neutron Detection (with R3B)



- o 5 walls of the neuLAND system
- o Forward TOF based on RPC prototypes developed for neuLAND.
- o Take advantage of HADES rate capability

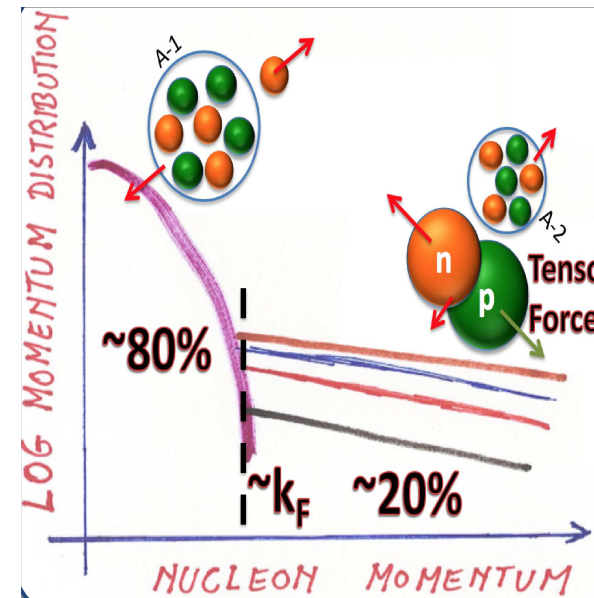
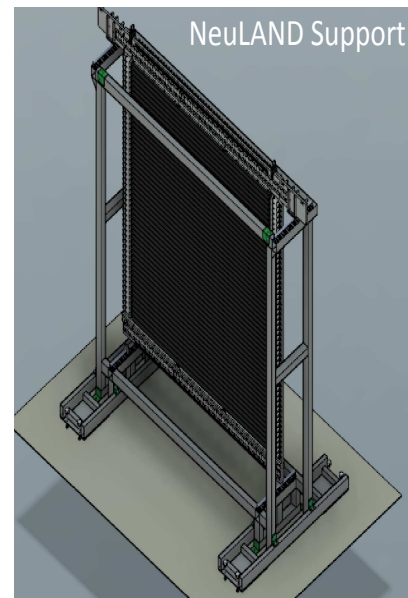
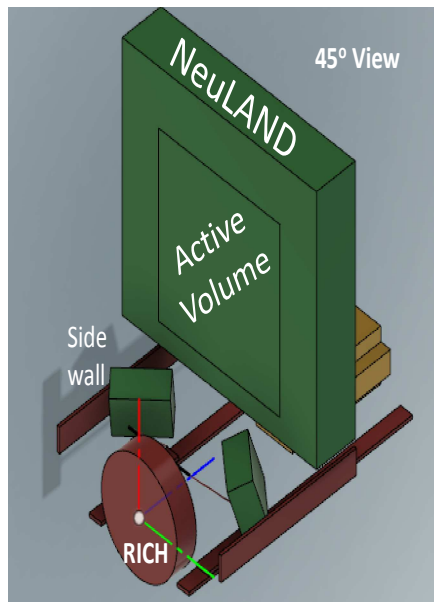


- o Proposed by Or Hen (MIT) and Eli Piasetzky (Tel Aviv Univ.)
- o Adds new physics to the HADES program.
- o Requires p+A collision at high rate.

R. Subedy et al., Science 320, 1476 (2008)

O. Hen et al., Science 346, 614 (2017)

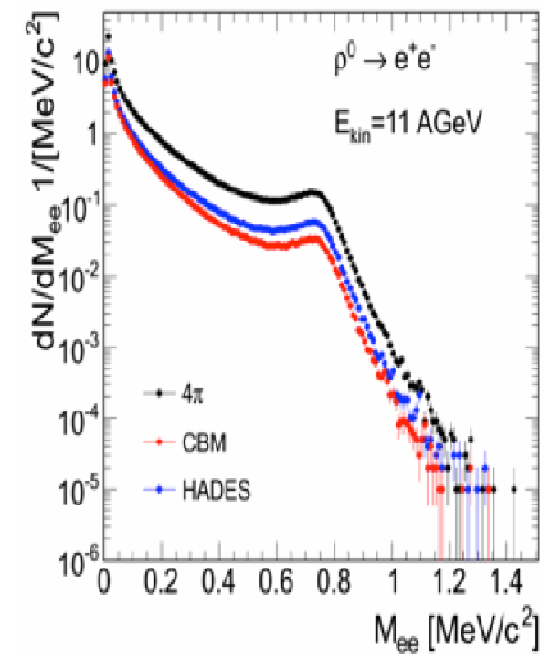
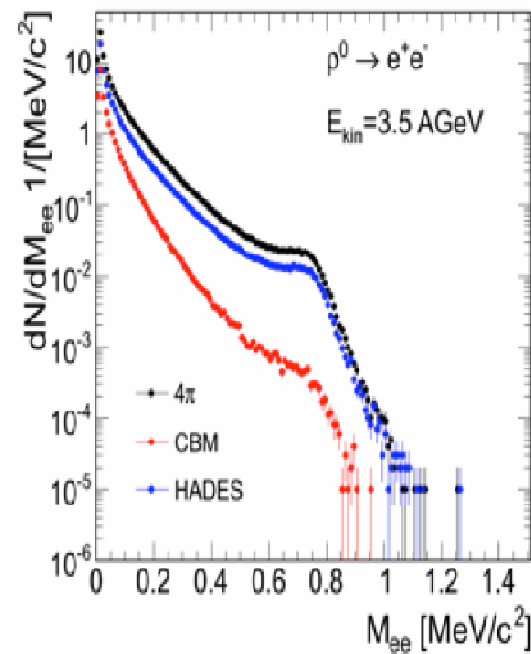
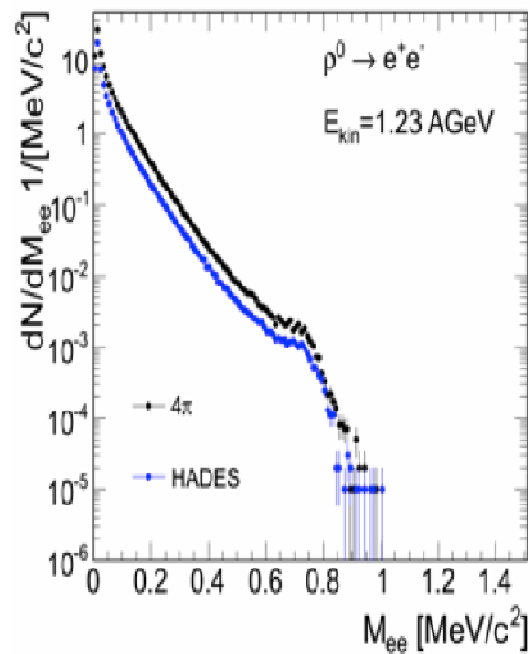
O. Hen et al., Rev. Mod. Phys. In-Print (2017)



$$\rho_0 \rightarrow e^+e^-$$

Dilepton invariant mass distribution in acceptance

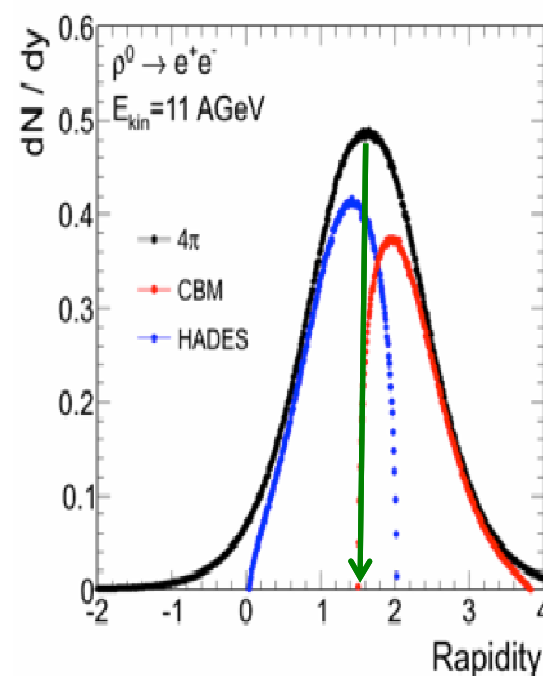
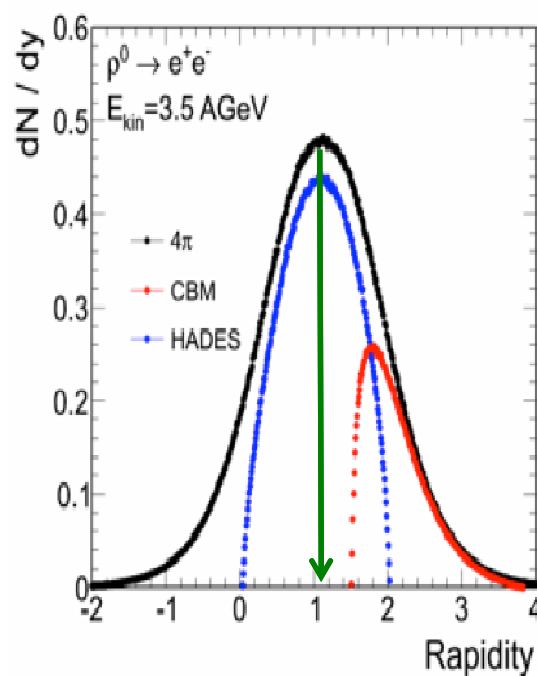
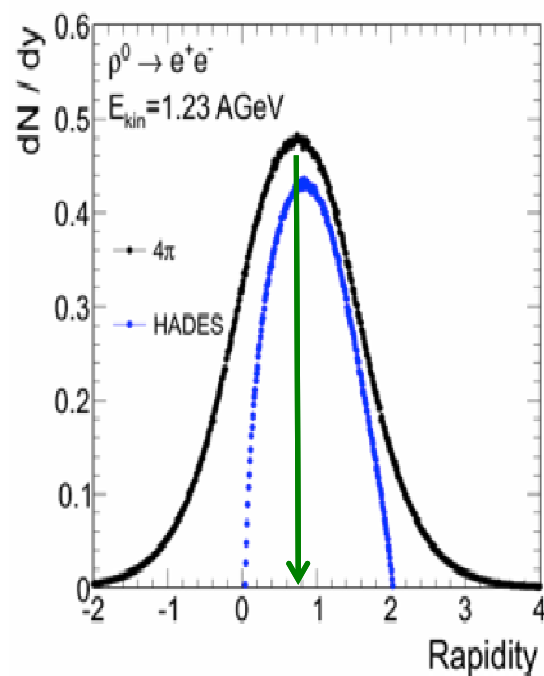
- ρ_0 spectral function w/o 2π threshold $\otimes$ VDM $\otimes$ Boltzmann phase space factor
- PLUTO – thermal source with different temperatures



$$\rho_0 \rightarrow e^+ e^-$$

Dilepton rapidity distribution in acceptance

- ρ_0 spectral function w/o 2π threshold $\otimes$ VDM $\otimes$ Boltzmann phase space factor
- PLUTO – thermal source with different temperatures
- Angular cuts only (arbitrary normalization)



Etudes de hadrons avec HADES et PANDA

PANDA: $\bar{p}p$

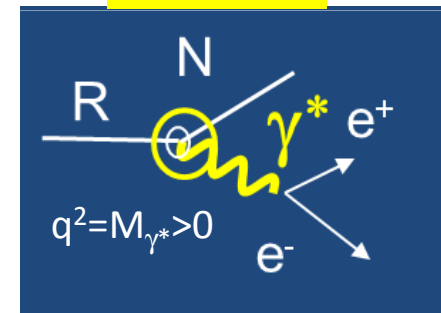
- ✓ Meson spectroscopy
 - D mesons
 - Charmonium
- ✓ New QCD states, glueballs, hybrids, tetraquarks, molecules,...
- ✓ Charmed and **multi-strange baryon** spectroscopy
- ✓ Single and double hypernuclei
- ✓ Hadrons in nuclear matter
- ✓ **Proton structure**

HADES: $pp/np/\pi p$

Etudes de résonances baryoniques :

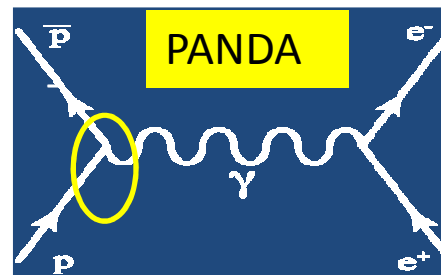
$N^*, \Delta, \Lambda, \Sigma$

HADES



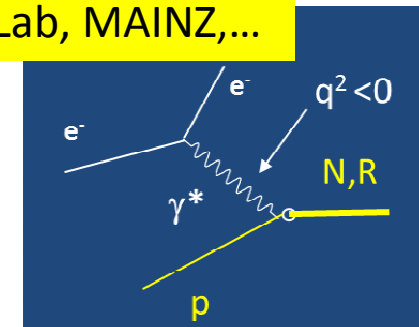
Dalitz decay

PANDA



B. Ramstein

JLab, MAINZ,...



46