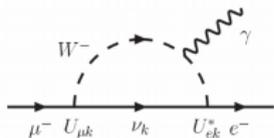


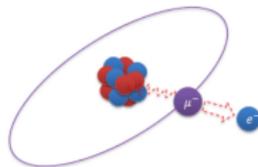
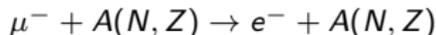
Motivations

- ▶ Le Modèle Standard est incomplet.
- ▶ Recherche directe à haute énergie de nouvelles particules (Frontière en énergie):
 $|A_{SM} + \varepsilon_{NP}|^2 \simeq |A_{SM}|^2 + 2\text{Re}(A_{SM}\varepsilon_{NP})$
- ▶ Recherche indirecte (Frontière en intensité) : processus rares
 $|A_{SM} + \varepsilon_{NP}|^2 \simeq |\varepsilon_{NP}|^2$ et mesure de quantités fondamentales.
- ▶ Les neutrinos oscillent et changent de saveur, impliquant une violation de la saveur leptonique dans le secteur chargé.



- ▶ Pontecorvo (1947) $\mu = e^*$?
- ▶ Cheng et Li ('77,'80), Petcov('77) :
 $BR(\mu \rightarrow e\gamma) \simeq O(10^{-54})$.

- ▶ Rechercher la transition d'un muon en électron sans production de neutrino.
- ▶ Expérimentalement une conversion muon-électron "assistée" par un noyau.



COMET : COherent Muon to Electron Transition

JPARC vu du ciel

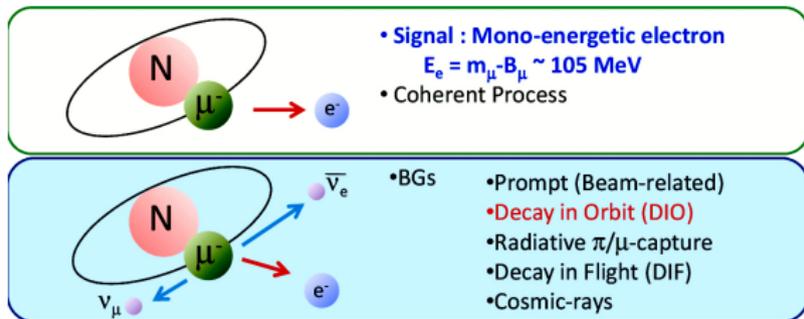


COMET Hadron Hall



Conversion μ -e

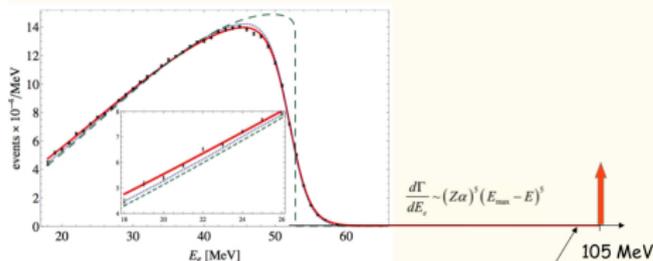
- ▶ Processus cohérent: noyau inchangé.
- ▶ Signal : électron mono-énergétique $E_e = m_\mu - B_\mu - E_{recul}$
- ▶ $m_e \ll m_\mu$, $B_\mu = m_\mu \frac{1}{2} Z^2 \alpha^2$ et $E_{recul} = m_\mu \frac{m_\mu}{2M}$
- ▶ Pour de l'aluminium utilisé par COMET : $E_e = 104.9$ MeV.
- ▶ On définit le taux de conversion $BR = \frac{\Gamma(\text{conversion } \mu-e)}{\Gamma(\text{capture de } \mu)}$
- ▶ Limite actuelle de SINDRUM-II à 90% CL sur de l'or : $BR < 7 \cdot 10^{-13}$
- ▶ COMET Single-Event-Sensitivity Phase-I $\leq 3 \cdot 10^{-15}$ et Phase-II $\leq 3 \cdot 10^{-17}$



La recherche de désintégrations rares demande :

- ▶ Des détecteurs avec une très bonne résolution et réjection du bruit de fond.

Spectrum of the bound muon decay



It is the main background for the expected conversion signal

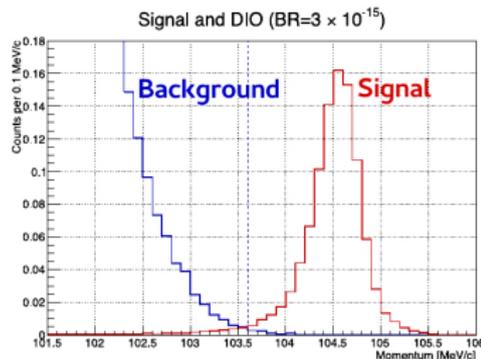
Andrzej Czarnecki et Robert Szafron

- ▶ La meilleure simulation et reconstruction possible est fondamentale.

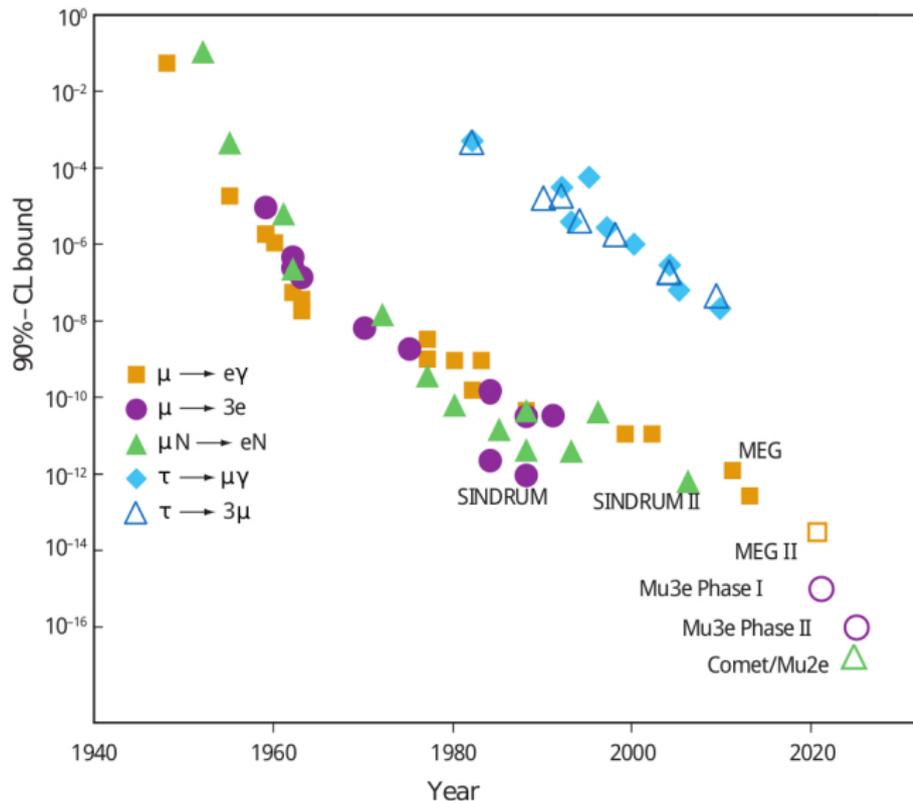
Comparaison entre $\mu \rightarrow e\gamma$ et la conversion $\mu - e$:

	bruit de fond	défi	intensité du faisceau
$\mu \rightarrow e\gamma$	fortuites	résolution du détecteur	limitée
$\mu - e$ conversion	faisceau	bruit de fond faisceau	pas de limitation

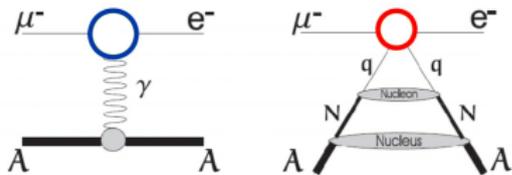
- ▶ PSI $10^8 \mu/s$ vs J-PARC $10^{11} \mu/s$
- ▶ Recherche de nouvelle physique possible avec les nouveaux faisceaux de muons *intenses* et *pulsés*.



Historique



Diagrammes d'exclusion



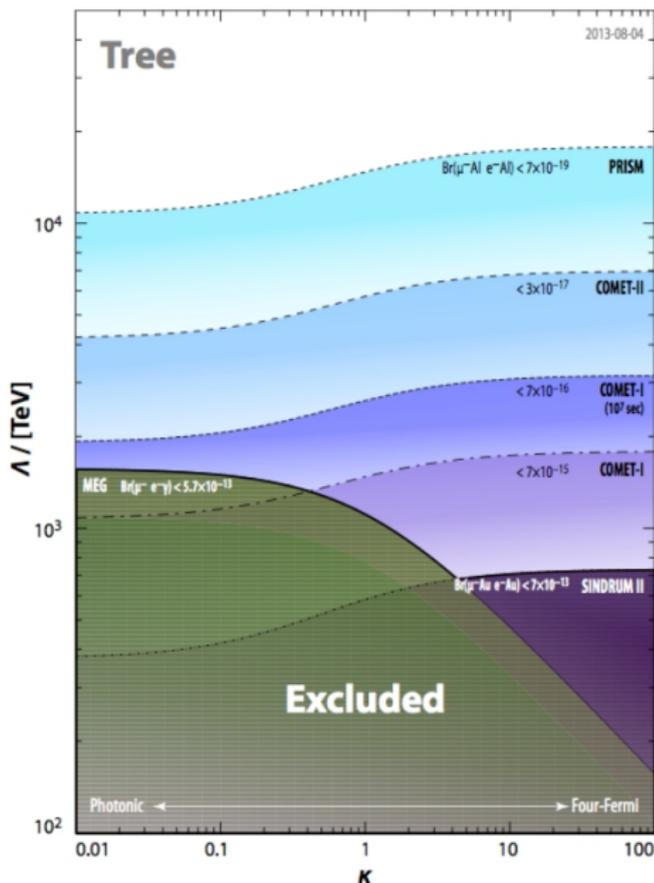
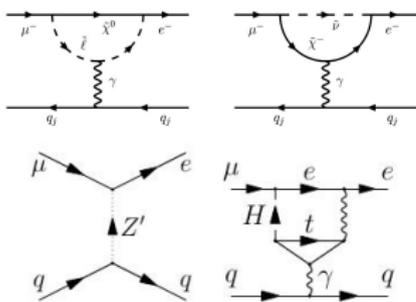
Couplage photonique et 4 fermions

$$\mu^- N \rightarrow e^- N$$

Lagrangien effectif de basse énergie

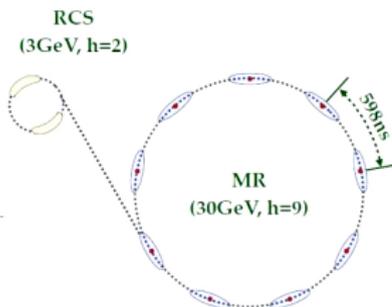
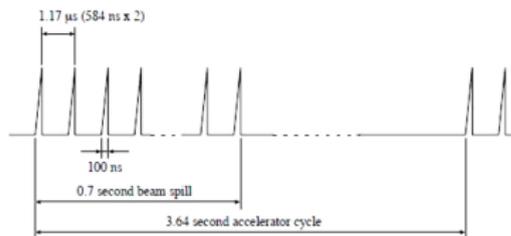
$$\mathcal{L} = \frac{1}{1+\kappa} \frac{m_\mu}{\Lambda^2} \bar{\mu}_R \sigma^{\mu\nu} \mathbf{e}_L \mathcal{F}_{\mu\nu} + \frac{\kappa}{1+\kappa} \frac{1}{\Lambda^2} (\bar{\mu}_L \gamma^\mu \mathbf{e}_L) (\bar{q}_L \gamma_\mu \mathbf{q}_L) + \text{h.c.}$$

Exemples de contributions :

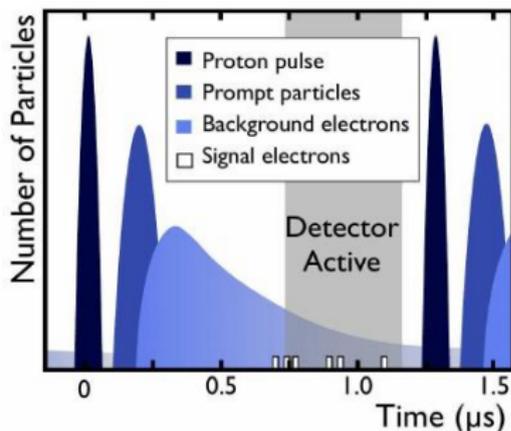


Faisceau de protons

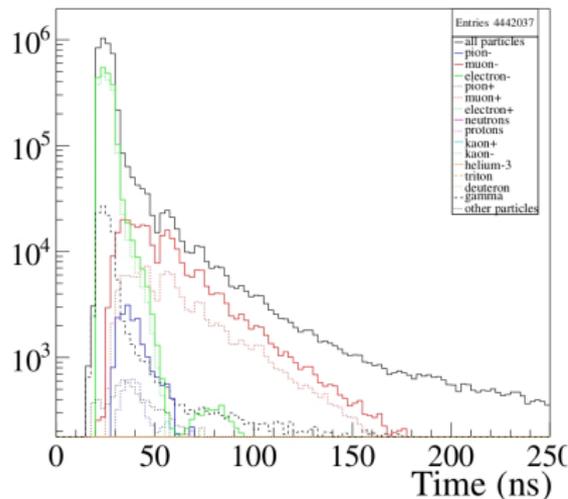
- ▶ Faisceau pulsé pour rejeter le bruit de fond lié au faisceau.
- ▶ Séparation d'au moins $1\mu\text{s}$ (durée de vie du μ)
- ▶ Largeur de pulse étroit $< 100\text{ ns}$
- ▶ Extraction lente.



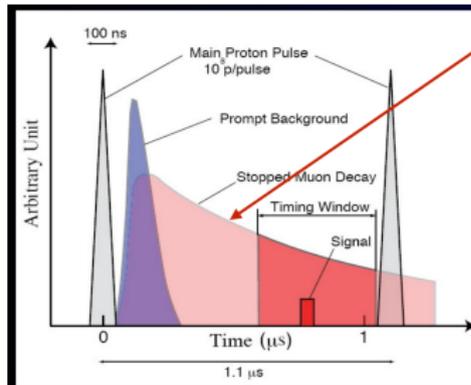
- ▶ Faisceau pulsé de protons de 8 GeV sur cible de graphite.



Structure en temps et composition du faisceau



A l'entrée de la cible d'arrêt des μ



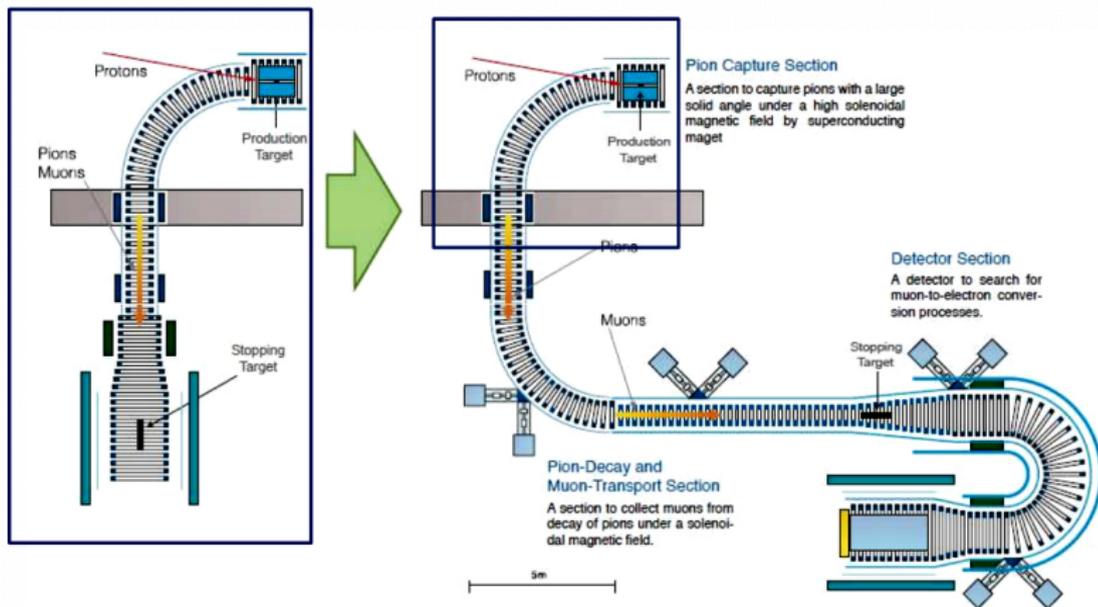
A lifetime of a muonic atom in aluminium ~ 880 sec

Suppression additionnelle du bruit de fond :

- ▶ Extinction des protons : $\frac{\text{Nombre de protons entre les paquets}}{\text{Nombre de protons dans les paquets}} \leq 10^{-9}$
- ▶ Restriction à des μ d'énergie ≤ 75 MeV.
- ▶ Détecteurs "fins" pour la détection des électrons.

COMET (E21)

- ▶ Sélection de μ de basse impulsion.
- ▶ Phase I en 2018 : 150 jours avec un faisceau de proton de 3.2 kW
- ▶ Phase II en 2021 : 1 an avec un faisceau de proton de 56 kW



$6 \cdot 10^9 \mu$ arrêtés par seconde

Collaboration COMET



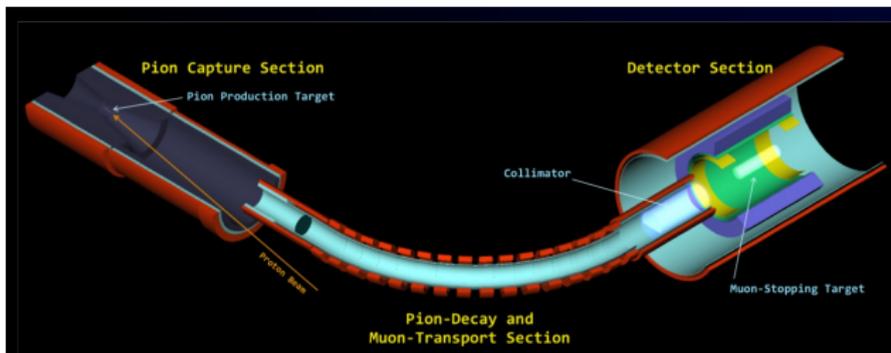
182 collaborators
37 institutes, 15 countries

The COMET Collaboration

R. Abramishvili¹¹, G. Adamov¹¹, R. Akhmetshin^{6,31}, V. Anishchik⁴, M. Aoki³², Y. Arimoto¹⁸, I. Bagaturia¹¹, Y. Ban³, A. Bondar^{6,31}, Y. Calas⁷, S. Canfer³³, Y. Cardenas⁷, S. Chen²⁸, Y. E. Cheung²⁸, B. Chiladze³⁵, D. Clarke³³, M. Danilov^{15,26}, P. D. Dauncey¹⁴, J. David²³, W. Da Silva²³, C. Densham³³, G. Devidze³⁵, P. Dornan¹⁴, A. Drutskoy^{15,26}, V. Duginov¹⁶, L. Epshteyn^{6,30}, P. Evtoukhovich¹⁶, G. Fedotov^{6,31}, M. Finger⁸, M. Finger Jr⁸, Y. Fujii¹⁸, Y. Fukao¹⁸, J-F. Genat²³, E. Gillies¹⁴, D. Grigoriev^{6,30,31}, K. Gritsay¹⁶, E. Hamada¹⁸, R. Han¹, K. Hasegawa¹⁸, I. H. Hasim³², O. Hayashi³², Z. A. Ibrahim²⁴, Y. Igarashi¹⁸, F. Ignatov^{6,31}, M. Iio¹⁸, M. Ikeno¹⁸, K. Ishibashi²², S. Ishimoto¹⁸, T. Itahashi³², S. Ito³², T. Iwami³², X. S. Jiang², P. Jonsson¹⁴, V. Kalinnikov¹⁶, F. Kapusta²³, H. Katayama³², K. Kawagoe²², N. Kazak⁵, V. Kazanin^{6,31}, B. Khazin^{6,31}, A. Khvedelidze^{16,11}, T. K. Ki¹⁸, M. Koike³⁹, G. A. Kozlov¹⁶, B. Kriker¹⁴, A. Kulikov¹⁶, E. Kulish¹⁶, Y. Kuno³², Y. Kuriyama²¹, Y. Kurochin⁵, A. Kurup¹⁴, B. Lagrange^{14,21}, M. Lancaster³⁸, M. J. Lee¹², H. B. Li², W. G. Li², R. P. Litchfield³⁸, T. Loan²⁹, D. Lomidze¹¹, I. Lomidze¹¹, P. Loveridge³³, G. Macharashvili³⁵, Y. Makida¹⁸, Y. Mao³, O. Markin¹⁵, Y. Matsumoto³², T. Mibe¹⁸, S. Mihara¹⁸, F. Mohamad Idris²⁴, K. A. Mohamed Kamal Azmi²⁴, A. Moiseenko¹⁶, Y. Mori²¹, M. Moritsu³², E. Motuk³⁸, Y. Nakai²², T. Nakamoto¹⁸, Y. Nakazawa³², J. Nash¹⁴, J. -Y. Nief⁷, M. Nioradze³⁵, H. Nishiguchi¹⁸, T. Numao³⁶, J. O'Dell³⁸, T. Ogitsu¹⁸, K. Oishi²², K. Okamoto³², C. Omori¹⁸, T. Ota³⁴, J. Pasternak¹⁴, C. Plostinar³³, V. Ponariadov⁴⁵, A. Popov^{6,31}, V. Rusinov^{15,26}, A. Ryzhnenkov^{6,31}, B. Sapiro¹⁶, N. Saito¹⁸, H. Sakamoto³², P. Sarin¹³, K. Sasaki¹⁸, A. Sato³², J. Sato³⁴, Y. K. Semertzidis^{12,17}, D. Shemyakin^{6,31}, N. Shigyo²², D. Shoukany⁵, M. Slunecka⁸, A. Straessner³⁷, D. Stöckinger³⁷, M. Sugano¹⁸, Y. Takubo¹⁸, M. Tanaka¹⁸, S. Tanaka²², C. V. Tao²⁹, E. Tarkovsky^{15,26}, Y. Tevzadze³⁵, T. Thanh²⁹, N. D. Thong³², J. Tojo²², M. Tomasek¹⁰, M. Tomizawa¹⁸, N. H. Tran³², H. Trang²⁹, I. Trekov³⁸, N. M. Truong³², Z. Tsamalaidze^{16,11}, N. Tsvetava^{16,35}, T. Uchida¹⁸, Y. Uchida¹⁴, K. Ueno¹⁸, E. Velicheva¹⁶, A. Volkov¹⁶, V. Vrba¹⁰, W. A. T. Wan Abdullah²⁴, M. Warren³⁸, M. Wing³⁸, T. S. Wong³², C. Wu^{2,28}, H. Yamaguchi²², A. Yamamoto¹⁸, Y. Yang²², W. Yao², Y. Yao², H. Yoshida³², M. Yoshida¹⁸, Y. Yoshi¹⁸, T. Yoshioka²², Y. Yuan², Y. Yudin^{6,31}, J. Zhang², Y. Zhang², K. Zuber³⁷

COMET Phase I

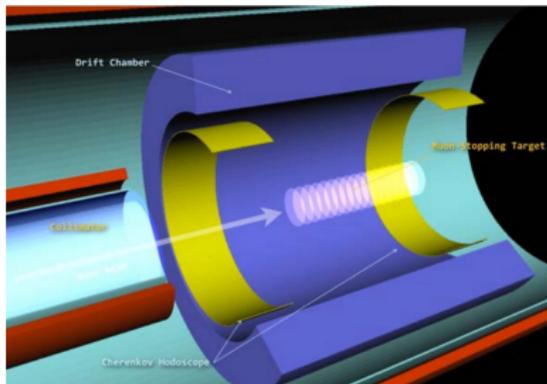
- ▶ Etude du bruit fond faisceau et atteindre un S.E.S. $\simeq 3.10^{-15}$



- ▶ CDC à KEK



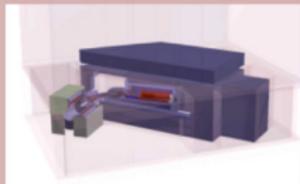
- ▶ CDC et compteurs de "trigger" entourant la cible d'arrêt des muons.



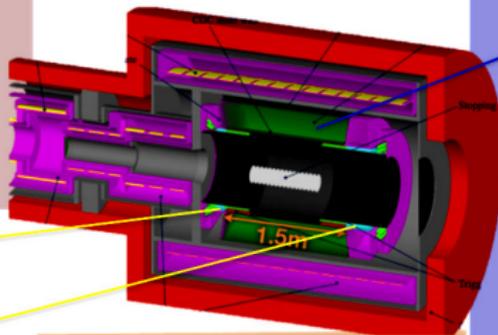
COMET Phase I

- ▶ Mise en place de la ligne de faisceau dans le Hall
- ▶ Construction et test des détecteurs.

All geometry implemented in the full simulation: ICEDUST



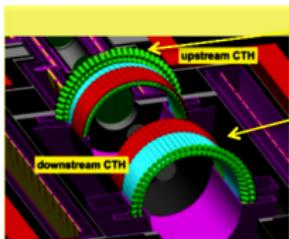
Detector for physics measurement in Phase I



CDC : the main detector of COMET Phase-I Physics



Total ~20,000 wire stringing completed in Nov. 2015 at KEK

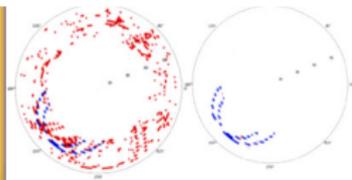


Analysis algorithm development in progress using simulation data. ex) track finding in CyDET



Beam test @ PSI 2015

Trigger Hodoscope Counter
Scintillator + Cerenkov



CDC Read Out Electronics RECBE production at IHEP



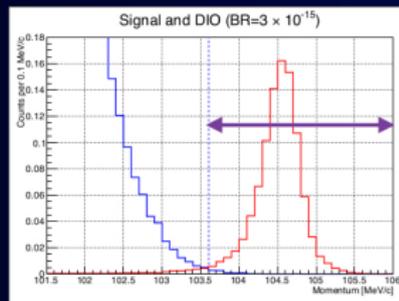
Signal Sensitivity for COMET Phase-I with CyDet



Signal Acceptance

Table 28: Breakdown of the $\mu^- N \rightarrow e^- N$ conversion signal acceptance.

Event selection	Value	Comments
Geometrical acceptance	0.37	
Track quality cuts	0.66	
Momentum selection	0.93	$103.6 \text{ MeV}/c < P_e < 106.0 \text{ MeV}/c$
Timing window	0.3	$700 \text{ ns} < t < 1100 \text{ ns}$
Trigger efficiency	0.8	
DAQ efficiency	0.8	
Track reconstruction efficiency	0.8	
Total	0.043	



Signal Sensitivity

- $f_{\text{cap}} = 0.6$
- $A_e = 0.043$
- $N_\mu = 1.23 \times 10^{16}$ muons

$$B(\mu^- + Al \rightarrow e^- + Al) \sim \frac{1}{N_\mu \cdot f_{\text{cap}} \cdot A_e}$$

$$B(\mu^- + Al \rightarrow e^- + Al) = 3.1 \times 10^{-15}$$

$$B(\mu^- + Al \rightarrow e^- + Al) < 7 \times 10^{-15} \quad (90\% C.L.)$$

Muon intensity

about 0.00052 muons stopped/proton

With 0.4 μA , a running time of about 110 days is needed.

Background Estimate for COMET Phase-I with CyDet



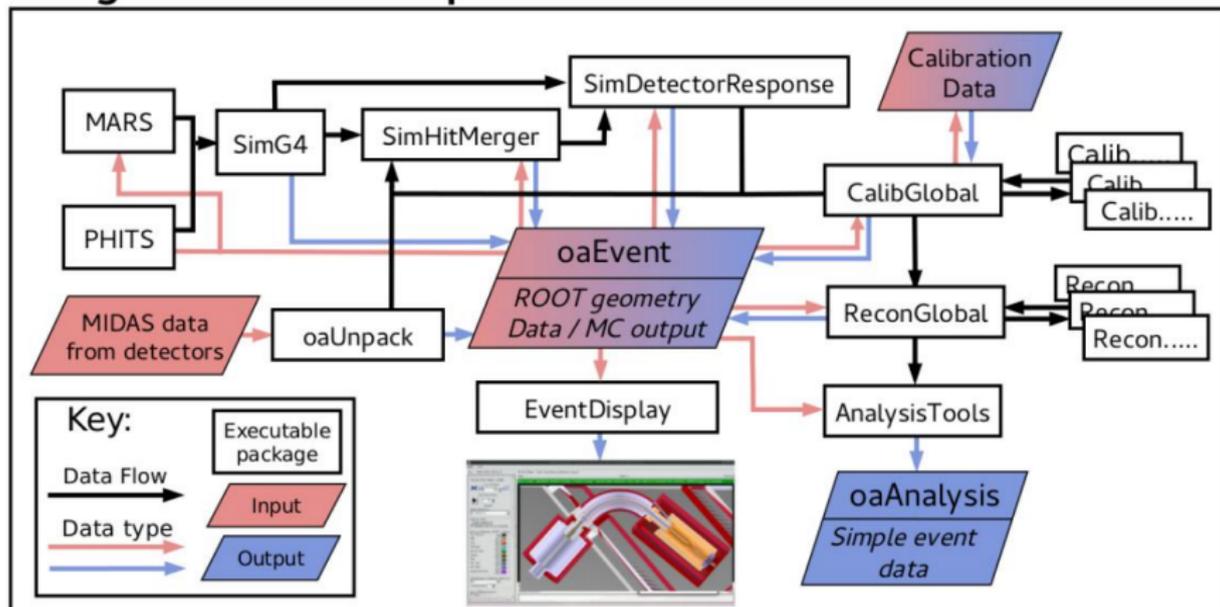
Table 30: Summary of the estimated background events for a single-event sensitivity of 3.1×10^{-15} with a proton extinction factor of 3×10^{-11} .

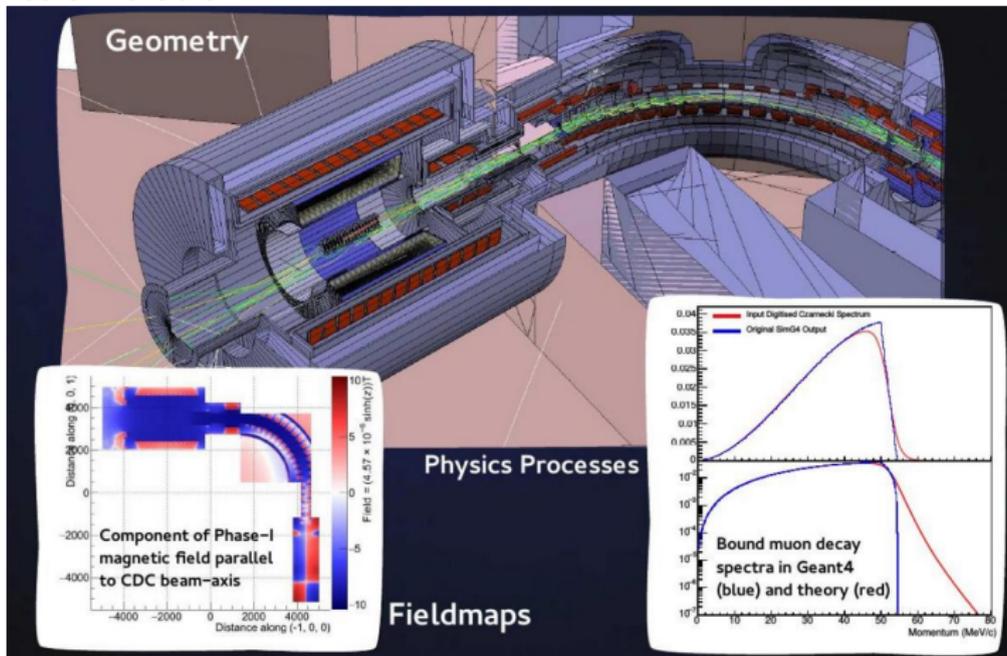
Type	Background	Estimated events
Physics	Muon decay in orbit	0.01
Physics	Radiative muon capture	5.6×10^{-4}
Physics	Neutron emission after muon capture	< 0.001
Physics	Charged particle emission after muon capture	< 0.001
Prompt Beam	Beam electrons (prompt)	8.3×10^{-4}
Prompt Beam	Muon decay in flight (prompt)	$\leq 2.0 \times 10^{-4}$
Prompt Beam	Pion decay in flight (prompt)	$\leq 2.3 \times 10^{-3}$
Prompt Beam	Other beam particles (prompt)	$\leq 2.8 \times 10^{-6}$
Prompt Beam	Radiative pion capture(prompt)	2.3×10^{-4}
Delayed Beam	Beam electrons (delayed)	~ 0
Delayed Beam	Muon decay in flight (delayed)	~ 0
Delayed Beam	Pion decay in flight (delayed)	~ 0
Delayed Beam	Radiative pion capture (delayed)	~ 0
Delayed Beam	Anti-proton induced backgrounds	0.007
Others	Electrons from cosmic ray muons	< 0.0001
Total		0.019

ICEDUST

Overview

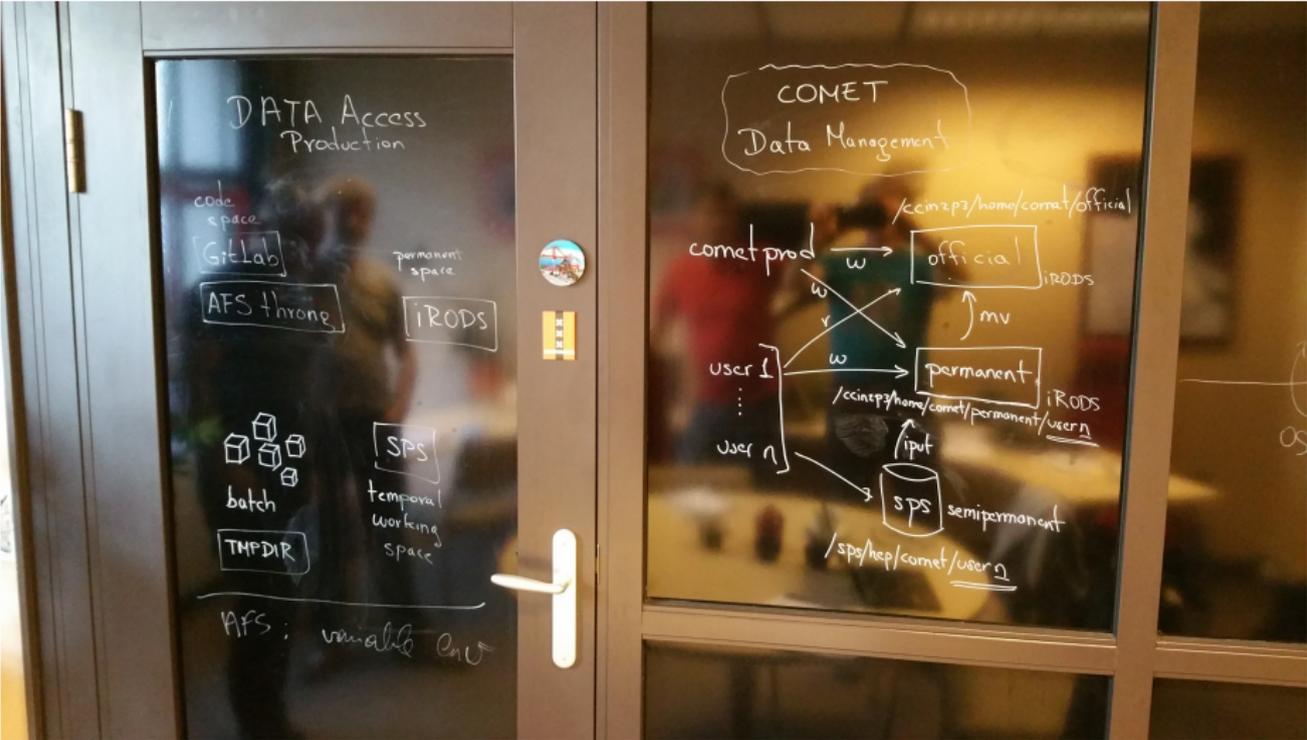
Integrated Comet Experiment Data User Software Toolkit





- ▶ Simulation du faisceau de muons.
- ▶ Simulation de son interaction avec la cible d'arrêt.
- ▶ Première version stable : avril 2015.
- ▶ Statistique élevée : $2 \cdot 10^{19}$ protons.
- ▶ Détails de géométrie, cartes de champs et processus physiques (modèles hadroniques, processus d'arrêt des muons)

Espace COMET





Informations about Grid Engine RQS for comet experiment at IN2P3 Computing Center



Area maintained by Thomas Kachelhoffer
Last updated: 2017-08-18 12:02:05

Description of comet RQS:

In tables below, you will find a list of the RQS (Resource Quota Set) linked to comet experiment available on Grid Engine at Computing Center. The ratio becomes red if the value is higher than 95 %. A selection on a bold number will give you access to the corresponding plots. A selection on the complex name gives you access to the detail usage of this complex.

List of Grid Engine RQS defined for comet experiment at Computing Center:

Complex name	Slot limit	Objective	Slots used	Used/limit or Used/objective	Requested slots
irods	200		0	0.0 %	0
slots		1104.2	4023	364.3 %	50
cl7		1104.2	0	0.0 %	0
sl6		1104.2	4023	364.3 %	50
sps	400		0	0.0 %	0

2017 CPU current request and use

COMET was granted 90 M HS06.hours on bqs

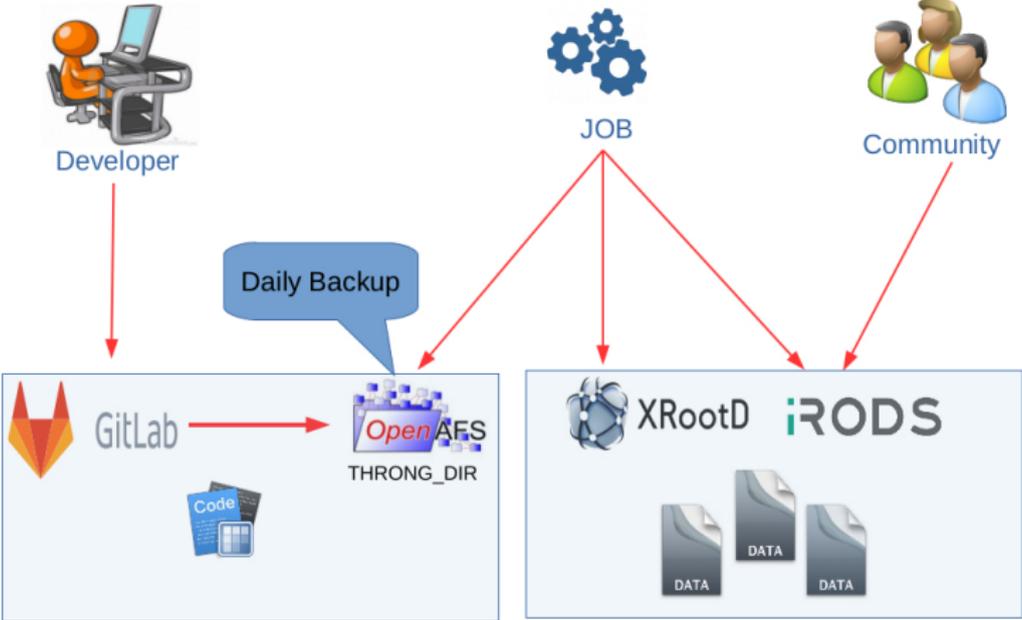
Requête et consommation cpu du groupe comet en 2017



								2017	
			Demande en HS06.h	Valeur arbitrée en HS06.h	Temps de résidence normalisé en HS06.h	% du tps de résidence / Valeur arbitrée	CPU Consommé en HS06.h	Efficacité moyenne des jobs (CPU Consommé / Tps de résidence)	nb slots par nb jobs
comet	Trimestre 1	janvier 2017	6 813 187	6 813 187		0 %		-	-
		février 2017	6 373 626	6 373 626	14 911	0 %	9 714	65 %	1,00
		mars 2017	6 813 187	6 813 187	27 942	0 %	26 885	96 %	1,00
		Total	20 000 000	20 000 000	42 853	0 %	36 599	85 %	1,00
	Trimestre 2	avril 2017	6 593 407	6 593 407	1 538 478	23 %	1 499 466	97 %	1,02
		mai 2017	6 813 187	6 813 187	9 283 901	136 %	9 131 549	98 %	1,00
		juin 2017	6 593 407	6 593 407	2 079 462	32 %	2 044 159	98 %	1,00
		Total	20 000 000	20 000 000	12 901 840	65 %	12 675 174	98 %	1,00
	Trimestre 3	juillet 2017	8 423 913	8 423 913	1 055 925	13 %	998 797	95 %	1,00
		août 2017	8 423 913	8 423 913	8 962 124	106 %	8 814 233	98 %	1,00
		septembre 2017	8 152 174	8 152 174	13 965 611	171 %	14 012 647	100 %	1,00
		Total	25 000 000	25 000 000	23 983 661	96 %	23 825 677	99 %	1,00
	Trimestre 4	octobre 2017	8 423 913	8 423 913	35 018 199	416 %	35 057 412	100 %	1,00
		novembre 2017	8 152 174	8 152 174	17 084 212	210 %	16 885 636	99 %	1,00
		décembre 2017	8 423 913	8 423 913	4 098 708	49 %	4 030 435	98 %	1,00
		Total	25 000 000	25 000 000	56 201 119	225 %	55 973 484	100 %	1,00
Total			90 000 000	90 000 000	93 129 472	103 %	92 510 934	99 %	1,00



Code and Data Access

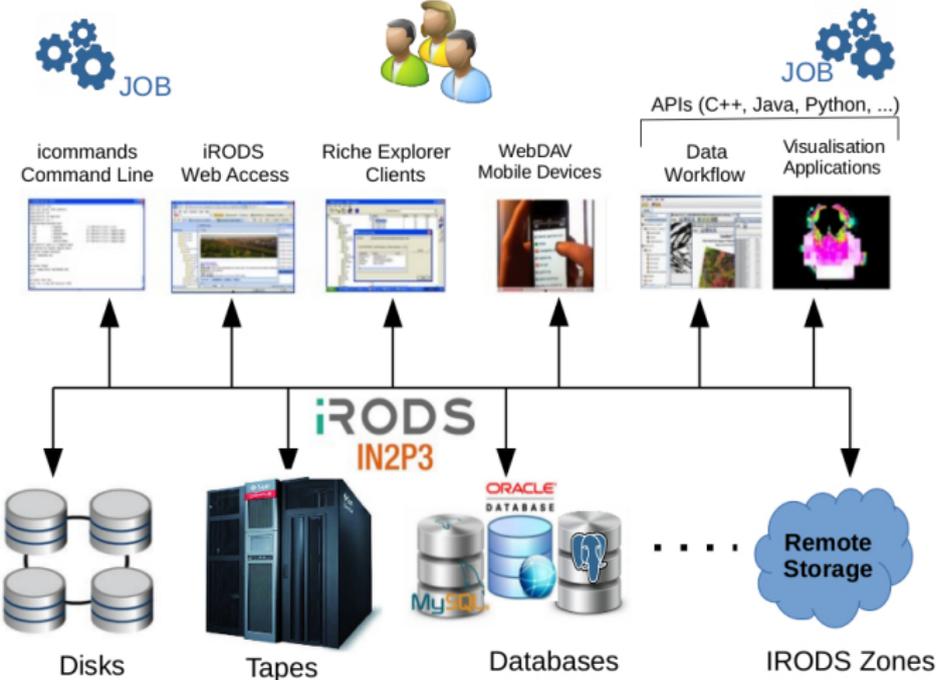


COMET foreign collaborators

	<i>Login</i>	<i>First name</i>	<i>Last name</i>	<i>Email</i>
1	khasmi	Akma	Khasmidatul	khasmidatul@siswa.um.edu.my
2	benayoun	Benayoun	Maurice	benayoun@lpnhe.in2p3.fr
3	cardenas	Cardenas	Yonny	cardenas@cc.in2p3.fr
4	dasilva	Dasilva	Wilfrid	dasilva@lpnhe.in2p3.fr
5	aedmonds	Edmonds	Andrew	a.edmonds@ucl.ac.uk
6	yfujii	Fujii	Yuki	yfujii@ihep.ac.cn
7	egillies	Gillies	Ewen	ewen.gillies12@imperial.ac.uk
8	ehamada	Hamada	Eitaro	ehamada@post.kek.jp
9	ajansen	Jansen	Andreas	andreas.jansen@mailbox.tu-dresden.de
10	pjonsson	Jonsson	Per	per.jonsson@imperial.ac.uk
11	jkang	Kang	Jisoo	rkdwtn628@kaist.ac.kr
12	cometmgr	Kapusta	Frederic	cometmgr@mail.in2p3.fr
13	kapusta	Kapusta	Frederic	kapusta@lpnhe.in2p3.fr
14	bkrikler	Krikler	Benjamin	benjamin.krikler07@imperial.ac.uk
15	kurup	Kurup	Ajit	a.kurup@imperial.ac.uk
16	lajun	Lai	Jun	lajun@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp
17	shlee	Lee	Soohyung	soohyunglee@ibs.re.kr
18	litchfld	Litchfield	Phillip	r.p.litchfield@ucl.ac.uk
19	ameinik	Melnik	Anastasia	a.melnik@ifanbel.by
20	mMoritsu	Moritsu	Manabu	moritsu@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp
21	ynakai	Nakai	Yuki	nakai@epj.phys.kyushu-u.ac.jp
22	nakamura	Nakamura	Yuki	y-nakamura@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp
23	ynakatsu	Nakatsugawa	Yohei	yohei@ihep.ac.cn

24	nakazawa	Nakazawa	Yu	y-nakazawa@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp
25	jnash	Nash	Jordan	j.nash@imperial.ac.uk
26	hnatori	Natori	Hiroaki	natori@ibs.re.kr
27	kokinaka	Okinaka	Kaori	k-okinaka@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp
28	sakamoto	Sakamoto	Hideyuki	sakamoto@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp
29	asato	Sato	Akira	sato@phys.sci.osaka-u.ac.jp
30	shoukavy	Shoukavy	Dzmitry	shoukavy@ifanbel.bas-net.by
31	ntran	Tran	Nam	nam@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp
32	mvassant	Vassantrai	Monish	mv1213@ic.ac.uk
33	warin	Warin-Charpentier	Patricia	warin@lpnhe.in2p3.fr
34	yweichao	Weichao	Yao	yao@ihep.ac.cn
35	mwong	Wong	Mark	m-wong@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp
36	twong	Wong	Tingsam	samwong@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp
37	chenwu	Wu	Chen	wuchen@ihep.ac.cn
38	xingty	Xing	Tianyu	xingty@ihep.ac.cn
39	hyamaguc	Yamaguchi	Hiroshi	yamaguchi@phys.kyushu-u.ac.jp
40	tyamane	Yamane	Takahito	t-yamane@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp
41	yyang	Yang	Ye	kanouyou@kune2a.nucl.kyushu-u.ac.jp
42	byeo	Yeo	Beomki	yeobk1202@kaist.ac.kr
43	hyoshida	Yoshida	Hisataka	hisataka@kuno-g.phys.sci.osaka-u.ac.jp
44	yuany	Yuan	Ye	yuany@ihep.ac.cn
45	yaozhang	Zhang	Yao	zhangyao@ihep.ac.cn
46	lizhano	Zhano	Jie	zhi@ihep.ac.cn

Community Data Access



Stockage actuel

- ▶ HPSS quota 215 TB : space used 102 TB
- ▶ XROOTD disk space used : 33 TB as HPSS Front End
- ▶ iRODS disk space used : 137 TB of which egillies 68 TB and cometprod 53 TB.
- ▶ iRODS is used also for data tranfers between sites.
- ▶ SPS "hep/sps/comet" disk space quota : 25 TB, 19 TB used

- ▶ 50% de plus de CPU
- ▶ Adapter de même le stockage : + 100 TB
- ▶ Préparer un calcul en continu
- ▶ Se préparer à la prise de données et à leur stockage.
- ▶ Finaliser le MoU COMET-IN2P3

En résumé

- ▶ cLFV : la meilleure façon de chercher la Physique au-delà du Modèle Standard.
- ▶ La conversion $\mu - e$ pourrait être un des processus importants de la cLFV.
- ▶ COMET Phase I vise un SES de $3 \cdot 10^{-15}$
- ▶ La construction de la ligne de faisceau a commencé en 2013 à KEK.
- ▶ La mesure démarrera en 2018-2019.
- ▶ COMET Phase-II à J-PARC vise un SES de $(1.0 - 2.6) \cdot 10^{-17}$ qui suivra immédiatement la Phase-I
- ▶ Le CC-IN2P3 est le Centre de Calcul de COMET.

Visitez le Hall COMET



Merci et à bientôt dans COMET

