

Projet SP2 - DESIR

Séminaire technique DESIR

MORA

5 Février 2026

-
- 1 – MORA – présentation succincte**
 - 2 – MORA – installation à DESIR**
 - 3 – MORA - lasers**

-
- 1 – MORA – présentation succincte**
 - 2 – MORA – installation à DESIR**
 - 3 – MORA - lasers**

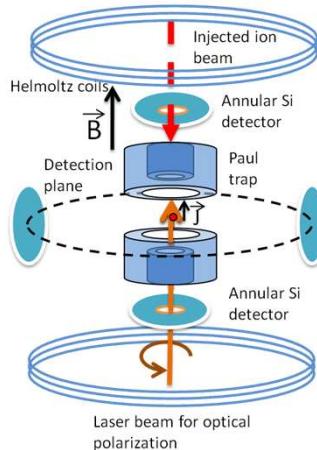
Matter's Origin from RadioActivity



THE MORA EXPERIMENT
Matter's Origin from RadioActivity

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

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



Techniques de pointes

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




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

+ 1 thèse Université de Caen + 1 thèse région en cours

MORA PI: P. Delahaye

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

2028/29-....: data taking à DESIR

Partenaires étrangers:



Université de
Jyväskylä
hôte actuel de MORA

+



Expert en
polarisation laser

Matter's Origin from RadioActivity



THE MORA EXPERIMENT
Matter's Origin from RadioActivity

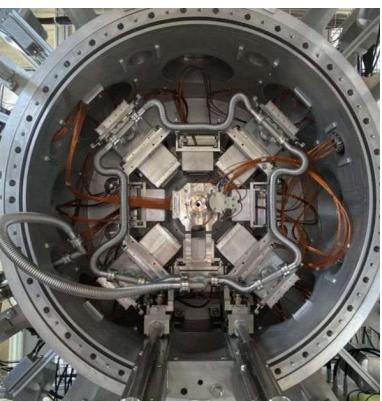
MORA: sonder l'origine de l'asymétrie matière - antimatière par la mesure de la corrélation D dans la désintégration d'ions $^{23}\text{Mg}^+$ et $^{39}\text{Ca}^+$ piégés et polarisés

Fait marquant IN2P3: démonstration de la technique de polarisation laser dans le piège

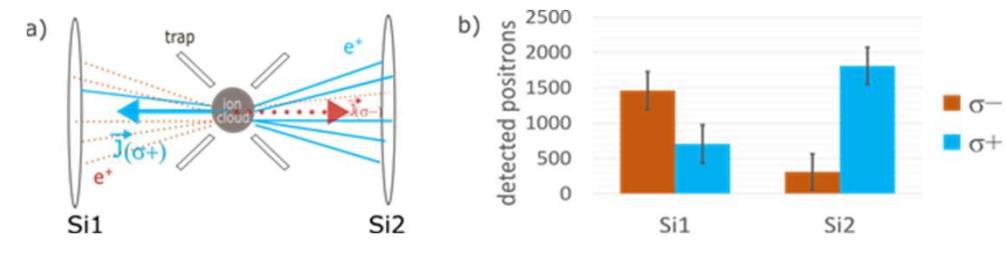
GANIL

Première mesure du degré de polarisation d'ions radioactifs avec l'expérience MORA

ceesnrs



Mesure d'une asymétrie compatible avec $55\% < P < 100\%$ à un niveau de confiance de 90%



Goyal et al., "Performance of the MORA apparatus for testing time-reversal invariance in nuclear beta decay," Eur. Phys. J. A 61 (10), 221 (2025) - DOI: 10.1140/epja/s10050-025-01694-3

Jalon important qui ouvre la voie aux mesures sensibles à la violation de CP

Avec les progrès significatifs réalisés en Juillet sur la pureté du faisceau $^{23}\text{Mg}^+$

Matter's Origin from RadioActivity



THE MORA EXPERIMENT
Matter's Origin from RadioActivity

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

Nouveau projet ANR accepté

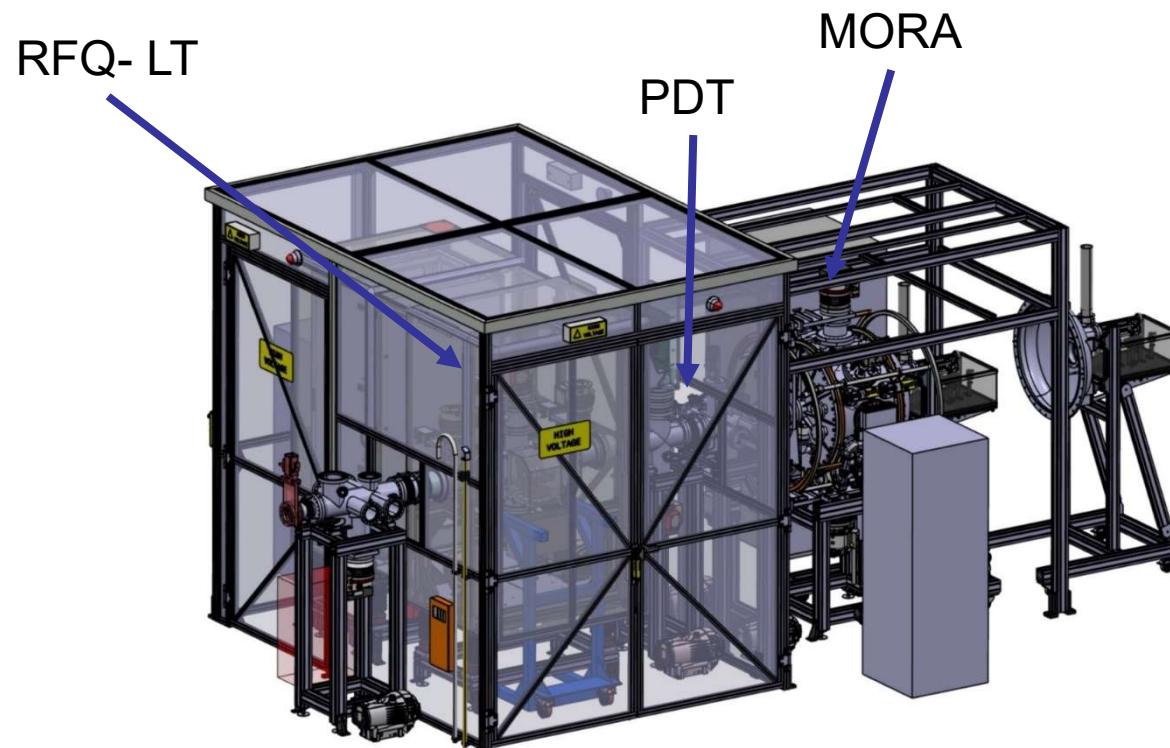
ACCLAIM_MORA - AdvanCed CaLcium radioActive Isotope Manipulation for MORA

2026 – 2029 **686k€** Techniques avancées de manipulation des ions $^{23}\text{Mg}^+$ et $^{39}\text{Ca}^+$

	Production	Purification	Bunching	Polarisation	Analyse
GANIL	1 PhD à SPIRAL 1 Design et test d'un ECS dédié à ^{39}Ca			Optique de polarisation transverse (50 k€)	1 Postdoc 24m pour la réduction des effets systématiques
LPC CAEN		Buffer trap (150k€) achats composants	Section buncher sur le RFQ MORA à DESIR (70k€)		
JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ		Design, construction et test avec MR-ToF		Implémentation lasers pour ^{39}Ca	
KU LEUVEN NUCLEAR AND RADIATION PHYSICS		Support technique design/construction		Aide au design polarisation transverse	+40k€ missions GANIL (25) & LPC Caen (15)

-
- 1 – MORA – présentation succincte**
 - 2 – MORA – installation à DESIR**
 - 3 – MORA - lasers**

- MORA aura son propre cooler – buncher
 - Avantage: la proximité pour un meilleur contrôle du focus en temps au niveau du piège
 - Rq: à IGISOL emploi possible du MR ToF MS
 - Requis: paquet ~ 200 ns FWHM ($<1\mu s$) avec $\sim 10^7$ ions, $\sigma_E < \sim 10$ eV
 - Plans en cours de finalisation au LPC Caen, travail de postdoc pour simulation et test



- Rq: PDT
- Alim séparée?
 - Ou Alim sur plateforme du RFQ-LT?

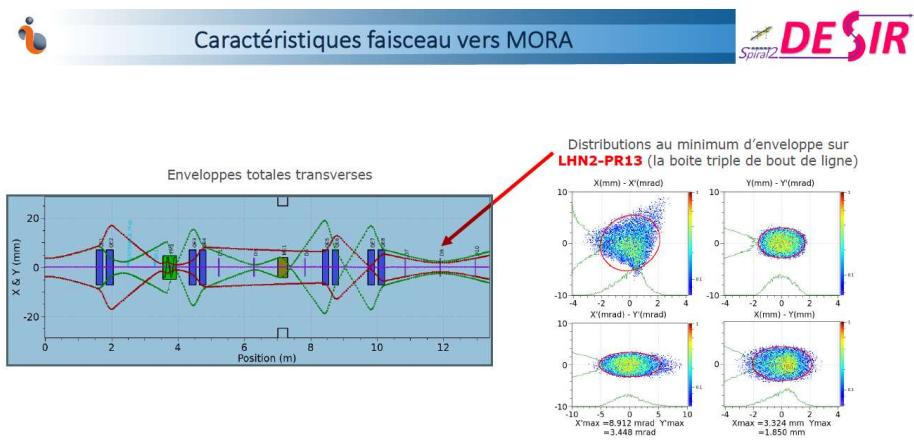
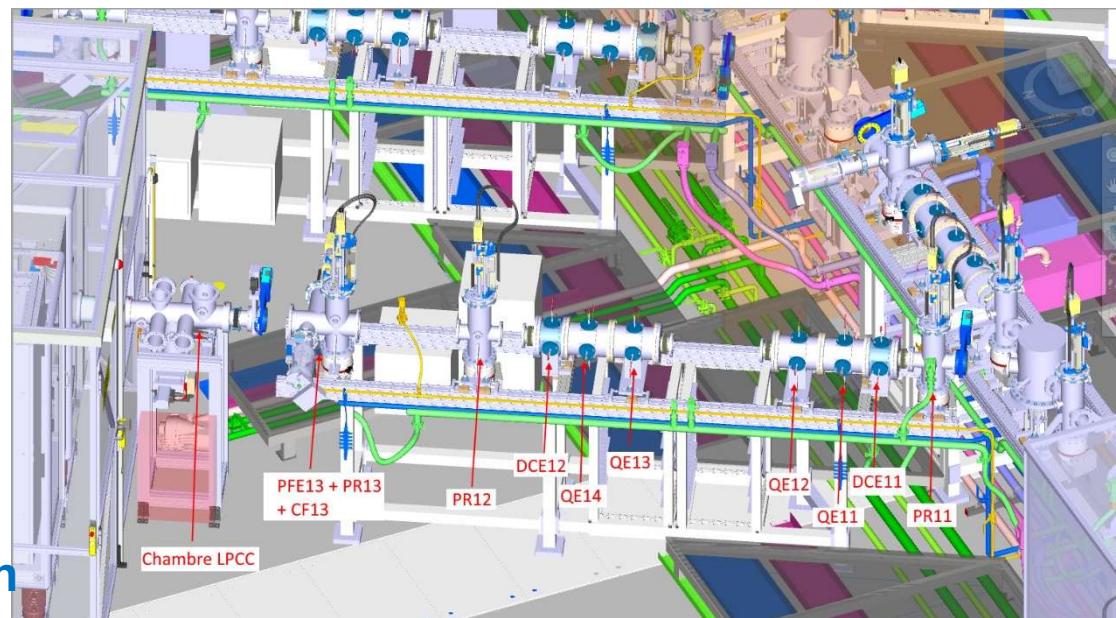
Y. Merrer



- Injection dans MORA

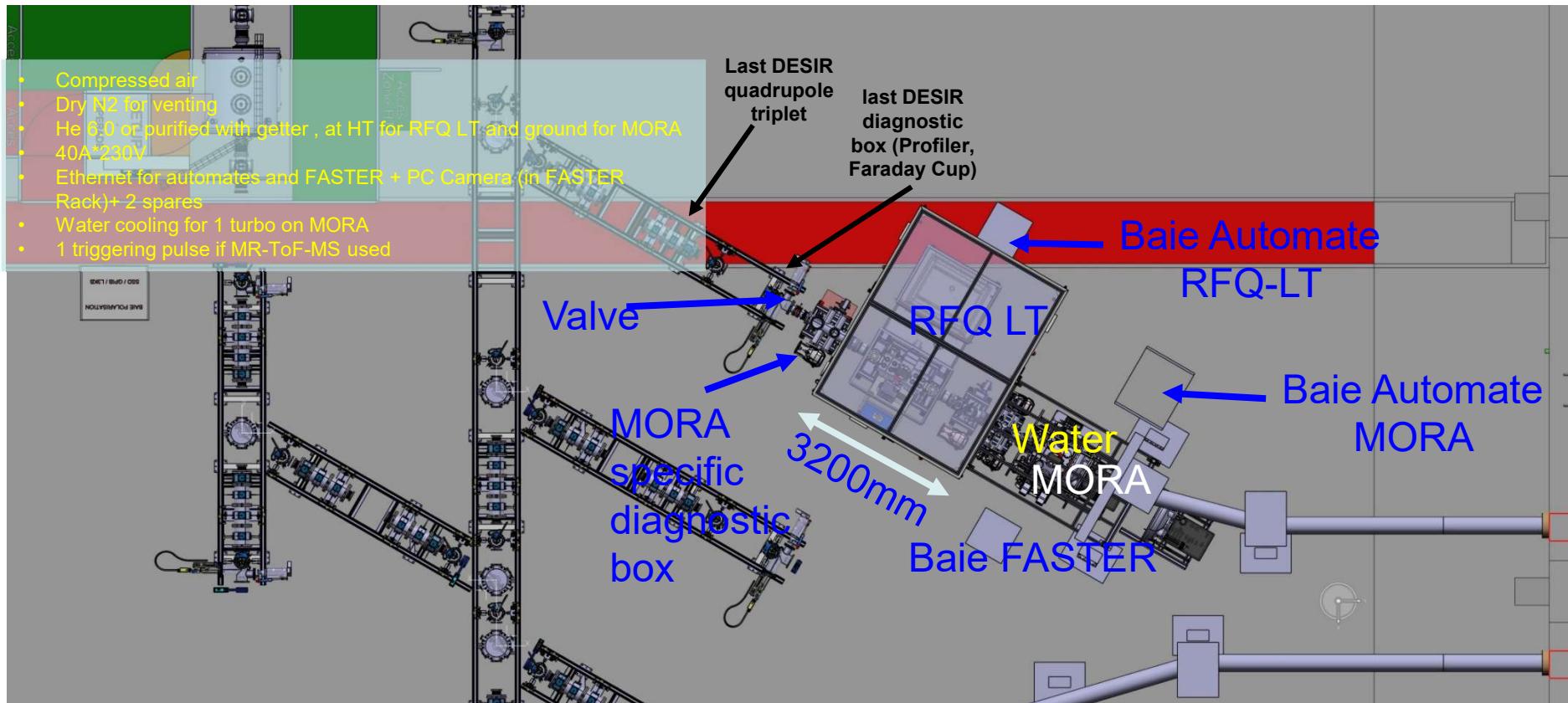
Clément Michel, GANIL

De droite à gauche:
 2 profileurs, PR11 & 13
 Chambre diagnostique du LPCC
3m sans élément de focalisation



Calculs optiques Luc Perrot, IJCLab

**Faisceau parallèle et circulaire est-il possible à l'entrée du cooler?
 Quelle taille?**





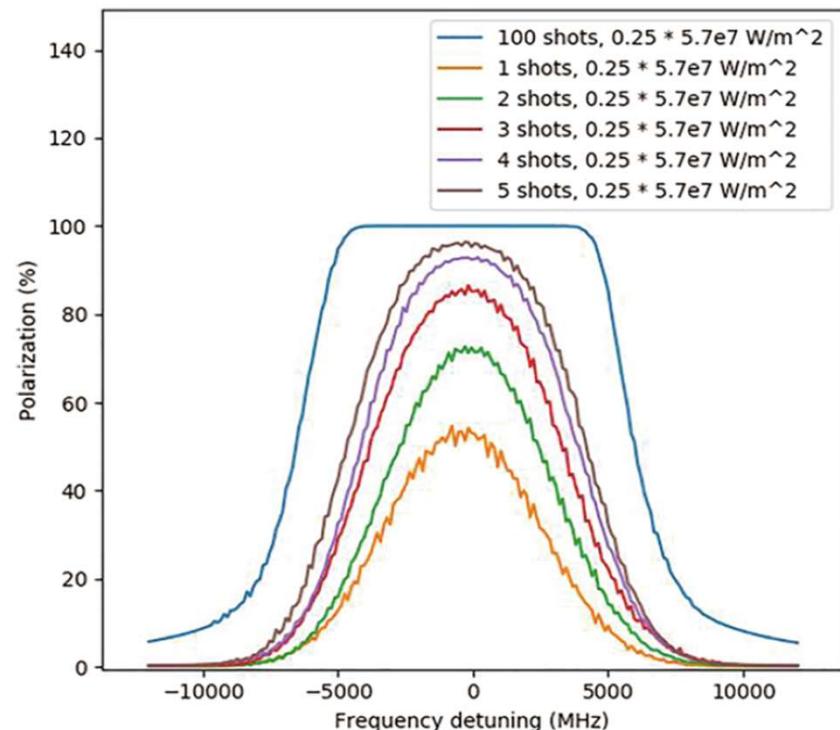
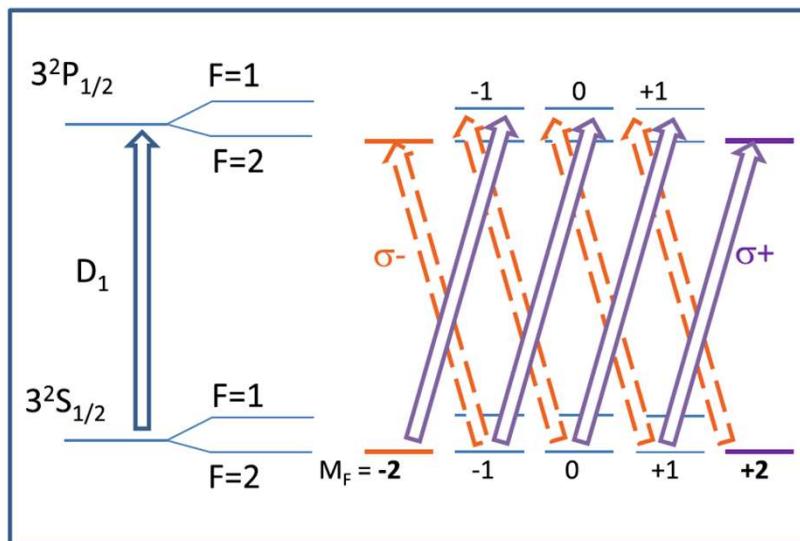
Autres remarques

- **Source d'ions de référence:**
 - Idéalement
 - ions $^{23}\text{Na}^+$ + $^{39}\text{K}^+$ à 20/30 keV à 1 – 10 pA
 - Pour réglage du piégeage
 - $^{24}\text{Mg}^+$ + $^{40}\text{Ca}^+$ à 20/30 keV à 1 – 10 pA
 - pour tests de polarisation et imagerie du nuage
- **En aval de PIPERADE / MR ToF MS**
 - Pas forcément utile du fait du HRS
 - HRS option privilégiée
 - Mais un développement de retrapping sera développé à Jyväskylä
 - Performances vs charge d'espace sera explorée dans ACCLAIM MORA

- 1 – MORA – présentation succincte**
- 2 – MORA – installation à DESIR**
- 3 – MORA - lasers**

➤ $^{23}\text{Mg}^+$

D1 hyperfine transition for polarization:
~280nm

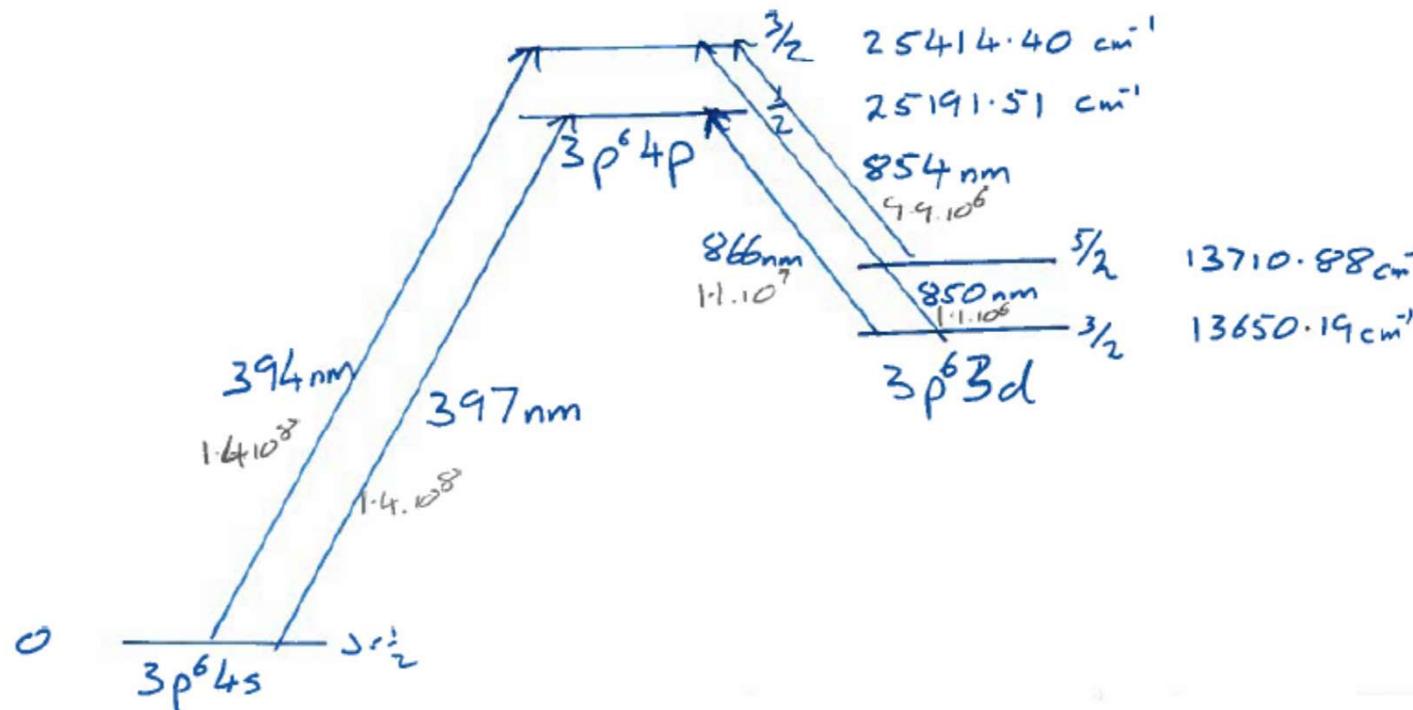


- Broadband 50mW @ 280nm, 10kHz
- Ø 3mm
- Polarization efficiency:
99% after 10ms

Courtesy R. de Groote

➤ $^{39}\text{Ca}^+$

2 transitions for polarization:
 ~397nm & ~866nm



Courtesy M. Pearson

Laser system for ^{23}Mg (280nm)

- 1x40W pump laser
- 1 Tunable TiSa Cavity with intracavity doubling (840nm + 420nm)
- Extra cavity tripling (280nm)
- 1 Wavemeter
- 2 Powermeters
- Laser beam transport lines
- Laser beam polarization line

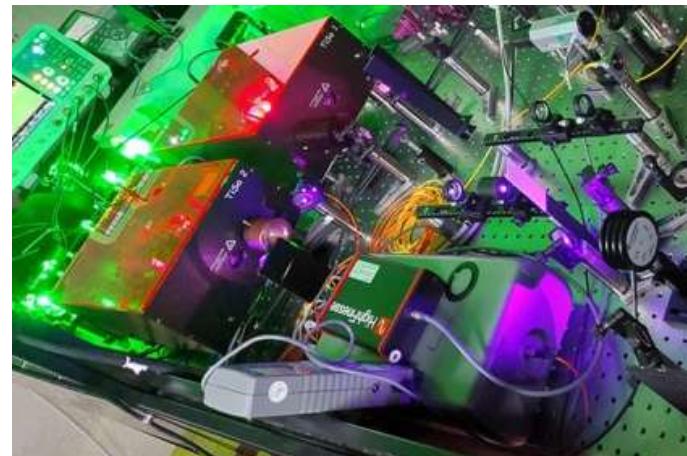


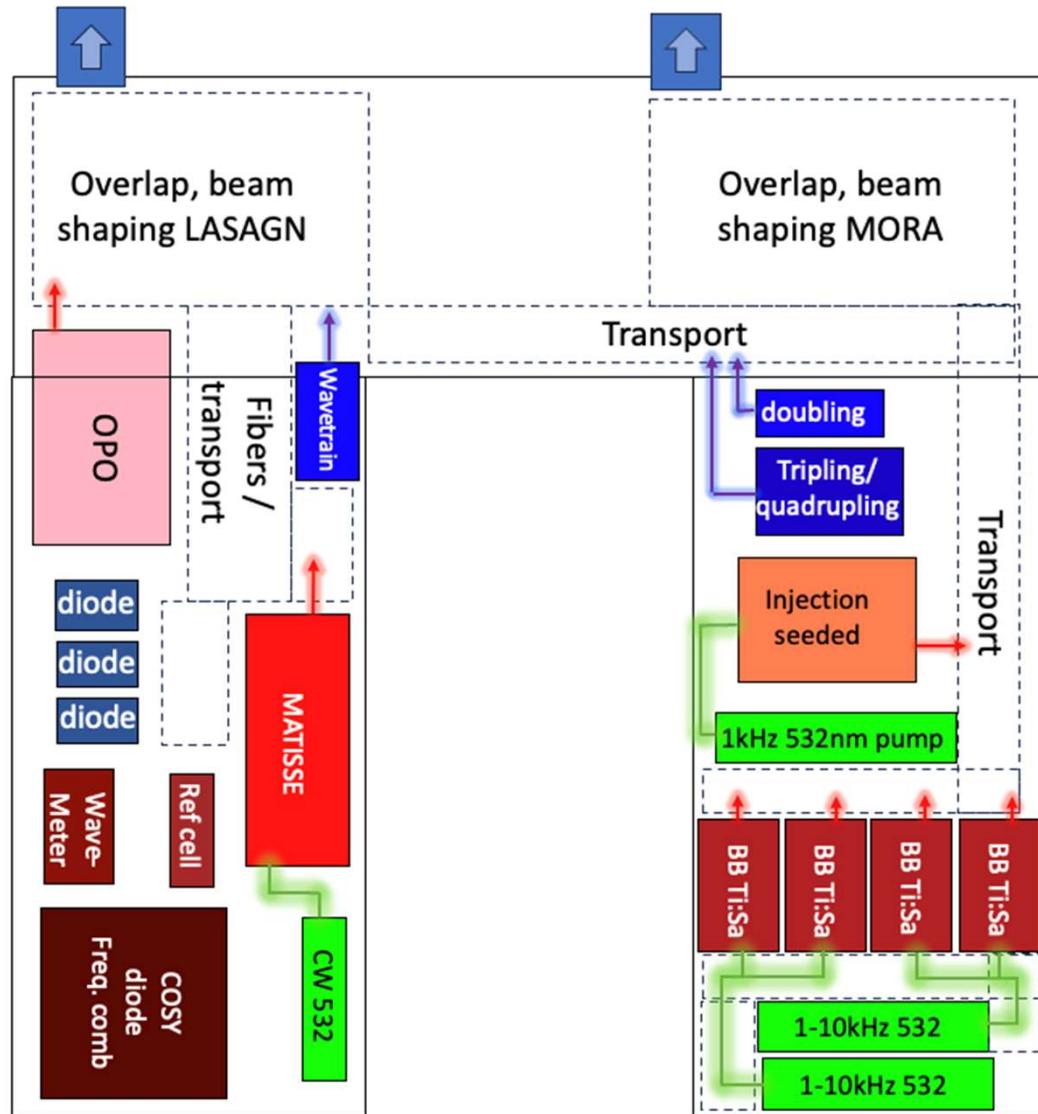
N. Lecesne, GANIL

Laser system for ^{39}Ca (397 & 866nm)

- 1x40W pump laser
- 1 Tunable TiSa Cavity with intracavity doubling (397nm)
- 1 Tunable TiSa Cavity (866nm)
- Synchronisation
- 1 Wavemeter
- 2 Powermeters
- Laser beam transport lines
- Laser beam polarization line

GISELE @ S³





Synergies avec
LASAGN, voir
présentation de Louis

Demande de financement
via accords avec Allemagne

MORA collaboration

Thanks a lot for your attention!



anr® RÉGION NORMANDIE



THE MORA
EXPERIMENT



V. Bosquet
V. Duménil
X. Fléchard
L. Hayen
E. Liénard
J. F. Cam
Y. Merrer
C. Vandamme



A. Falkowski
E. Alviani



P. Delahaye - P.I.
S. K. Chinthakayala
P. Chauveau
F. De Oliveira
G. Frémont
H. Guérin
P. Jardin
M. Jbayli
S. Lecerf
N. Lecesne
V. Morel
L. M. Motilla
M. Tencé
J. C. Thomas



I. Moore
T. Eronen
M. Reponen
Z. Ge
B. Kotte
V. Virtanen
A. Raggio
N. Rattanasakuldilok
A. Jokinen
A. Kankainen
S. Rinta-Antila



R.P. De Groote
N. Severijns
G. Neyens
S. Vanlangendonck



A. Rodriguez –
Sanchez
M. Gonzalez-Alonso

In blue PhD students and postdoc hired for MORA

New hires at GANIL for ACCLAIM MORA

Ville Virtanen - postdoctoral researcher and Clara Pfeffer M2 / PhD student

- Backup

Projet ACCLAIM_MORA: AdvanCed CaLcium radioActive Isotope Manipulation for MORA 2/3

- **$^{23}\text{Mg}^+$ et $^{39}\text{Ca}^+$ sont les candidats naturels de MORA**
 - Critères: noyaux miroirs; alcalino-terreux; $A < 40$
- **Preuve de principe de la polarisation:** en cours à Jyväskylä avec $^{23}\text{Mg}^+$
 - La mesure a été retardée du fait de la forte contamination du faisceau par $^{23}\text{Na}^+$
 - Rapport $^{23}\text{Na}^+ : {}^{23}\text{Mg}^+$ fortement réduit en Juillet 2024 (10 vs 1000) puis Juillet 2025 (de 10 à 2)
 - La preuve de principe de la polarisation a été obtenue en Mars 2025: Goyal et al, EPJ A 61(2025), fait marquant IN2P3
 - La mesure de D à $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ va démarrer

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	$1 \cdot 10^{-5}$

- **Objectifs de sensibilité:** $^{39}\text{Ca}^+$ candidat indispensable pour compléter $^{23}\text{Mg}^+$
 - 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)
- **Perspectives des ions $^{39}\text{Ca}^+$ a été limitée malgré une sensibilité supérieure à celle de $^{23}\text{Mg}^+$**

Projet ACCLAIM_MORA: AdvanCed CaLcium radioActive Isotope Manipulation for MORA 3/3

- 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 $^{39}\text{K}^+ : {}^{39}\text{Ca}^+ > 100$
 - 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 $10^7/\text{paquet}$ 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



R. De Groote

Techniques avancées de manipulation des ions proposées dans ACCLAIM

	Production	Purification	Bunching	Polarisation	Analyse
GANIL	1 PhD à SPIRAL 1 Design et test d'un ECS dédié			Optique de polarisation transverse (50 k€)	1 Postdoc 24m pour la réduction des effets systématiques
LPC CAEN		Buffer trap (150k€) achats composants	Section buncher sur le RFQ MORA à DESIR (70k€)		
JYVÄSKYLÄ YLIOPISTO		Design, construction et test avec MR-ToF		Implémentation ${}^{39}\text{Ca}$	
KU LEUVEN		Support technique design/constructio n		+40k€ missions GANIL (25) & LPC Caen (15)	Aide au design polarisation transverse