



ENTRETIEN ANNUEL PROJET MORA

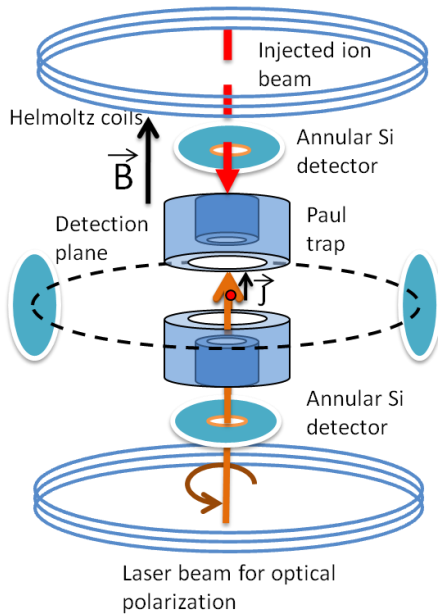


MORA: sonder l'origine de l'asymétrie par la mesure de la corrélation D dans la désintégration d'ions $^{23}\text{Mg}^+$ et $^{39}\text{Ca}^+$ piégés et polarisés

Corrélation
$$D \frac{\vec{J} \cdot (\vec{p}_e \times \vec{p}_\nu)}{J(E_e E_\nu)}$$

Techniques de pointes

- Production de faisceaux radioactifs intenses à 
- Refroidissement et piégeage d'ions développés au 
- Polarisation laser innovante



Projet financé **pour la partie équipement** par la Région Normandie **et pour les thèses, postdocs** par l'ANR



2022-2028: Tests de principe de la polarisation laser à JYFL et première mesure de D à JYFL, avec une intensité de ^{23}Mg réduite
2028-...: data taking à DESIR

ENTRETIEN ANNUEL PROJET MORA

Organisation du projet définie dans le cadre de l'ANR



Préparation des mesures et analyses:

Porteur du projet:



Coordinateur: P. Delahaye

Partenaire 1:



Coordinateur partenaire 1: L. Hayen
(succède à E. Liénard)

Sensibilité de la mesure à des modèles de nouvelle physique:

Partenaire 2:



Coordinateur partenaire 2: A. Falkowski

Partenaires étrangers



Hôte du projet
MORA pour
2020-2024

Contact persons
I. Moore et T. Eronen



Experts en
polarization laser
et tests du MS

Projet MORA - ANR

Équipes concernées 2020 - 2024

Responsables de tâches ou WP			m*m 2020-2024
WP1	Project management	P. Delahaye	(19)
WP1.1	Consortium organization	S. Lecerf	3
WP1.2	Dissemination	S. Lecerf (was M. Grar)	2
WP1.3	Technical management	Y. Merrer	12
WP2	Measurement preparation and data-taking	E. Liénard/ L. Hayen	12
WP2.1	Beam manipulation	X. Flécharde	10
WP2.2	Detection setup and acquisition	F. De Oliveira+ N. Goyal	10+36
WP2.3	Laser setup	S. Lecesne	4
WP2.x	Experiments at JYFL	S. Daumas-Tschopp	36
WP3	Analysis tools	P. Delahaye	19
WP3.1	Ion cooling and trapping simulations	G. Quemener + M. Benali	16+6
WP3.2	GEANT 4 simulations/ PENELOPE	A. Singh, L. M. Motilla	24+27
WP4	Theoretical studies	A. Falkowski	12
WP4.1	FSI and NP sensitivity studies	A. Rodriguez - Sanchez	18

+ J.F. Cam, C. Vandamme, P. Desrues, D. Etasse, V. Pestel + T. Roger, J. C. Thomas, R. Leroy, B. M. Retailleau

Période 2020 - 2024



108 m*m

Dont 36 PhD, 6+2 postdoc



136 m*m

Dont 58 PhD, 24 postdoc



30 m*m

Dont 18 postdoc

+ V. Bosquet LPC Caen 10/2024

PUBLICATIONS

DEPUIS 4 ANS	ANNÉE 2021	ANNÉE 2022	ANNÉE 2023	ANNÉE 2024
Nombre de publications: 5 (+3 en 2019 +1 en 2020)	2	1	1	1
Nombre de communications: 14 (+4 en 2019 + 1 en 2020)	5	5	3	2
Nombre de thèses soutenues: 0	-	-	2	-

Articles

Thèses Nishu Goyal (Mai) et Sacha Daumas Tschopp (Décembre)

- Delahaye, P., Liénard, E., Moore, I. et al., *The MORA project*, Hyperfine Interact (2019) 240: 63. <https://doi.org/10.1007/s10751-019-1611-x>
- Delahaye, P., *Analytical model of an ion cloud cooled by collisions*, Eur. Phys. J. A (2019) 55: 83. <https://doi.org/10.1140/epja/i2019-12740-4>
- Delahaye, P., Ban, G., Benali, M. et al., *The open LPC trap for precision measurements in beta decay*, Eur. Phys. J. A (2019) 55: 101. <https://doi.org/10.1140/epja/i2019-12777-3>
- Benali M., Quemener G., Delahaye P. et al, *Geometry optimisation of a transparent axisymmetric ion trap for the MORA project*, Eur. Phys. J. A (2020) 56: 163, <https://doi.org/10.1140/epja/s10050-020-00168-y>
- A. Falkowski, M. Gonzalez Alonso and O. Naviliat Cuncic, *Comprehensive analysis of beta decays within and beyond the Standard Model*, arXiv:2010.13797, JHEP04(2021)126, <https://doi.org/10.1007/JHEP04%282021%29126>
- A. Falkowski, M. González-Alonso, A. Palavrić, A. Rodríguez-Sánchez, *Constraints on subleading interactions in beta decay Lagrangian*, arXiv:2112.07688 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2112.07688>
- A. Falkowski, A. Rodríguez-Sánchez, *On the sensitivity of the D parameter to new physics*, arXiv:2207.02161, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.02161>
- N. Goyal et al., *detection of recoil ion in the beta decay of laser oriented trapped radioactive isotopes for the MORA project*, J. Phys:Conf. Ser. 2586 012142 (INPC 2022) <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2586/1/012142>
- **Under preparation:** *The MORA apparatus performances: testing time invariance in nuclear beta decays (2024)*

Communications – 2022/2024

- L. M. Motilla: Platan 2024 – Ganil colloquium 2023 – PhyNuBE 2023 Aussois
- P. Delahaye: EURORIB 2024 - Les Houches CP2023 - JYFL colloquium 2022
- S. Daumas-Tschopp: ISOL France 2022, Poster @ ARIS 2023
- N. Goyal – TCP2022 (& INPC), GDR InF annual meeting 2022
- A. Singh EMIS2022



+Workshops

- 28-29 Mars 2019: GANIL
- 9 Octobre 2020: Webinar
- 2-5 Mai 2022: JYFL

International MORA workshop = 40 participants

<https://indico.in2p3.fr/event/25986/>

Faits marquants 2021 - 2022

Off-line commissioning in LPC Caen
September 2021

^{23}Na trapped ions from alkali source



Installation in JYFL
November 2021 – injection line



Commissioning in JYFL
Mid February – off-line

^{23}Na trapped ions from cooler buncher



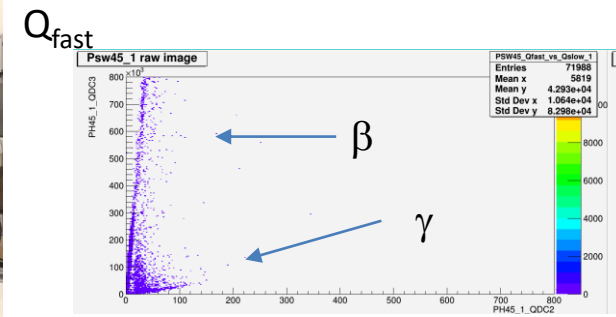
Shipping incident – trap chamber
to be repaired - October 2021



Installation in JYFL
January 2021 – trap and detectors



Commissioning in JYFL
18th - 20th February – on-line
27-31 May 2022 – on-line



Large involvement of LPC Caen technical resources

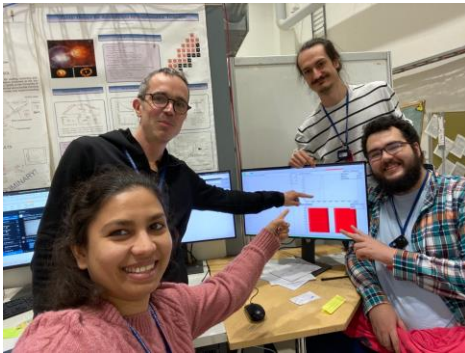
First ^{23}Mg β activity is recorded Q_{slow}

Faits marquants 2023 - 2024

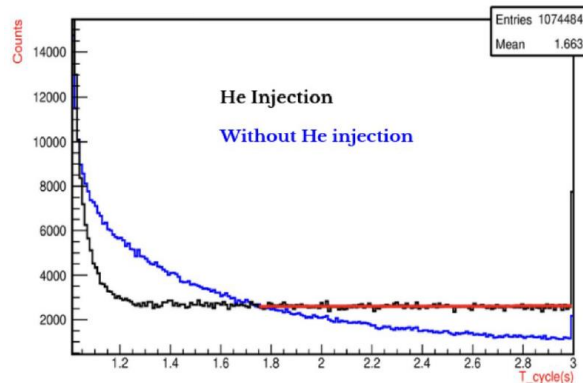
Contamination rend la mesure de polarisation difficile

$${}^{23}\text{Na}:{}^{23}\text{Mg} \gtrsim 1000$$

Piégeage des ions ${}^{23}\text{Na}$ ions pendant 11s



Evaporation des ions ${}^{23}\text{Na}$ piégés sur détecteurs d'ions de recul



Temps de piégeage ~4min

Happy students at Les Houches School

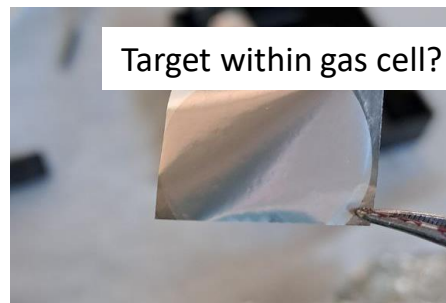
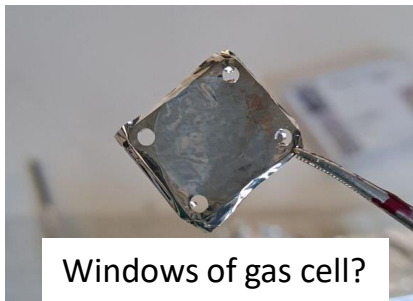
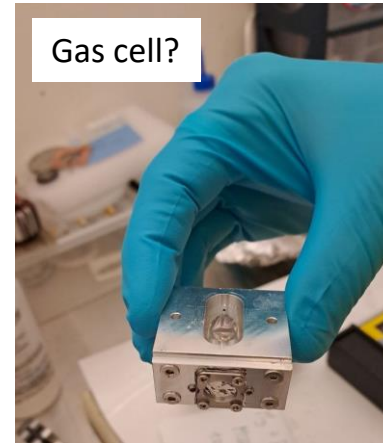
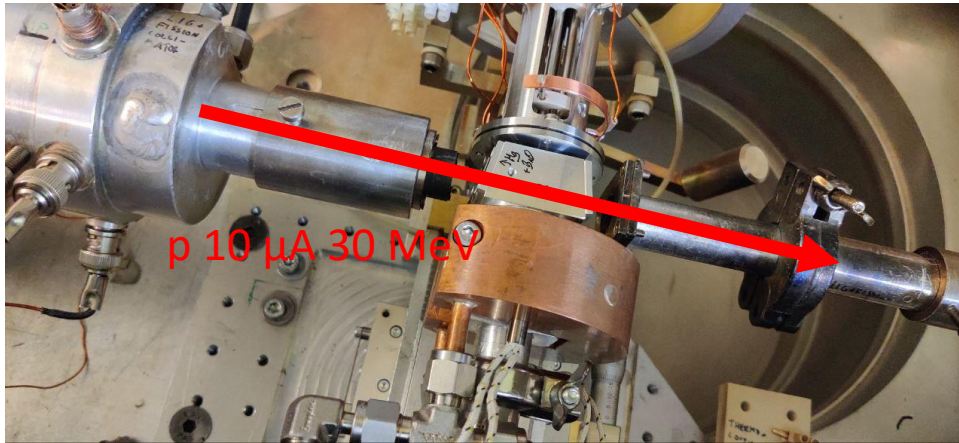


+ Platan24, EMIS23, TCP22

Tackling beam contamination issue

EURORIB 2024 (Mai)

Origin of the stable Na contamination?



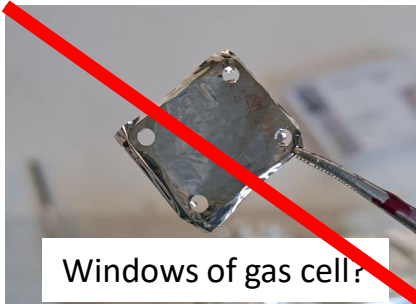
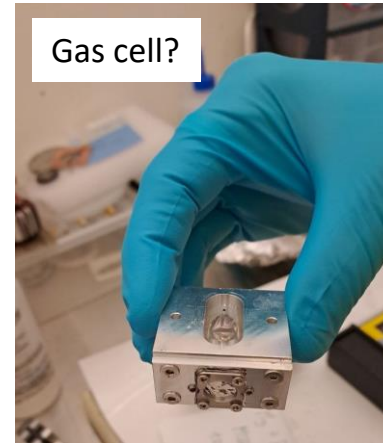
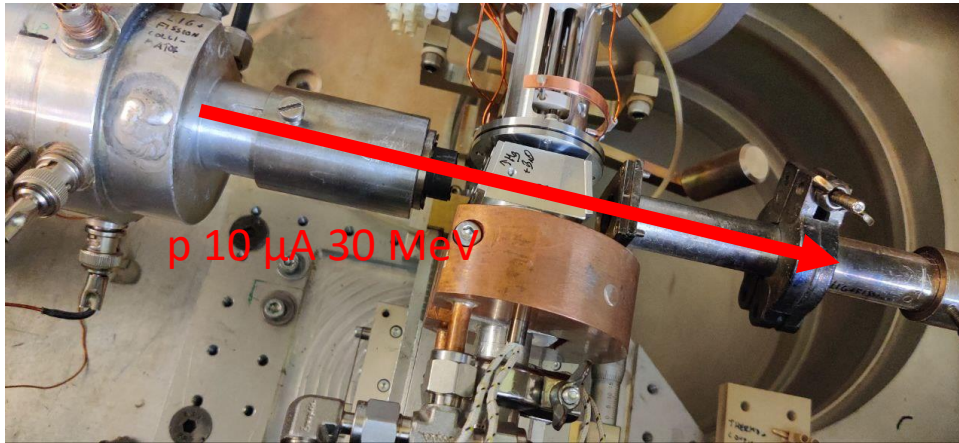
Na⁺ beam only appears with p beam on

- Efforts focused first on **targets** and **windows**
 - Baking Mg/MgO targets and windows to diffuse Na out
 - Coating with BaO to suppress surface ionisation
 - Exchanging Mg targets with ultra-pure Al targets
 - Removing targets! Only windows
- No improvement!**

Tackling beam contamination issue

EURORIB 2024 (Mai)

Origin of the stable Na contamination?



Na⁺ beam only appears with p beam on

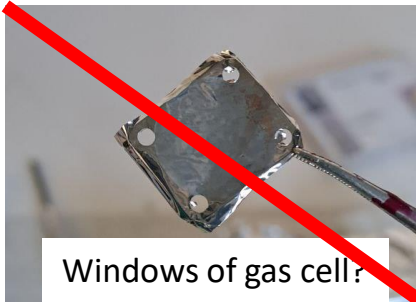
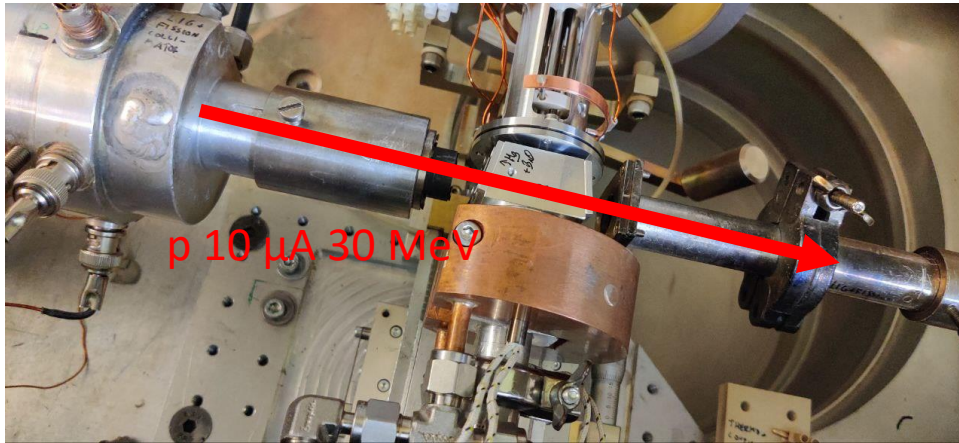
- Efforts focused first on targets and windows
- He gas was also discarded
 - But unpurified gas helps!!
 - Factor of **5 improvement** bypassing cold trap and zeolite filter

Misconception: **zeolite filter in cold trap**

Tackling beam contamination issue

EURORIB 2024 (Mai)

Origin of the stable Na contamination?



- Na⁺ beam only appears with p beam on
- Efforts focused first on targets and windows
 - He gas was also discarded
 - **Gas cell material is suspected**

**And an impurity in He gas reduces the contamination
x5 improvement, to be further optimized**

Misconception: **zeolite filter in cold trap**

Tackling beam contamination issue

Purifying ^{23}Mg beam

Bakable graphite gas cell



>1300°C for a few h



Ongoing online test 3rd – 5th June Luis Miguel and IGISOL team
+ beginning of run in July

Identifying the beam impurity that reduces Na



Mass flow controller



He+CF₄
He+Ar
He+Kr
SF₆
N₂
CO₂
...

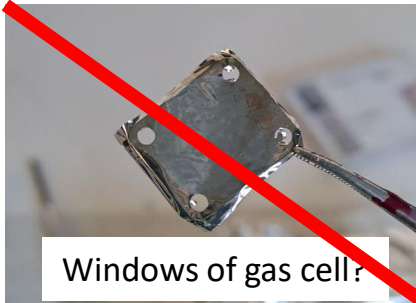
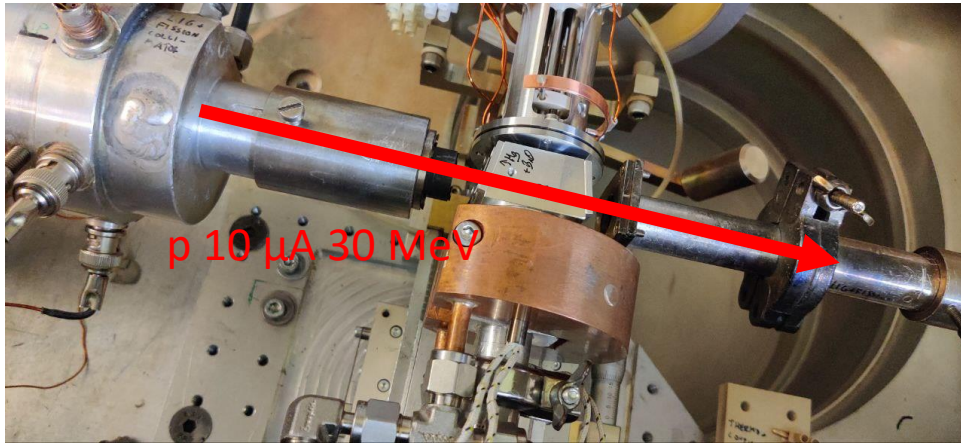
Also investigating formation of pure MgF⁺ beam

Not conclusive!

Tackling beam contamination issue

EURORIB 2024 (Mai)

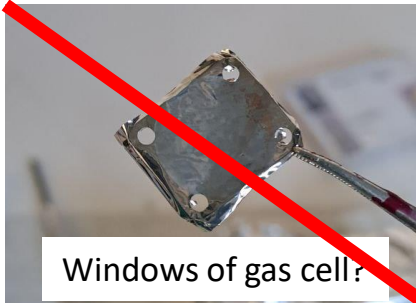
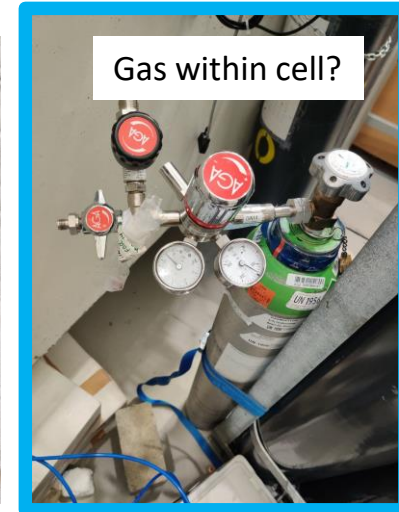
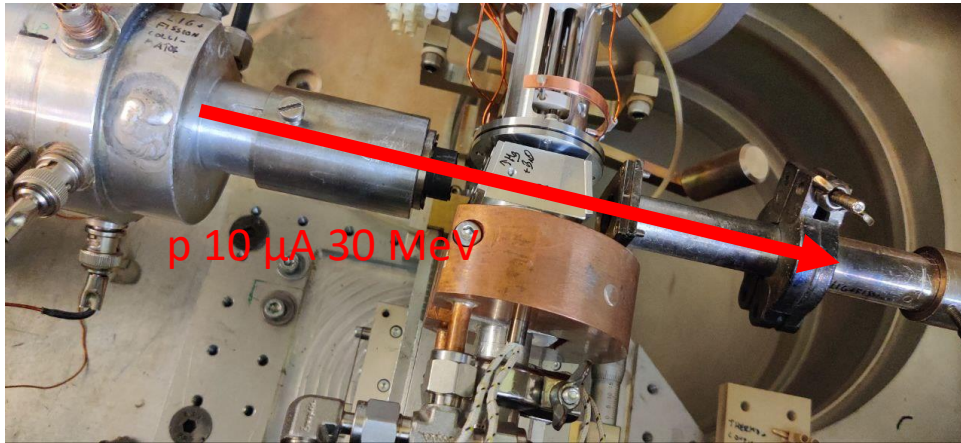
Origin of the stable Na contamination?



- Na⁺ beam only appears with p beam on
- Efforts focused first on targets and windows
 - He gas was also discarded
 - **Gas cell material also discarded**

Tackling beam contamination issue

Origin of the stable Na contamination?



- Na⁺ beam only appears with p beam on
- Efforts focused first on targets and windows
 - He gas was also discarded
 - **Gas cell material is also discarded**

We found out that the culprit was the **zeolite filter in cold trap**
13X sieve: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Experimental breakthrough

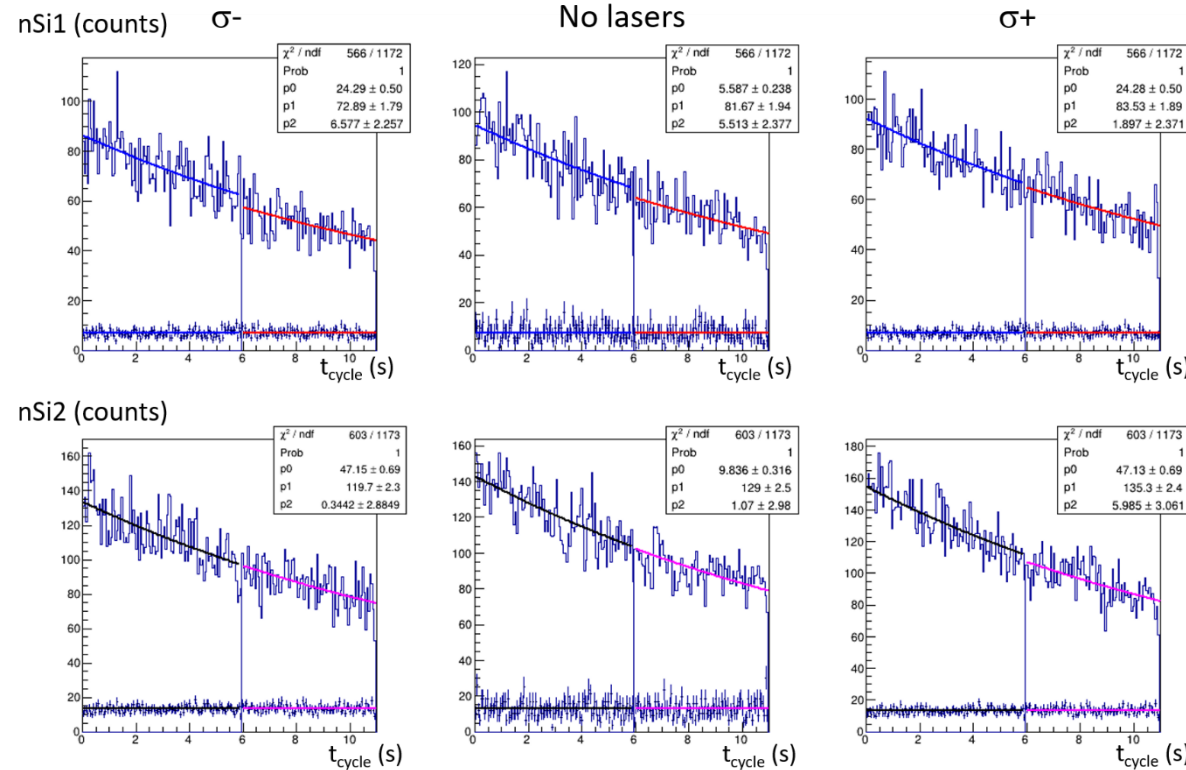
- By keeping the LN2 level of the cold trap as high as possible, we could reduce the contamination level by 10 ($^{23}\text{Na}:^{23}\text{Mg} \gtrsim 1000 \rightarrow 100$)
- We used a negative voltage on the entrance of the SPIG to reduce the effect of a gas discharge there $^{23}\text{Na}:^{23}\text{Mg} = 100 \rightarrow 10$
 - Very low rate of $^{23}\text{Mg}^+ < 5000$ pps
 - But first coincidences!
 - And first indication of polarisation!



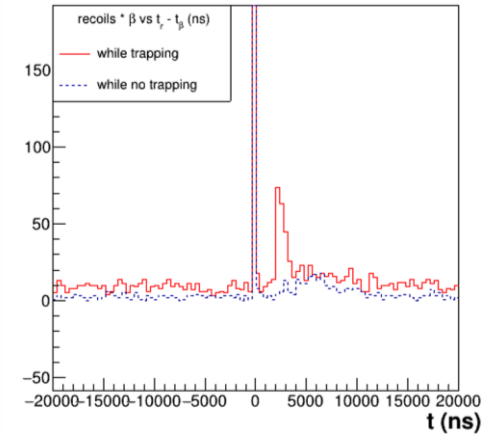
Experimental breakthrough

Si detectors to measure the polarisation

β -recoil coincidences



Number of coincidences



Trapped ions/cycle
 166 ± 66 from Si detectors
 182 ± 31 from coincidences

First indication of polarization

- Polarization σ^- : $A^- = \frac{nSi_1 - nSi_2}{nSi_1 + nSi_2} = 0.90 \pm 0.79$
- Polarization σ^+ : $A^+ = -0.52 \pm 0.49$
- Full polarization of the cloud (from simulations): $A^- = -A^+ = 0.51 \pm 0.01$

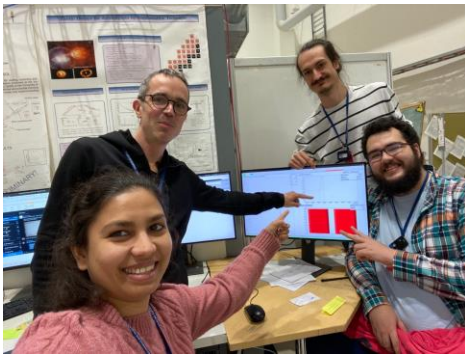
$A^- - A^+ = 1.42 \pm 0.93 > 0.51$
 We have reverted the polarization at 84%CL

Faits marquants 2023 - 2024

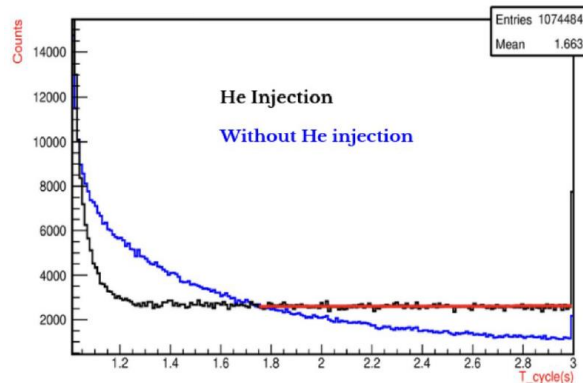
Contamination rend la mesure de polarisation difficile

$${}^{23}\text{Na}:{}^{23}\text{Mg} \gtrsim 1000$$

Piégeage des ions ${}^{23}\text{Na}$ pendant 11s



Evaporation des ions ${}^{23}\text{Na}$ piégés sur détecteurs d'ions de recul



Temps de piégeage ~4min

Happy students at Les Houches School



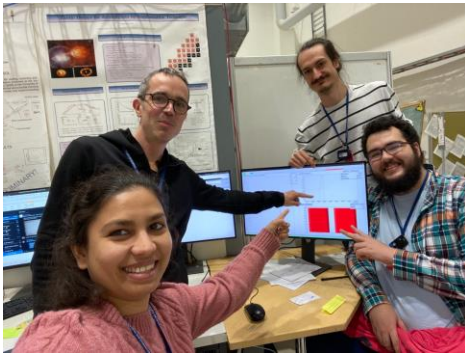
+ Platan24, EMIS23, TCP22

Faits marquants 2023 - 2024

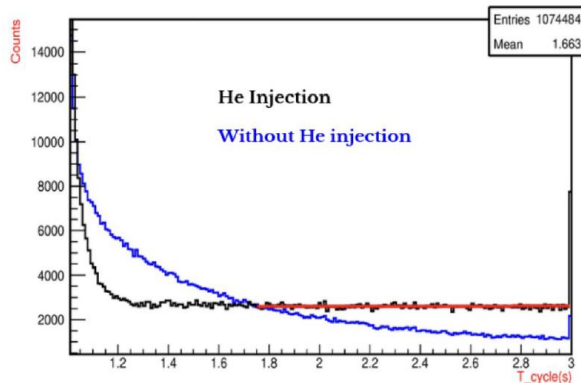
Contamination rend la mesure de polarisation difficile

$${}^{23}\text{Na}:{}^{23}\text{Mg} \gtrsim 1000$$

Piégeage des ions ${}^{23}\text{Na}$ ions pendant 11s



Evaporation des ions ${}^{23}\text{Na}$ piégés sur détecteurs d'ions de recul



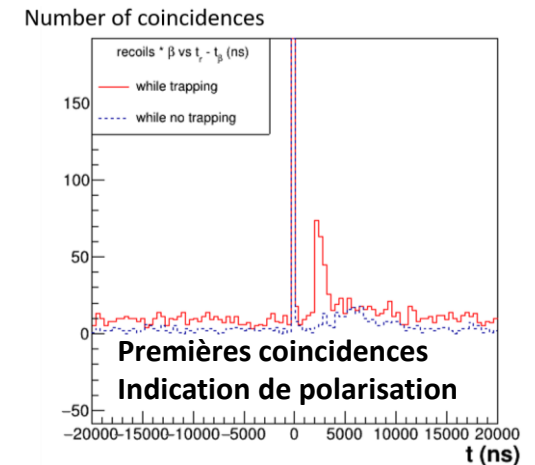
Temps de piégeage ~4min

Happy students at Les Houches School

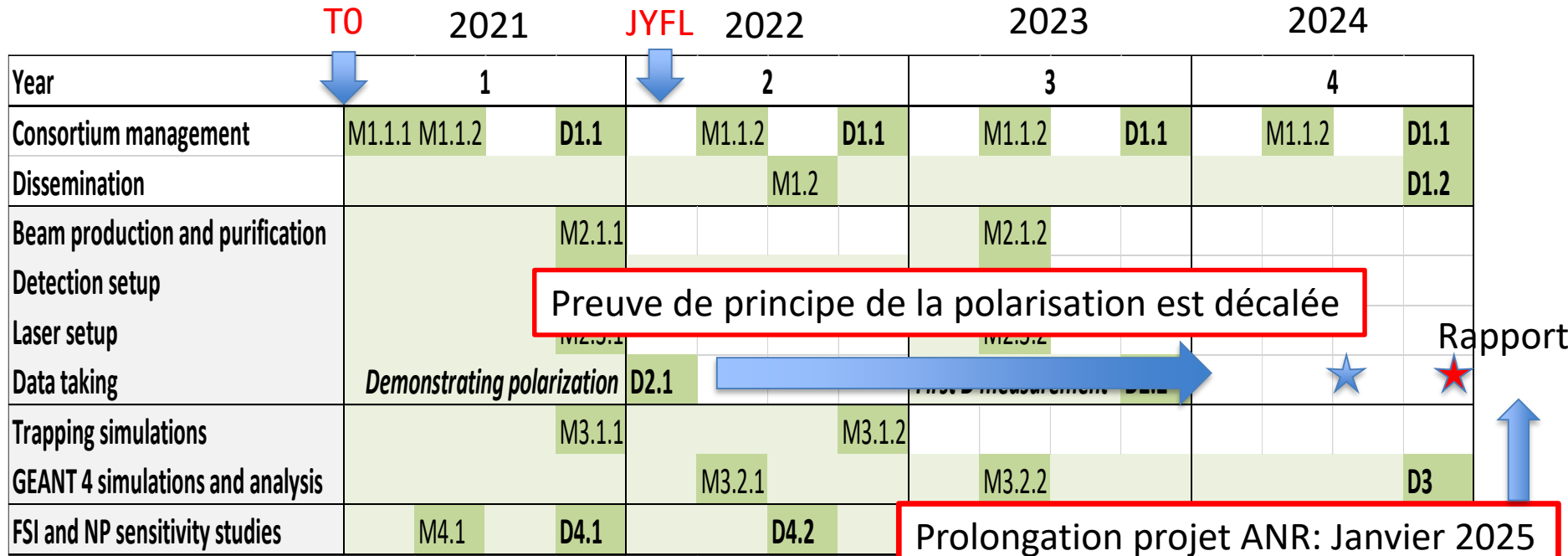


+ Platan24, EMIS23, TCP22

Origine de la contamination



JALONS



M1.1.1	Creation of a collaboration web site
M1.1.2	Mid-term progress report
D1.1	Scientific and financial annual report to ANR
M1.2	Construction of a Paul trap demonstrator for "Fête de la science"
D1.2	Report on participation to annual scientific dissemination events ("Fête de la science" and/or others)
M2.1.1	Pure beams for polarization test
M2.1.2	Pure beams for first D measurement
M2.2.1	Detection setup ready for polarization test
M2.2.2	Detection setup ready for first D correlation measurement
M2.3.1	Laser setup ready for polarization test
M2.3.2	Laser setup ready for first D correlation measurement
D2.1	Polarization test done
D2.2	First D measurement done

M3.1.1	Fully modelled ion cloud
M3.1.2	Analysis of systematic effects related to cloud
M3.2.1	Detection + ion cloud in GEANT 4
M3.2.2	Systematic study on errors
D3	Report on first analysis
M4.1	Characterization of nuclear beta decays beyond the leading order in the effective field theory expansion
D4.1	Computer code summarizing all experimental constraints on the EFT Wilson coefficient relevant for nuclear beta decay.
D4.2	Classification of models of CP violation, where MORA offers comparable or superior sensitivity with respect to other experiments.
D4.3	New improved calculation of final-state interactions contribution to the D parameter in beta decays

Utilisation budget année N

Dotation : Région Avril 2018 – Juillet 2020

315k€ (GANIL) + 317k€ (LPC Caen): 632 k€



Dotation : ANR Janvier 2020 – Juin 2024

149k€ (GANIL) + 169k€ (LPC Caen) + 120k€(IJCLab Orsay): 439 k€



Partner	Manpower (k€)	Equipment (k€)	Travel (k€)	Environment (k€)	Total (k€)
GANIL-SPIRAL 2	113,28	12,5	12,5	11,06	149,34
LPC Caen	116,38	15	25	12,51	168,89
IJCLab	106,488	0	5	8,92	120,41
				Total	438,64

GANIL-SP2: Postdoc 2 ans + sextupole pour JYFL 8k€
Abhilasha Singh + démonstrateur Paul Trap 2k€

LPC Caen: PhD Student 3 ans + ampli RF pour JYFL 15k€
Sacha Daumas-Tschopp

IJCLab: Postdoc (sénior) 18 mois
Antonio Rodriguez - Sanchez

Ensemble du budget engagé

Budget pluri-annuel

2024: Budget fonctionnement 10k€

- Cibles ~1k€

- Composants nouveau pièges froids ~9k€

	2024	2025	2026	2027
Investissement	-	-	-	-
Fonctionnement	10 (10 GANIL)	10 (10 GANIL)	10 (10 GANIL)	10 (10 GANIL)
Missions	23,5(10 GANIL)	23,5 (10 GANIL)	20 (10 GANIL)	20 (10 GANIL)

10k€/ans demandés pour la détection/ électronique et maintenance du setup pendant la période à JYFL (fait partie du **PSG GANIL**)

23,5 k€/ans demandés pour missions à JYFL au GANIL et LPC

- Plus de complément ANR – Mais complément accord bilatéral ACCLAB/GANIL
- Luis Miguel en cotutelle à l'université Jyväskylä
 - Sous contrat Université de Caen jusqu'en 2025 → missions couvertes par GANIL
 - 2025-2026 sous contrat université de Jyväskylä

2028: retour au GANIL/DESIR 10k€ transport + 10k€ installation

Recommandations du CS IN2P3

Recommendations

- The scientific council recommends the team to evaluate carefully the possible show-stoppers and to clarify the breakdown structure and plan of the project at the University of Jyväskylä.



- **La source principale de la contamination du faisceau est identifiée**
 - les mesures peuvent commencer
 - L'équipe de IGISOL s'active pour remplacer le piège froid
 - Et participe à régler un problème de synchronisation du PDT (piégeage x5)
- **La thèse en cotutelle de Luis Miguel fait participer l'équipe de IGISOL localement**
 - Dans le hall de IGISOL: Luis Miguel, Zhuang Ge, Bryan Kootte et Sai Kumar **aussi en cotutelle** sont opérationnels sur MORA → déplacement réduit de personnel de Caen depuis GANIL et LPC
 - Tommi Eronen et Iain Moore en supervision locale de l'équipe d'IGISOL
 - MORA bénéficie de soutien mécanique électronique etc mis à disposition par l'université de Jyväskylä
- Demande de faisceau prolongée dans **1 addendum** soumis au PAC le **15 Sept. 2024** qui sera suivi d'un autre **15 Sept. 2025**
 - Chaque isotope ~6 semaines de data taking

Recommendations du CS IN2P3

- Regarding the next step at DESIR, namely the measurement for ^{39}Ca , the scientific council recommends the realization of a detailed study in a timely manner of the various requirements including the financial aspects, and in coordination with the management of IN2P3.

- **^{39}Ca est l'isotope idéal pour compléter la mesure avec ^{23}Mg , à JYFL et GANIL/DESIR**
 - **Demande de projet ANR: ACCLAIM_MORA**

Isotope / Installation	ions piégés/cycle	Temps d'acquisition	Incertitude s_D
IGISOL / ^{23}Mg	$2 \cdot 10^4$	32 d	$5 \cdot 10^{-4}$
IGISOL / ^{39}Ca	$2 \cdot 10^4$	32d	$1.5 \cdot 10^{-4}$
DESIR / ^{23}Mg	$5 \cdot 10^6$	24 d	$4 \cdot 10^{-5}$
DESIR / ^{39}Ca	$5 \cdot 10^6$	24 d	$1 \cdot 10^{-5}$

Falkowski, A., Rodríguez-Sánchez, A. On the sensitivity of the D parameter to new physics. *Eur. Phys. J. C* **82**, 1134 (2022). <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-11085-3>

Jyväskylä/IGISOL 10^{-4}

- Contraindre les constantes de couplage de l'Hamiltonien de la désintégration β nucléaire
 - Contrainte actuelle: $2 \cdot 10^{-4}$ depuis la désintégration du neutron

GANIL/DESIR 10^{-5}

- Compléter nEDM pour la recherche de Nouvelle Physique
- $^{39}\text{Ca}^+$ et $^{23}\text{Mg}^+$ requis pour distinguer la Nouvelle Physique des corrections radiatives (Final State Interaction effects)

Projet ACCLAIM_MORA

AdvanCed CaLcium radioActive Isotope Manipulation for MORA

Défis à relever pour $^{39}\text{Ca}^+$

- Polarisation plus complexe que $^{23}\text{Mg}^+$
 - 2 lasers IR + Visible pour $^{39}\text{Ca}^+$ vs 1 laser UV pour $^{23}\text{Mg}^+$
- Pureté du faisceau à améliorer à Jyväskylä
 - Situation uniquement éclaircie avec $^{23}\text{Mg}^+$, rapport $^{39}\text{K}^+ : ^{39}\text{Ca}^+ > 1000$
- Production à $\sim 10^7$ pps sur SPIRAL 1 pour DESIR est complexe
 - Faisceau réactif et court temps de vie – aucun Ca extrait des cibles actuelles
 - Bunching des ions 10^7 /paquet en moins d'1 μs est aussi un défi - nécessite une étude
- Contrôle accru des effets systématiques pour $^{39}\text{Ca}^+$
 - Polarisation transverse comme source principale d'effets systématiques



PI: Pierre Delahaye



L. Hayen



T. Eronen

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ



R. De Groot

Techniques avancées de manipulation des ions proposées dans ACCLAIM

	Production	Purification	Bunching	Polarisation	Analyse
	1 PhD à SPIRAL 1 Design et test d'1 ECS dédié			Optique de polarisation transverse (50 k€)	Postdoc 24m pour la réduction des effets systématiques
		Buffer trap (150k€) pour séparation par tof à Jyväskylä	Section buncher sur le RFQ MORA à DESIR (70k€)		
		Participe au design et à la construction*			
				Participe au design	

(*:étudiants + atelier mécanique)

+40k€ missions



+



Time scale ANR project

Task	Year 1 (25/26)	Year 2	Year 3	Year 4
Production of $^{39}\text{Ca}^+$ for DESIR	Development of SPIRAL 1 target ion source and tests			Beam delivered (?)
Buffer trap for purifying beams at JYFL	Development	Commissioning	Data taking	
Buncher section for DESIR RFQ	Development		Commissioning	Operational @ DESIR
Optics to manipulate polarization	Design & purchase	Commissioning	Systematic studies	
Analysis of data		Postdoc	Postdoc
				Report on sensitivity



28/29 Moving to DESIR

Recommandations du CS IN2P3

- Regarding the next step at DESIR, namely the measurement for ^{39}Ca , the scientific council recommends the realization of a detailed study in a timely manner of the various requirements including the financial aspects, and in coordination with the management of IN2P3.



- **^{39}Ca est l'isotope idéal pour compléter la mesure avec ^{23}Mg , à JYFL et GANIL/DESIR**
 - **Demande de projet ANR: ACCLAIM_MORA**
- **Ressources nécessaires à DESIR hors projet ANR**
 - Financement **laser de pompe + cavités Ti:Sa** pour MORA demandé dans le cadre de l'accord GSI/FAIR –GANIL
 - Demande de support récurrent du groupe FINDS (pas seulement MORA) pour **l'exploitation de DESIR (2028-...)**
 - 1 IR/CR Spectroscopie laser
 - 1 IR/CR piégeage d'ions
 - Compétences peuvent être mutualisées avec S3-LEB