

# Masses et interactions fondamentales - perspectives

## Biennale du LPNHE

Paolo Francavilla  
15 Mai 2014



# L'Héritage

S. Bertolucci - DIS2014

- 1) We have consolidated the Standard Model  
(wealth of measurements at 7-8 TeV, including the rare, and very sensitive to New Physics,  $B_s \rightarrow \mu\mu$  decay)  
→ it works BEAUTIFULLY ...
- 2) We have completed the Standard Model: Discovery of the messenger of the BEH-field, the Higgs boson discovery  
(over 50 years of theoretical and experimental efforts !)
- 3) We found interesting properties of the hot dense matter
- 4) We have NO evidence of new physics

Note: the last point implies that, if New Physics exists at the TeV scale and is discovered at  $\sqrt{s} \sim 14$  TeV in 2015++, its spectrum is quite heavy → it will require a lot of luminosity (→ HL-LHC  $3000 \text{ fb}^{-1}$ ) and energy to study it in detail → implications for future machines

# ATLAS SUSY Searches\* - 95% CL Lower Limits

Status: Moriond 2014

ATLAS Preliminary

$\int \mathcal{L} dt = (4.6 - 22.9) \text{ fb}^{-1}$   $\sqrt{s} = 7, 8 \text{ TeV}$

Model	$e, \mu, \tau, \gamma$	Jets	$E_T^{\text{miss}}$	$\int \mathcal{L} dt [\text{fb}^{-1}]$	Mass limit	Reference		
Inclusive Searches	MSUGRA/CMSSM	0	2-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{q}, \tilde{g}$ 1.7 TeV	$m(\tilde{q})=m(\tilde{g})$	ATLAS-CONF-2013-047
	MSUGRA/CMSSM	1 $e, \mu$	3-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.2 TeV	any $m(\tilde{q})$	ATLAS-CONF-2013-062
	MSUGRA/CMSSM	0	7-10 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.1 TeV	any $m(\tilde{q})$	1308.1841
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{q} \rightarrow q\tilde{\chi}_1^0$	0	2-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{q}$ 740 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2013-047
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow q\tilde{q}\tilde{\chi}_1^0$	0	2-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.3 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2013-047
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow qq\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow qqW^\pm\tilde{\chi}_1^0$	1 $e, \mu$	3-6 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.18 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<200 \text{ GeV}, m(\tilde{\chi}_1^\pm)=0.5(m(\tilde{\chi}_1^0)+m(\tilde{g}))$	ATLAS-CONF-2013-062
	$\tilde{g}\tilde{g}, \tilde{g} \rightarrow qq(\ell\ell/\ell\nu/\nu\nu)\tilde{\chi}_1^0$	2 $e, \mu$	0-3 jets	-	20.3	$\tilde{g}$ 1.12 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2013-089
	GMSB ( $\tilde{\ell}$ NLSP)	2 $e, \mu$	2-4 jets	Yes	4.7	$\tilde{g}$ 1.24 TeV	$\tan\beta < 15$	1208.4688
	GMSB ( $\tilde{\ell}$ NLSP)	1-2 $\tau$	0-2 jets	Yes	20.7	$\tilde{g}$ 1.4 TeV	$\tan\beta > 18$	ATLAS-CONF-2013-026
	GGM (bino NLSP)	2 $\gamma$	-	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.28 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)>50 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2014-001
	GGM (wino NLSP)	1 $e, \mu + \gamma$	-	Yes	4.8	$\tilde{g}$ 619 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)>50 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2012-144
	GGM (higgsino-bino NLSP)	$\gamma$	1 $b$	Yes	4.8	$\tilde{g}$ 900 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)>220 \text{ GeV}$	1211.1167
GGM (higgsino NLSP)	2 $e, \mu (Z)$	0-3 jets	Yes	5.8	$\tilde{g}$ 690 GeV	$m(\tilde{H})>200 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2012-152	
Gravitino LSP	0	mono-jet	Yes	10.5	$F^{1/2}$ scale 645 GeV	$m(\tilde{g})>10^{-1} \text{ eV}$	ATLAS-CONF-2012-147	
3 <sup>rd</sup> gen. $\tilde{g}$ med.	$\tilde{g} \rightarrow b\tilde{b}\tilde{\chi}_1^0$	0	3 $b$	Yes	20.1	$\tilde{g}$ 1.2 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<600 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2013-061
	$\tilde{g} \rightarrow t\tilde{t}\tilde{\chi}_1^0$	0	7-10 jets	Yes	20.3	$\tilde{g}$ 1.1 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 350 \text{ GeV}$	1308.1841
	$\tilde{g} \rightarrow t\tilde{t}\tilde{\chi}_1^0$	0-1 $e, \mu$	3 $b$	Yes	20.1	$\tilde{g}$ 1.34 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<400 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2013-061
	$\tilde{g} \rightarrow b\tilde{t}\tilde{\chi}_1^0$	0-1 $e, \mu$	3 $b$	Yes	20.1	$\tilde{g}$ 1.3 TeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<300 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2013-061
3 <sup>rd</sup> gen. squarks direct production	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^0$	0	2 $b$	Yes	20.1	$\tilde{b}_1$ 100-620 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<90 \text{ GeV}$	1308.2631
	$\tilde{b}_1\tilde{b}_1, \tilde{b}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	2 $e, \mu$ (SS)	0-3 $b$	Yes	20.7	$\tilde{b}_1$ 275-430 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=2 m(\tilde{\chi}_1^\pm)$	ATLAS-CONF-2013-007
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (light), $\tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^\pm$	1-2 $e, \mu$	1-2 $b$	Yes	4.7	$\tilde{t}_1$ 110-167 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=55 \text{ GeV}$	1208.4305, 1209.2102
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (light), $\tilde{t}_1 \rightarrow Wb\tilde{\chi}_1^0$	2 $e, \mu$	0-2 jets	Yes	20.3	$\tilde{t}_1$ 130-210 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) = m(\tilde{t}_1) - m(W) - 50 \text{ GeV}, m(\tilde{t}_1) < m(\tilde{\chi}_1^\pm)$	1403.4853
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (medium), $\tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	2 $e, \mu$	2 jets	Yes	20.3	$\tilde{t}_1$ 215-530 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=1 \text{ GeV}$	1403.4853
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (medium), $\tilde{t}_1 \rightarrow b\tilde{\chi}_1^\pm$	0	2 $b$	Yes	20.1	$\tilde{t}_1$ 150-580 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)<200 \text{ GeV}, m(\tilde{\chi}_1^\pm) - m(\tilde{\chi}_1^0) = 5 \text{ GeV}$	1308.2631
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (heavy), $\tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	1 $e, \mu$	1 $b$	Yes	20.7	$\tilde{t}_1$ 200-610 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2013-037
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (heavy), $\tilde{t}_1 \rightarrow t\tilde{\chi}_1^0$	0	2 $b$	Yes	20.5	$\tilde{t}_1$ 320-660 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2013-024
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1, \tilde{t}_1 \rightarrow c\tilde{\chi}_1^0$	0	mono-jet/ $c$ -tag	Yes	20.3	$\tilde{t}_1$ 90-200 GeV	$m(\tilde{t}_1) - m(\tilde{\chi}_1^0) < 85 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2013-068
	$\tilde{t}_1\tilde{t}_1$ (natural GMSB)	2 $e, \mu (Z)$	1 $b$	Yes	20.3	$\tilde{t}_1$ 150-580 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) > 150 \text{ GeV}$	1403.5222
$\tilde{t}_2\tilde{t}_2, \tilde{t}_2 \rightarrow \tilde{t}_1 + Z$	3 $e, \mu (Z)$	1 $b$	Yes	20.3	$\tilde{t}_2$ 290-600 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) < 200 \text{ GeV}$	1403.5222	
EW direct	$\tilde{\ell}_{L,R}\tilde{\ell}_{L,R}, \tilde{\ell} \rightarrow \ell\tilde{\chi}_1^0$	2 $e, \mu$	0	Yes	20.3	$\tilde{\ell}$ 90-325 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}$	1403.5294
	$\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp, \tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow \tilde{\ell}\nu(\ell\bar{\nu})$	2 $e, \mu$	0	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 140-465 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}, m(\tilde{\ell}, \bar{\nu}) = 0.5(m(\tilde{\chi}_1^\pm) + m(\tilde{\chi}_1^\mp))$	1403.5294
	$\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp, \tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow \tilde{\tau}\nu(\tau\bar{\nu})$	2 $\tau$	-	Yes	20.7	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 180-330 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0)=0 \text{ GeV}, m(\tilde{\tau}, \bar{\nu}) = 0.5(m(\tilde{\chi}_1^\pm) + m(\tilde{\chi}_1^\mp))$	ATLAS-CONF-2013-028
	$\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp \rightarrow \tilde{\ell}_1\nu\tilde{\ell}_1\ell(\bar{\nu}\nu), \ell\bar{\nu}\tilde{\ell}_1\ell(\bar{\nu}\nu)$	3 $e, \mu$	0	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_1^\mp$ 700 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^\pm) = m(\tilde{\chi}_1^\mp), m(\tilde{\chi}_1^0)=0, m(\tilde{\ell}, \bar{\nu}) = 0.5(m(\tilde{\chi}_1^\pm) + m(\tilde{\chi}_1^\mp))$	1402.7029
	$\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0 Z\tilde{\chi}_1^0$	2-3 $e, \mu$	0	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_1^\mp$ 420 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^\pm) = m(\tilde{\chi}_1^\mp), m(\tilde{\chi}_1^0)=0, \text{ sleptons decoupled}$	1403.5294, 1402.7029
	$\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0 h\tilde{\chi}_1^0$	1 $e, \mu$	2 $b$	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm, \tilde{\chi}_1^\mp$ 285 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^\pm) = m(\tilde{\chi}_1^\mp), m(\tilde{\chi}_1^0)=0, \text{ sleptons decoupled}$	ATLAS-CONF-2013-093
Long-lived particles	Direct $\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp$ prod., long-lived $\tilde{\chi}_1^\pm$	Disapp. trk	1 jet	Yes	20.3	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 270 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^\pm) - m(\tilde{\chi}_1^0) = 160 \text{ MeV}, \tau(\tilde{\chi}_1^\pm) = 0.2 \text{ ns}$	ATLAS-CONF-2013-069
	Stable, stopped $\tilde{g}$ R-hadron	0	1-5 jets	Yes	22.9	$\tilde{g}$ 832 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) = 100 \text{ GeV}, 10 \mu\text{s} < \tau(\tilde{g}) < 1000 \text{ s}$	ATLAS-CONF-2013-057
	GMSB, stable $\tilde{\tau}, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tilde{\tau}(\tilde{b}, \tilde{\mu}) + \tau(e, \mu)$	1-2 $\mu$	-	-	15.9	$\tilde{\chi}_1^0$ 475 GeV	$10 < \tan\beta < 50$	ATLAS-CONF-2013-058
	GMSB, $\tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \gamma\tilde{G}$ , long-lived $\tilde{\chi}_1^0$	2 $\gamma$	-	Yes	4.7	$\tilde{\chi}_1^0$ 230 GeV	$0.4 < \tau(\tilde{\chi}_1^0) < 2 \text{ ns}$	1304.6310
	$\tilde{q}\tilde{q}, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow qq\mu$ (RPV)	1 $\mu$ , displ. vtx	-	-	20.3	$\tilde{q}$ 1.0 TeV	$1.5 < c\tau < 156 \text{ mm}, \text{BR}(\mu) = 1, m(\tilde{\chi}_1^0) = 108 \text{ GeV}$	ATLAS-CONF-2013-092
RPV	LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_\tau + X, \tilde{\nu}_\tau \rightarrow e + \mu$	2 $e, \mu$	-	-	4.6	$\tilde{\nu}_\tau$ 1.61 TeV	$\lambda_{311} = 0.10, \lambda_{133} = 0.05$	1212.1272
	LFV $pp \rightarrow \tilde{\nu}_\tau + X, \tilde{\nu}_\tau \rightarrow e(\mu) + \tau$	1 $e, \mu + \tau$	-	-	4.6	$\tilde{\nu}_\tau$ 1.1 TeV	$\lambda_{311} = 0.10, \lambda_{1233} = 0.05$	1212.1272
	Bilinear RPV CMSSM	1 $e, \mu$	7 jets	Yes	4.7	$\tilde{q}, \tilde{g}$ 1.2 TeV	$m(\tilde{q}) = m(\tilde{g}), c\tau_{LSP} < 1 \text{ mm}$	ATLAS-CONF-2012-140
	$\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp, \tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow ee\tilde{\nu}_\mu, e\mu\tilde{\nu}_e$	4 $e, \mu$	-	Yes	20.7	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 760 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) > 300 \text{ GeV}, \lambda_{121} > 0$	ATLAS-CONF-2013-036
	$\tilde{\chi}_1^\pm\tilde{\chi}_1^\mp, \tilde{\chi}_1^\pm \rightarrow W\tilde{\chi}_1^0, \tilde{\chi}_1^0 \rightarrow \tau\tau\tilde{\nu}_e, e\tau\tilde{\nu}_\tau$	3 $e, \mu + \tau$	-	Yes	20.7	$\tilde{\chi}_1^\pm$ 350 GeV	$m(\tilde{\chi}_1^0) > 80 \text{ GeV}, \lambda_{133} > 0$	ATLAS-CONF-2013-036
	$\tilde{g} \rightarrow qq\tilde{q}$	0	6-7 jets	-	20.3	$\tilde{g}$ 916 GeV	$\text{BR}(\tilde{t}) = \text{BR}(\tilde{b}) = \text{BR}(\tilde{c}) = 0\%$	ATLAS-CONF-2013-091
$\tilde{g} \rightarrow \tilde{t}_1 t, \tilde{t}_1 \rightarrow bs$	2 $e, \mu$ (SS)	0-3 $b$	Yes	20.7	$\tilde{g}$ 880 GeV		ATLAS-CONF-2013-007	
Other	Scalar gluon pair, $\text{sgluon} \rightarrow q\tilde{q}$	0	4 jets	-	4.6	$\text{sgluon}$ 100-287 GeV	incl. limit from 1110.2693	1210.4826
	Scalar gluon pair, $\text{sgluon} \rightarrow t\tilde{t}$	2 $e, \mu$ (SS)	2 $b$	Yes	14.3	$\text{sgluon}$ 350-800 GeV		ATLAS-CONF-2013-051
	WIMP interaction (D5, Dirac $\chi$ )	0	mono-jet	Yes	10.5	$M^*$ scale 704 GeV	$m(\chi) < 80 \text{ GeV}, \text{limit of } < 687 \text{ GeV for D8}$	ATLAS-CONF-2012-147

$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$  full data  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  partial data  $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$  full data

10<sup>-1</sup> 1 Mass scale [TeV]

\*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown. All limits quoted are observed minus 1 $\sigma$  theoretical signal cross section uncertainty.



# ATLAS Exotics Searches\* - 95% CL Exclusion

Status: April 2014

ATLAS Preliminary

$\int \mathcal{L} dt = (1.0 - 20.3) \text{ fb}^{-1}$   $\sqrt{s} = 7, 8 \text{ TeV}$

Model	$\ell, \gamma$	Jets	$E_T^{\text{miss}}$	$\int \mathcal{L} dt [\text{fb}^{-1}]$	Mass limit	Reference	
Extra dimensions	ADD $G_{KK} + g/q$	-	1-2 j	Yes	4.7	$M_D$ 4.37 TeV	$n = 2$ 1210.4491
	ADD non-resonant $\ell\ell\gamma\gamma$	$2\gamma$ or $2e, \mu$	-	-	4.7	$M_S$ 4.18 TeV	$n = 3$ HLZ NLO 1211.1150
	ADD QBH $\rightarrow \ell q$	$1 e, \mu$	1 j	-	20.3	$M_{\text{th}}$ 5.2 TeV	$n = 6$ 1311.2006
	ADD BH high $N_{\text{trk}}$	$2\mu$ (SS)	-	-	20.3	$M_{\text{th}}$ 5.7 TeV	$n = 6, M_D = 1.5 \text{ TeV}$ , non-rot BH 1308.4075
	ADD BH high $\sum p_T$	$\geq 1 e, \mu$	$\geq 2 j$	-	20.3	$M_{\text{th}}$ 6.2 TeV	$n = 6, M_D = 1.5 \text{ TeV}$ , non-rot BH ATLAS-CONF-2014-016
	RS1 $G_{KK} \rightarrow \ell\ell$	$2 e, \mu$	-	-	20.3	$G_{KK}$ mass 2.47 TeV	$k/\overline{M_{Pl}} = 0.1$ ATLAS-CONF-2013-017
	RS1 $G_{KK} \rightarrow ZZ \rightarrow \ell\ell q\bar{q}/\ell\ell\ell\ell$	$2$ or $4 e, \mu$	$2 j$ or -	-	1.0	$G_{KK}$ mass 845 GeV	$k/\overline{M_{Pl}} = 0.1$ 1203.0718
	RS1 $G_{KK} \rightarrow WW \rightarrow \ell\nu\ell\nu$	$2 e, \mu$	-	Yes	4.7	$G_{KK}$ mass 1.23 TeV	$k/\overline{M_{Pl}} = 0.1$ 1208.2880
	Bulk RS $G_{KK} \rightarrow HH \rightarrow b\bar{b}b\bar{b}$	-	4 b	-	19.5	$G_{KK}$ mass 590-710 GeV	$k/\overline{M_{Pl}} = 1.0$ ATLAS-CONF-2014-005
	Bulk RS $g_{KK} \rightarrow t\bar{t}$	$1 e, \mu$	$\geq 1 b, \geq 1 J/2j$	Yes	14.3	$g_{KK}$ mass 0.5-2.0 TeV	BR = 0.925 ATLAS-CONF-2013-052
	$S^1/Z_2$ ED	$2 e, \mu$	-	-	5.0	$M_{KK} \approx R^{-1}$ 4.71 TeV	1209.2535
	UED	$2\gamma$	-	Yes	4.8	Compact. scale $R^{-1}$ 1.41 TeV	ATLAS-CONF-2012-072
Gauge bosons	SSM $Z' \rightarrow \ell\ell$	$2 e, \mu$	-	-	20.3	$Z'$ mass 2.86 TeV	ATLAS-CONF-2013-017
	SSM $Z' \rightarrow \tau\tau$	$2\tau$	-	-	19.5	$Z'$ mass 1.9 TeV	ATLAS-CONF-2013-066
	SSM $W' \rightarrow \ell\nu$	$1 e, \mu$	-	Yes	20.3	$W'$ mass 3.28 TeV	ATLAS-CONF-2014-017
	EGM $W' \rightarrow WZ \rightarrow \ell\nu\ell'\ell'$	$3 e, \mu$	-	Yes	20.3	$W'$ mass 1.52 TeV	ATLAS-CONF-2014-015
	LRSM $W'_R \rightarrow t\bar{b}$	$1 e, \mu$	2 b, 0-1 j	Yes	14.3	$W'$ mass 1.84 TeV	ATLAS-CONF-2013-050
CI	CI $qqqq$	-	2 j	-	4.8	$\Lambda$ 7.6 TeV	$\eta = +1$ 1210.1718
	CI $qq\ell\ell$	$2 e, \mu$	-	-	5.0	$\Lambda$ 13.9 TeV	$\eta_{LL} = -1$ 1211.1150
	CI $uu\tau\tau$	$2 e, \mu$ (SS)	$\geq 1 b, \geq 1 j$	Yes	14.3	$\Lambda$ 3.3 TeV	$ \text{CI}  = 1$ ATLAS-CONF-2013-051
DM	EFT D5 operator	-	1-2 j	Yes	10.5	$M_\chi$ 731 GeV	at 90% CL for $m(\chi) < 80 \text{ GeV}$ ATLAS-CONF-2012-147
	EFT D9 operator	-	1 J, $\leq 1 j$	Yes	20.3	$M_\chi$ 2.4 TeV	at 90% CL for $m(\chi) < 100 \text{ GeV}$ 1309.4017
LQ	Scalar LQ 1 <sup>st</sup> gen	$2 e$	$\geq 2 j$	-	1.0	LQ mass 660 GeV	$\beta = 1$ 1112.4828
	Scalar LQ 2 <sup>nd</sup> gen	$2\mu$	$\geq 2 j$	-	1.0	LQ mass 685 GeV	$\beta = 1$ 1203.3172
	Scalar LQ 3 <sup>rd</sup> gen	$1 e, \mu, 1\tau$	1 b, 1 j	-	4.7	LQ mass 534 GeV	$\beta = 1$ 1303.0526
Heavy quarks	Vector-like quark $TT \rightarrow Ht + X$	$1 e, \mu$	$\geq 2 b, \geq 4 j$	Yes	14.3	T mass 790 GeV	T in (T,B) doublet ATLAS-CONF-2013-018
	Vector-like quark $TT \rightarrow Wb + X$	$1 e, \mu$	$\geq 1 b, \geq 3 j$	Yes	14.3	T mass 670 GeV	isospin singlet ATLAS-CONF-2013-060
	Vector-like quark $BB \rightarrow Zb + X$	$2 e, \mu$	$\geq 2 b$	-	14.3	B mass 725 GeV	B in (B,Y) doublet ATLAS-CONF-2013-056
	Vector-like quark $BB \rightarrow Wt + X$	$2 e, \mu$ (SS)	$\geq 1 b, \geq 1 j$	Yes	14.3	B mass 720 GeV	B in (T,B) doublet ATLAS-CONF-2013-051
Excited fermions	Excited quark $q^* \rightarrow q\gamma$	$1\gamma$	1 j	-	20.3	$q^*$ mass 3.5 TeV	only $u^*$ and $d^*$ , $\Lambda = m(q^*)$ 1309.3230
	Excited quark $q^* \rightarrow qg$	-	2 j	-	13.0	$q^*$ mass 3.84 TeV	only $u^*$ and $d^*$ , $\Lambda = m(q^*)$ ATLAS-CONF-2012-148
	Excited quark $b^* \rightarrow Wt$	$1$ or $2 e, \mu$	1 b, 2 j or 1 j	Yes	4.7	$b^*$ mass 870 GeV	left-handed coupling 1301.1583
	Excited lepton $\ell^* \rightarrow \ell\gamma$	$2 e, \mu, 1\gamma$	-	-	13.0	$\ell^*$ mass 2.2 TeV	$\Lambda = 2.2 \text{ TeV}$ 1308.1364
Other	LRSM Majorana $\nu$	$2 e, \mu$	2 j	-	2.1	$N^0$ mass 1.5 TeV	$m(W_R) = 2 \text{ TeV}$ , no mixing 1203.5420
	Type III Seesaw	$2 e, \mu$	-	-	5.8	$N^\pm$ mass 245 GeV	$ V_e =0.055,  V_\mu =0.063,  V_\tau =0$ ATLAS-CONF-2013-019
	Higgs triplet $H^{\pm\pm} \rightarrow \ell\ell$	$2 e, \mu$ (SS)	-	-	4.7	$H^{\pm\pm}$ mass 409 GeV	DY production, $\text{BR}(H^{\pm\pm} \rightarrow \ell\ell)=1$ 1210.5070
	Multi-charged particles	-	-	-	4.4	multi-charged particle mass 490 GeV	DY production, $ q =4e$ 1301.5272
	Magnetic monopoles	-	-	-	2.0	monopole mass 862 GeV	DY production, $ g =1g_D$ 1207.6411

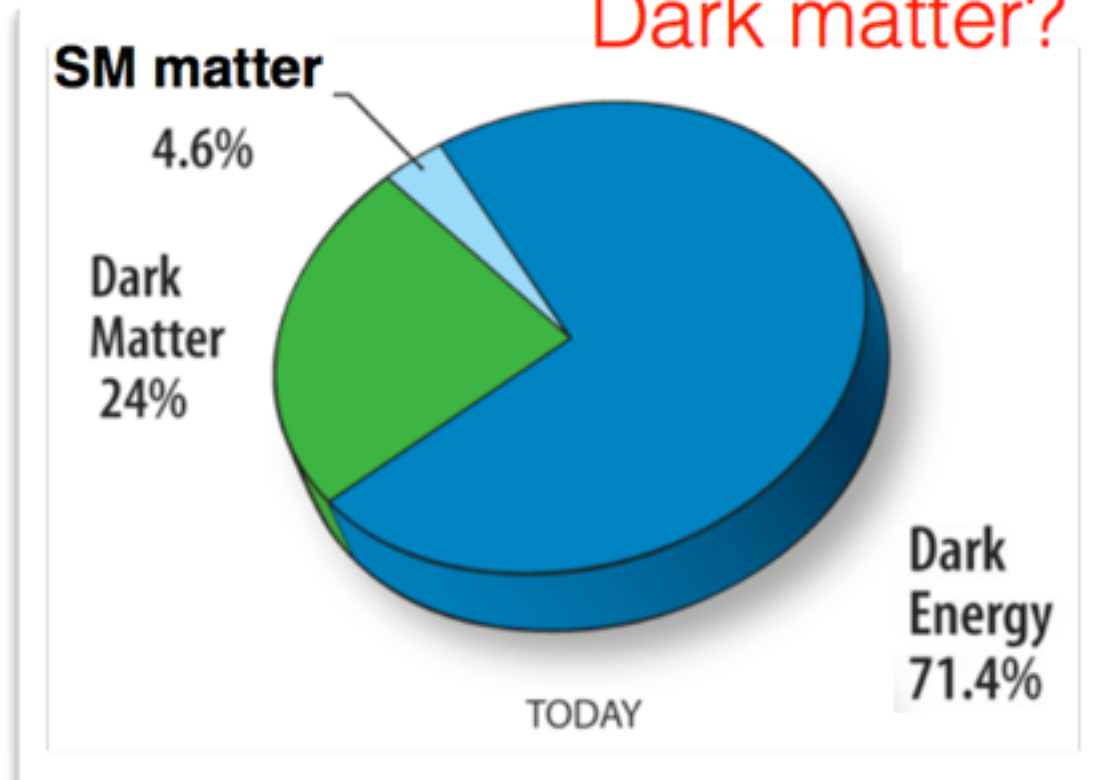
$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$   $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$

10<sup>-1</sup> 1 10 Mass scale [TeV]

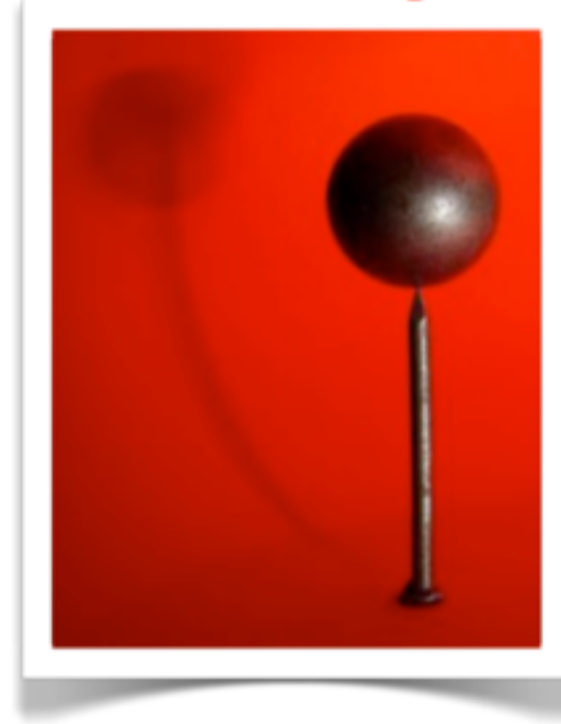
\*Only a selection of the available mass limits on new states or phenomena is shown.

## The SM is incomplete: big questions

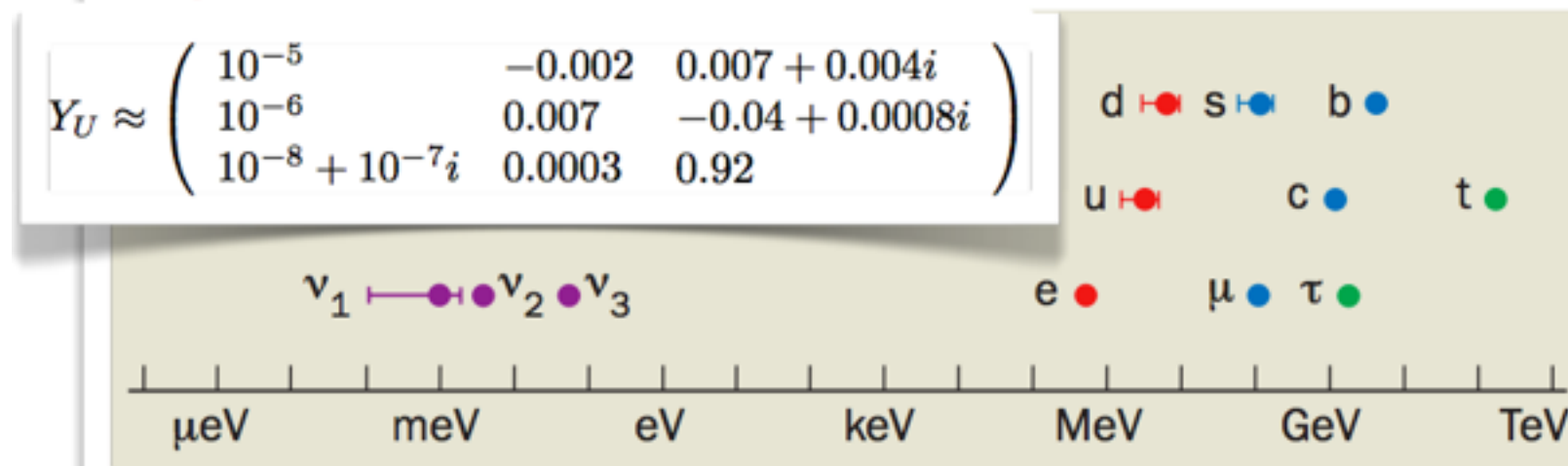
Dark matter?



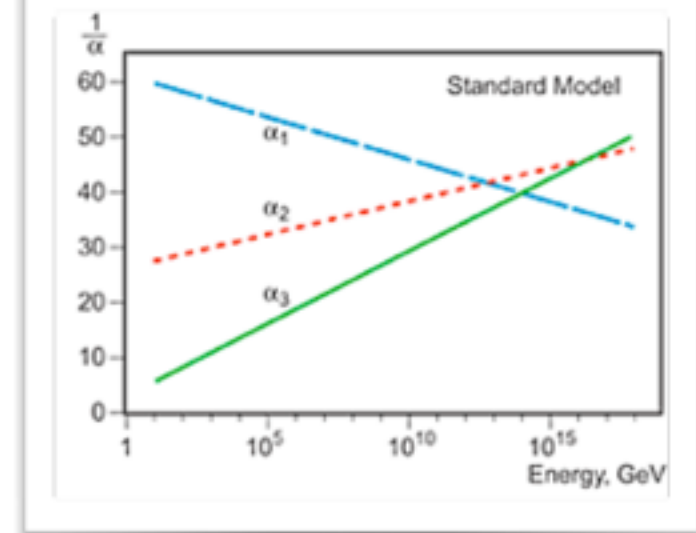
Fine-tuning?



Origin of SM matter and flavor?



Unity of forces?



# Les grandes questions:

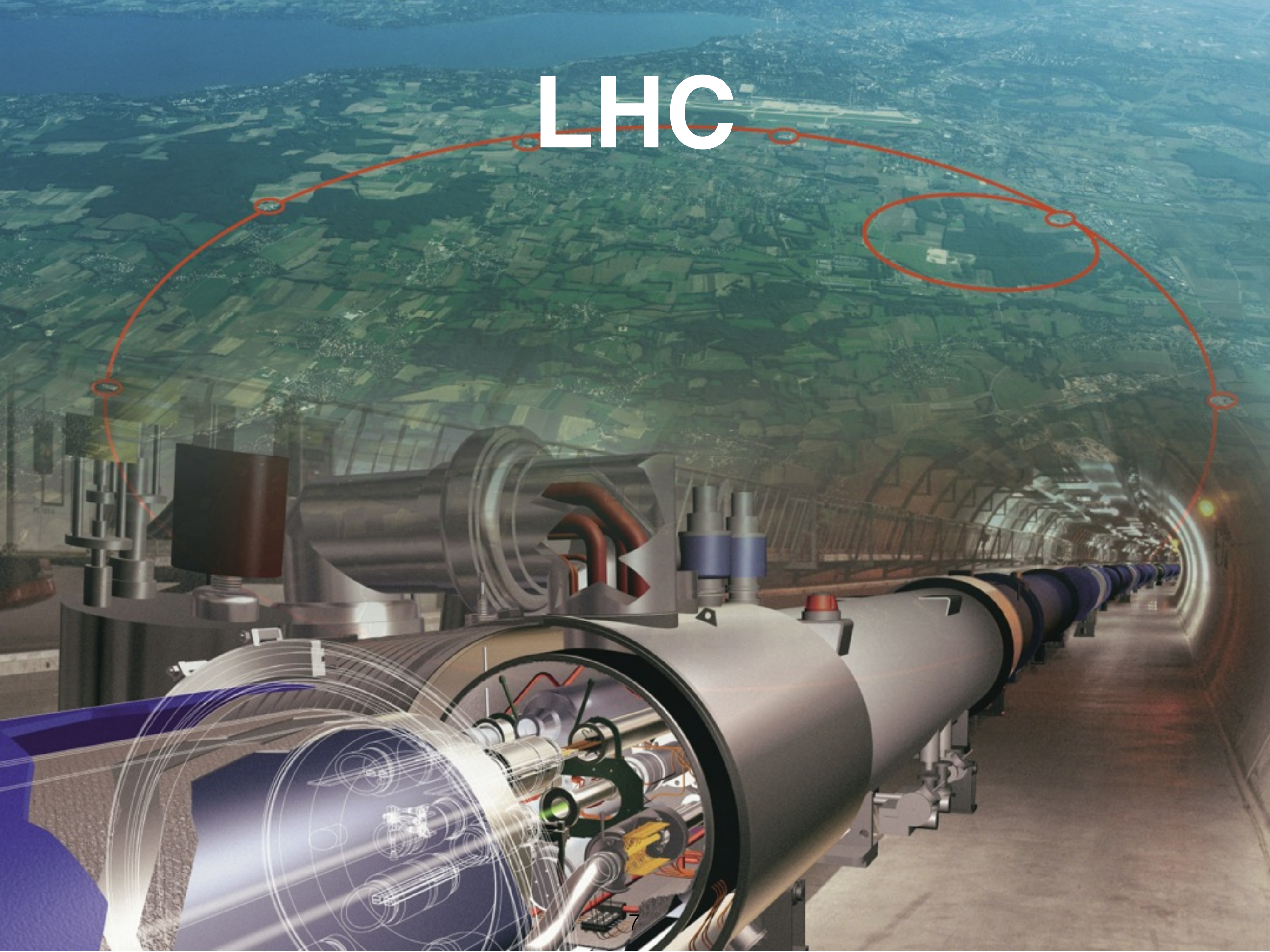
Y a-t-il de la physique au-delà du modèle standard à l'échelle du TeV?

- a) Etude du secteur du Higgs (couplages, propriétés...)
- b) Etude du quark top (masse, XS...)
- c) Recherche directe de nouvelle physique (matière noire , ...)
- d) Recherche de déviations par rapport au MS

Collisionator	LHC		ILC	FCC	$\mu\mu$ , LHeC, $\gamma\gamma$
Experience	ATLAS	LHCb		(ee/eh/hh)	autres...
Higgs		-			...
Top		-			...
NP direct					...
Deviation MS					...



# LHC





# Programme du LHC

2009	Démarrage du LHC à 900 GeV	
2010		Run 1
2011	$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ et $8 \text{ TeV}$ $L = 6 \times 10$	25 fb
2012		
2013	Premier arrêt → préparation pour la performance nominale	
2014		
2015		Run 2
2016	$\sqrt{s} = 13 - 14 \text{ TeV}$ $L = 1 \times 10$	75-100 fb
2017		
2018	Deuxième arrêt → préparation pour la luminosité finale	
2019		
2020		Run 3
2021	$\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ $L = 2 \times 10$	300 fb
2022		
2023		
2024	Troisième arrêt → préparation pour HL-LHC	
2025		
2026		
2027	$\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ $L = 5 \times 10$	HL-LHC
...		3000 fb
2035		



# Programme du LHC

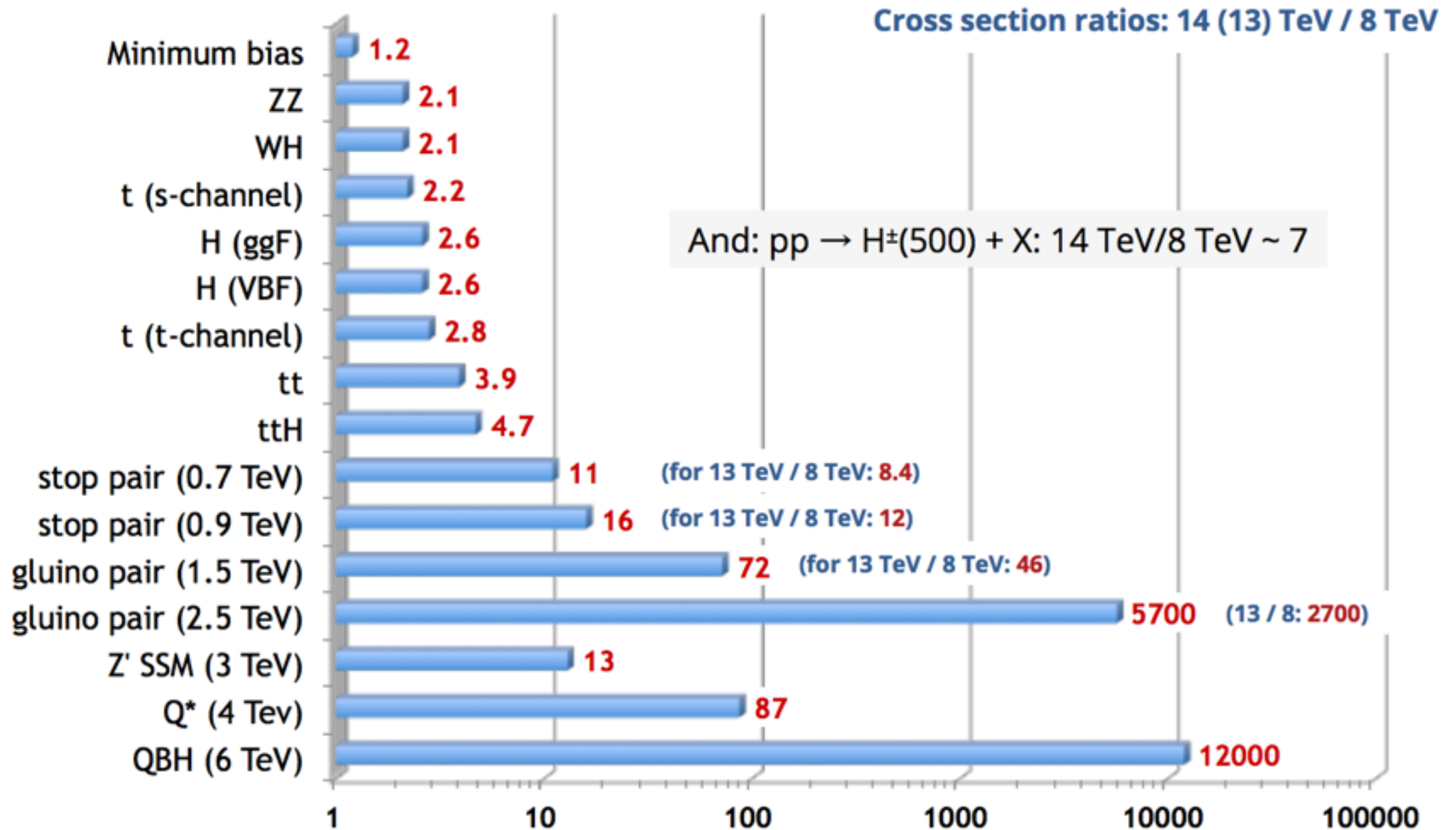
2009	Démarrage du LHC à 900 GeV	
2010		Run 1
2011	$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ et $8 \text{ TeV}$ $L = 6 \times 10$	25 fb
2012		
2013	Premier arrêt → préparation pour la performance nominale	
2014		
2015		Run 2
2016	$\sqrt{s} = 13 - 14 \text{ TeV}$ $L = 1 \times 10$	75-100 fb
2017		
2018	Deuxième arrêt → préparation pour la luminosité finale	
2019		
2020		Run 3
2021	$\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ $L = 2 \times 10$	300 fb
2022		
2023		
2024	Troisième arrêt → préparation pour HL-LHC	
2025		
2026		
2027	$\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ $L = 5 \times 10$	HL-LHC
...		3000 fb
2035		

# Programme du LHC

2009	Démarrage du LHC à 900 GeV	
2010		Run 1
2011	$\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ et $8 \text{ TeV}$ $L = 6 \times 10$	25 fb
2012		
2013	Premier arrêt → préparation pour la performance nominale	
2014		
2015		Run 2
2016	$\sqrt{s} = 13 - 14 \text{ TeV}$ $L = 1 \times 10$	75-100 fb
2017		
2018	Deuxième arrêt → préparation pour la luminosité finale	
2019		
2020		Run 3
2021	$\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ $L = 2 \times 10$	300 fb
2022		
2023		
2024	Troisième arrêt → préparation pour HL-LHC	
2025		
2026		HL-LHC
2027	$\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ $L = 5 \times 10$	3000 fb
...		
2035		



# Prévisions à 13-14 TeV



Sections efficaces :  
 processus électrofaibles:  $\sim x2$   
 ttbar:  $\sim x4$

Les expériences du LHC  
 bénéficieront d'une augmentation  
 des sections efficaces permettant  
 d'atteindre des canaux rares

# Gains pour la physique:

## Les canaux “difficiles” au run I :

**Higgs** : découverte des modes non encore découverts

Mesures de précisions : couplages, CP (mélanges ?), sections efficaces

**Top**: Single top, tt+V

**SM**: couplage à trois bosons, (dif)fusion de bosons vecteurs...

## Pousser les mesures de précision du run I :

Le challenge est de dépasser les limitations systématiques et limiter l'impact de l'empilement.

Parmi les mesures très intéressantes :

**Sections efficaces tt** et de production de **jets**

(importantes en soi mais aussi pour extraire les fonctions de densité de gluons)

**Mesures des masses du W et du top**

## Recherche de Nouvelle Physique:

permet d'atteindre le domaine de hautes masses : extension des recherches directes de **SUSY/Matière noire**;

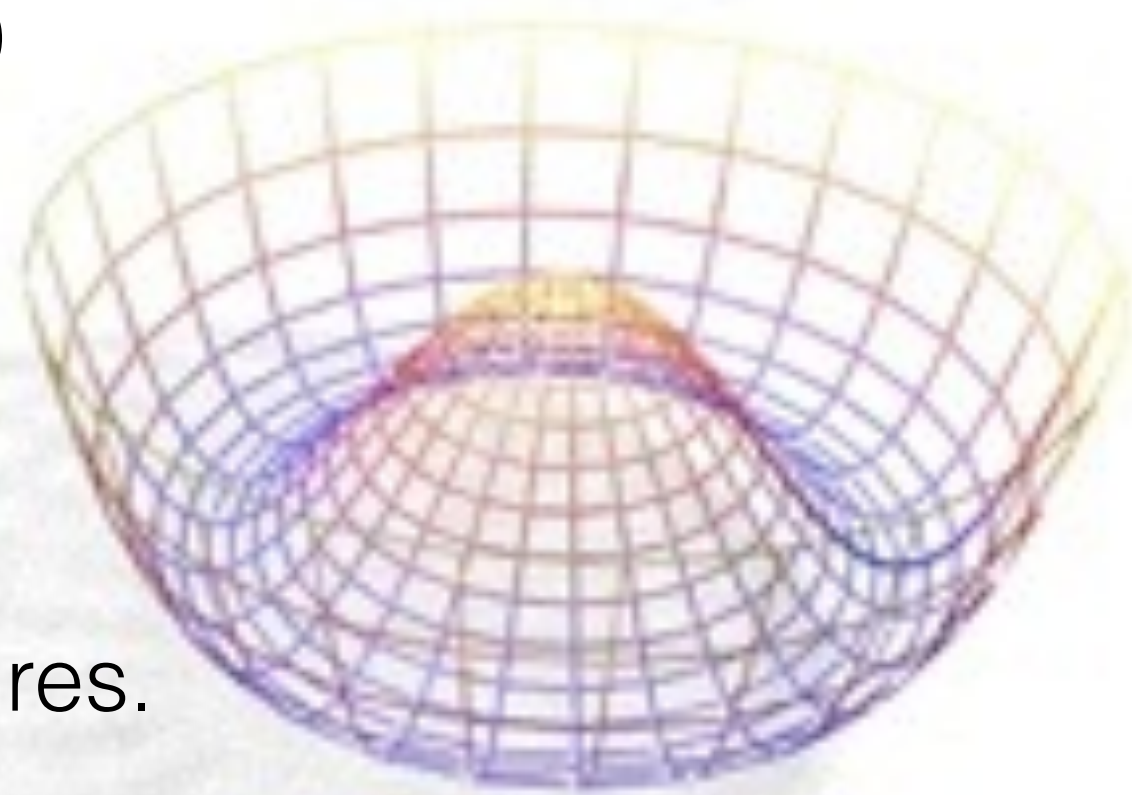
Recherche de **résonances et déviations** : **dijet, diboson, tt**.

Hautes énergies permettent d'étudier les états finaux multi-top.



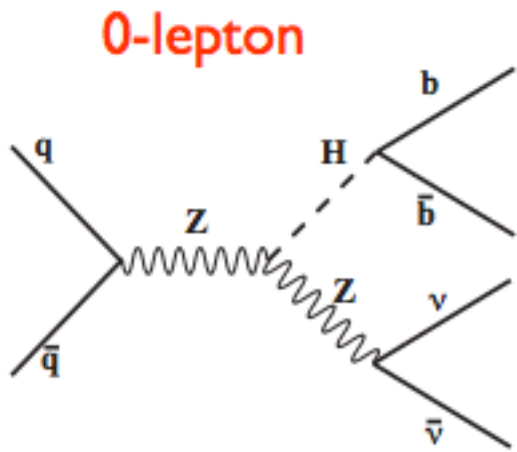
# Physique du Higgs

- Recherche des signaux de Higgs hors de portée du Run1 ( $H \rightarrow bb$ ,  $H \rightarrow Z\gamma$ ,  $H \rightarrow \mu\mu$ ,  $ttH$ ,  $th$ )
- Propriétés du Higgs (CP)  
5-15% sur les couplages?  
Largeur du Higgs
- Recherche d'autres bosons scalaires.
- Recherche de matière noire couplée au Higgs.
- ...



# Higgs: hors de portée du Run 1

VH->bb: canal majeur pour accéder au couplage du Higgs au quark b en regardant une resonance dans la distribution  $m_{bb}$

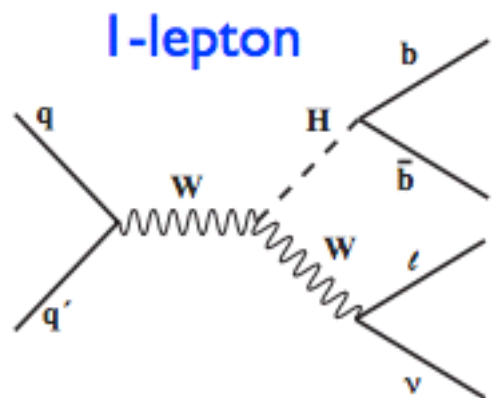


## Run1:

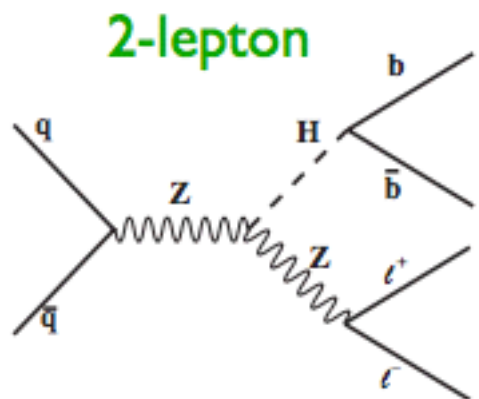
Preliminary sensitivity  $\sim 2\sigma$   
Results not yet conclusive

## What we need for Run2:

Some channel affected by trigger inefficiency  
-> FTK



Improved discrimination between b-jets and standard jets  
-> IBL/ITK

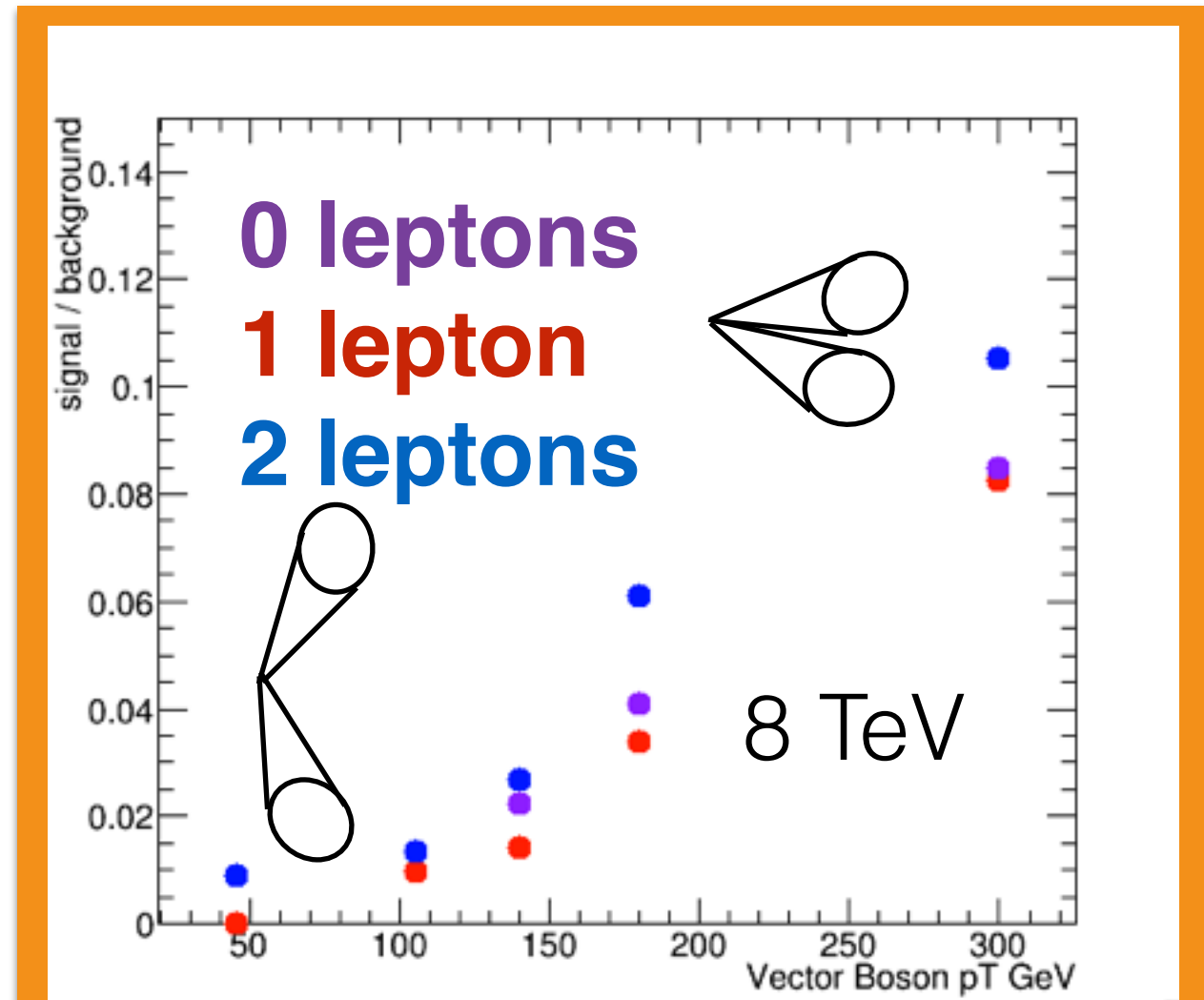


## Future possibilites

Final state can be used in BSM extension Higgs sector searches (2HDM), and invisible Higgs

## BR(H->bb)~57%

Unique opportunity to validate this in the optics of studies rare processes involving Higgs



Nette amélioration de S/B à grand  $p_T$  du boson vecteur  
 $\sqrt{s}=14$  TeV améliorera encore les choses.

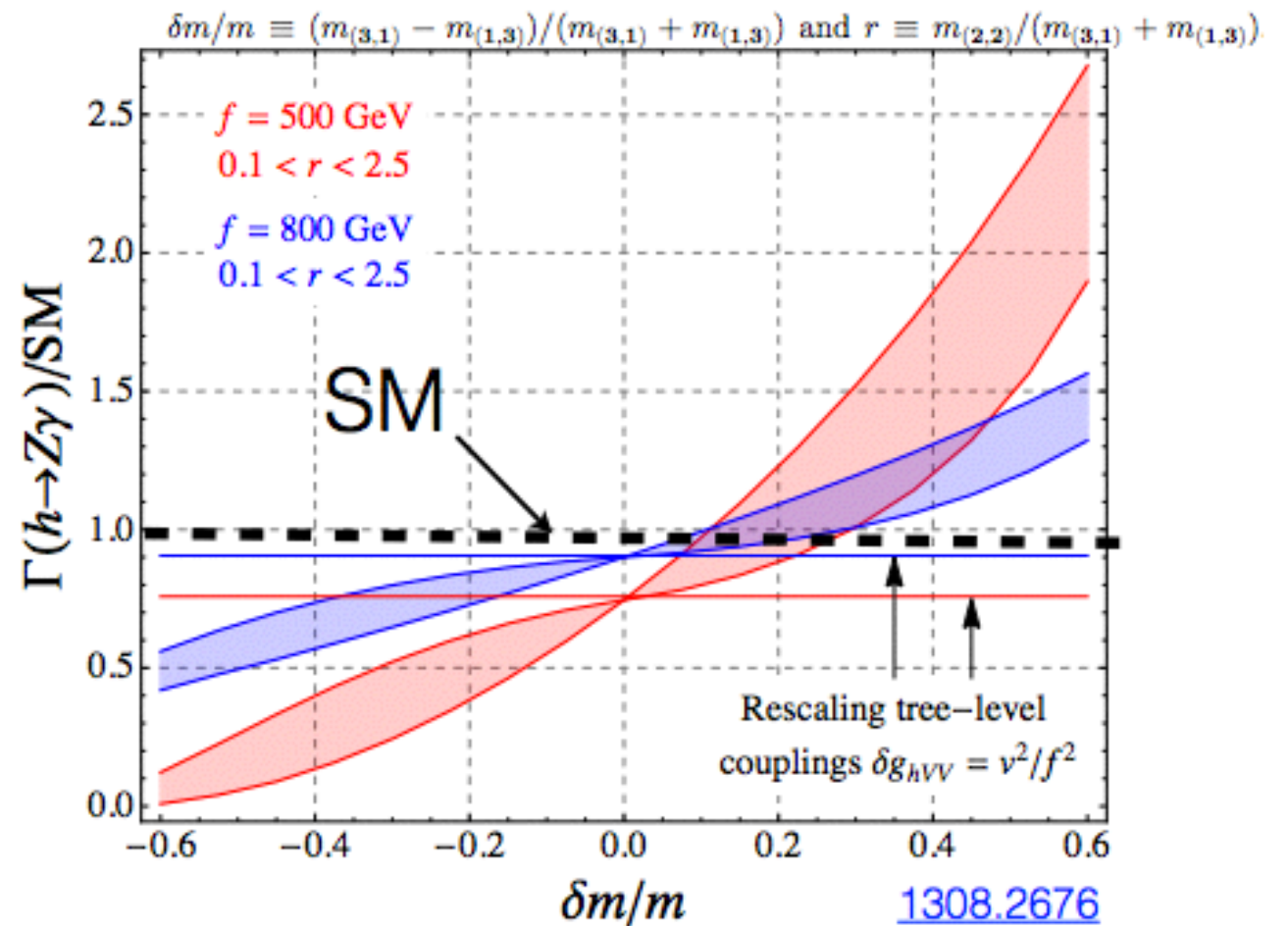
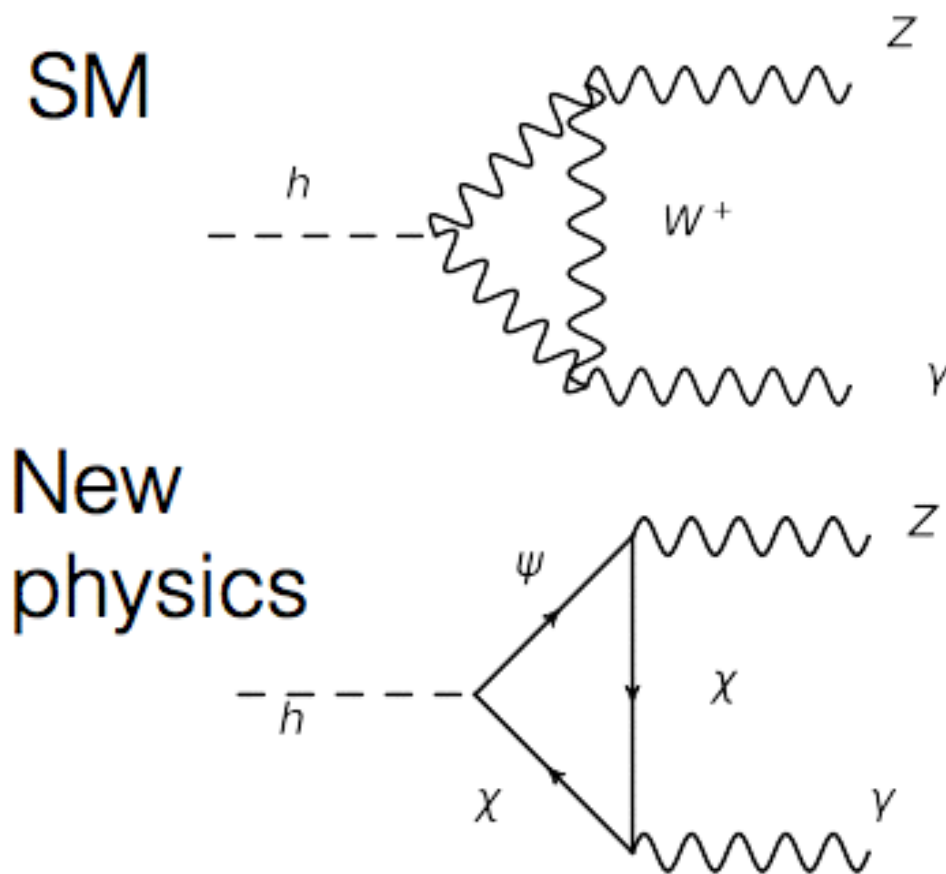


# Higgs: hors de portée du Run 1

$H \rightarrow Z\gamma$  : canal sensible à des corrections de boucles non présentes dans les corrections de boucles de  $\gamma\gamma$  et  $gg$  (pour couplage chiral)

Run 1 limit:  $11 \times \sigma_{SM}$  ( $9 \times \sigma_{SM}$  attendu)

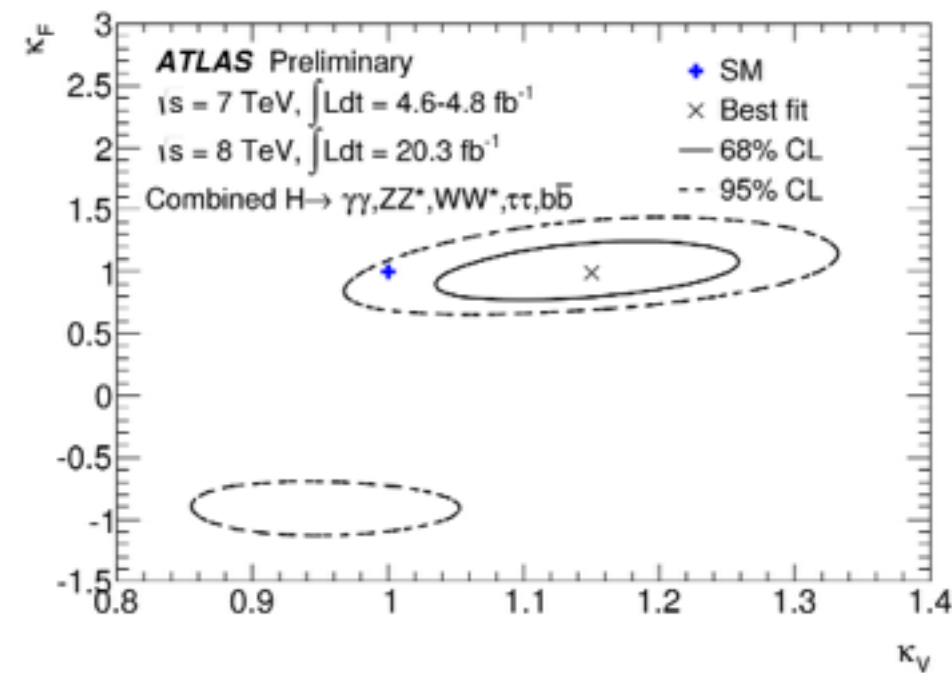
Attendu pour  $3000 \text{ fb}^{-1}$ : 4 sigma pour MS



# Couplages du Higgs

Pas de NP (jusqu'ici) au Run 1

Nouveaux états  $m^*$  ( $> 1$  TeV) induisent un décalage des couplages ( $c$ ) du Higgs à plus basses énergies



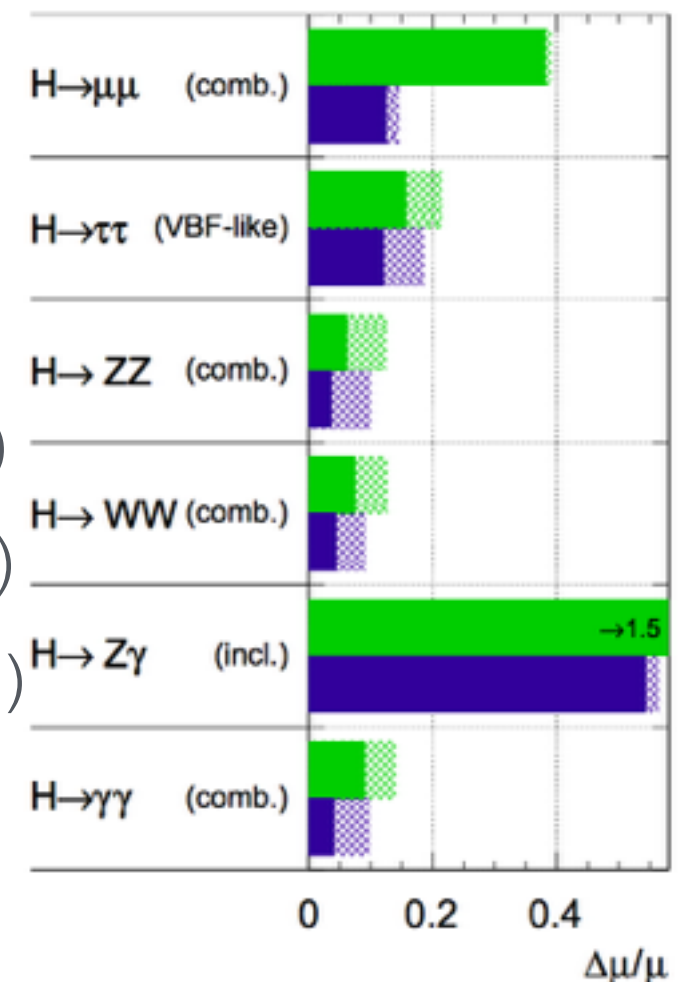
$\delta c < 5\%$  intéressant pour la physique à la escale du 1-10 TeV

Important de faire des mesures de précision des couplages du Higgs

$$\delta c \sim O\left(\frac{g_*^2 v^2}{m_*^2}\right)$$

$v = \text{VEV}$   
 $g_* = \text{coupling strength}$

ATLAS Simulation Preliminary  
 $\sqrt{s} = 14$  TeV:  $\int Ldt = 300$  fb $^{-1}$ ;  $\int Ldt = 3000$  fb $^{-1}$



- Couplages au bosons vecteurs (Run 1: 20-30%)
- Couplages au fermions (Run 1: 30-50%)
- Auto-couplage (MS 10 ans?) (Hors porté de Run 1)
- + mesure de précision de MS.



# Largeur du Higgs

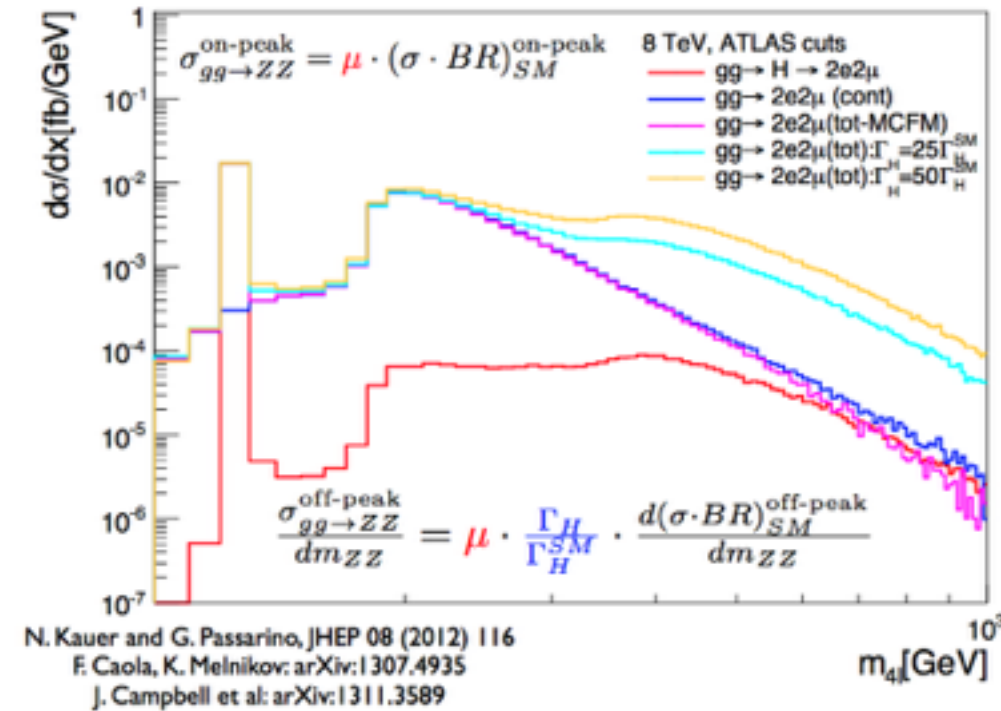
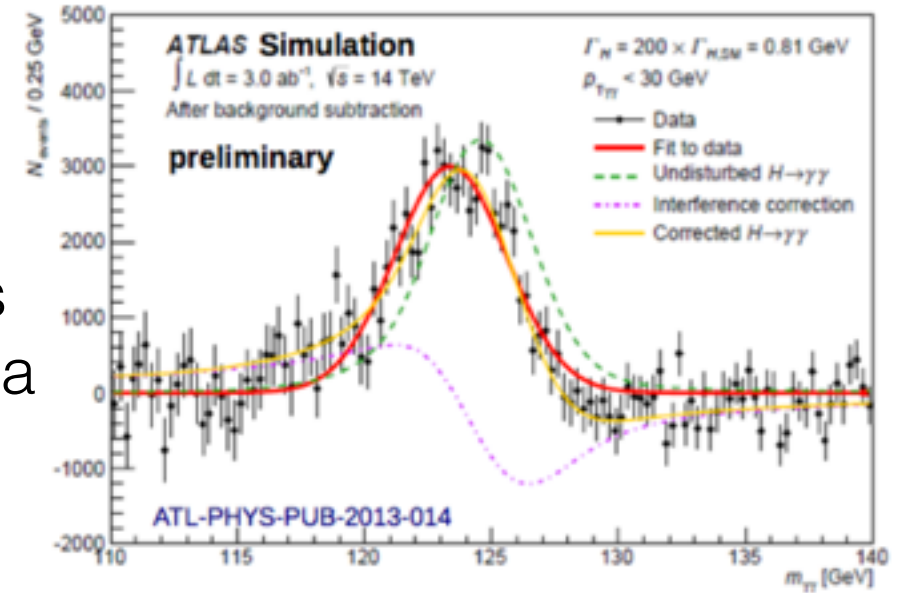
LHC n'a pas accès direct à la section efficace totale du Higgs  
 Largeur SM:  $\Gamma = 4$  MeV très petit pour une mesure direct avec la line shape

- étudier tous les canaux autant que possible
- interférométrie avec la masse  $\gamma\gamma$

Prévisions pour ATLAS:  $\Gamma < 200$  MeV avec  $3000 \text{ fb}^{-1}$

- mesure  $VV$  à les hautes masses (off shell)

Limit pour CMS:  $\Gamma < 16.8$  MeV (34 MeV attendu)



# Spin-Parité du Higgs

Étendre les études du spin sur tous les canaux

- $VH \rightarrow bb$

Étudier si la nouvelle particule est une mélange de différents états CP

- fusion de bosons vecteurs, production associée  
 Intéressant pour modèles 2HDM... prochaine page

→ 2 doublets?

# Recherche de



**2HDM:**

2 doublets?

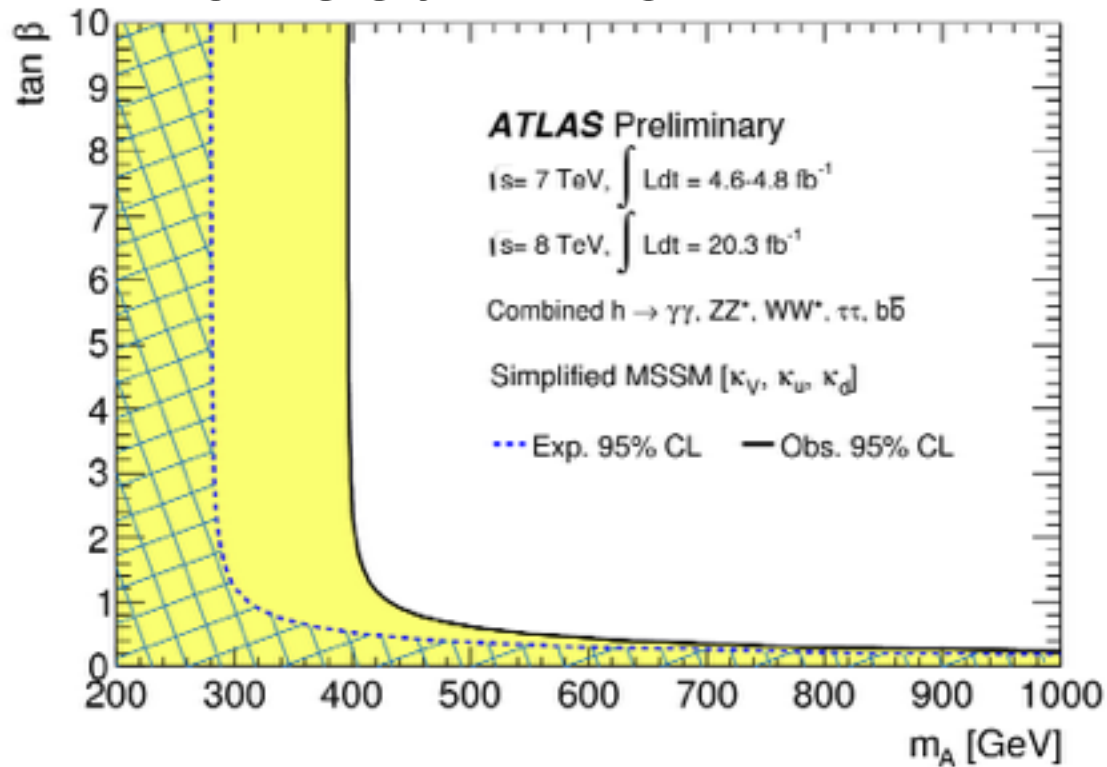
**5 bosons scalaires :**

$h, H$ : CP pair

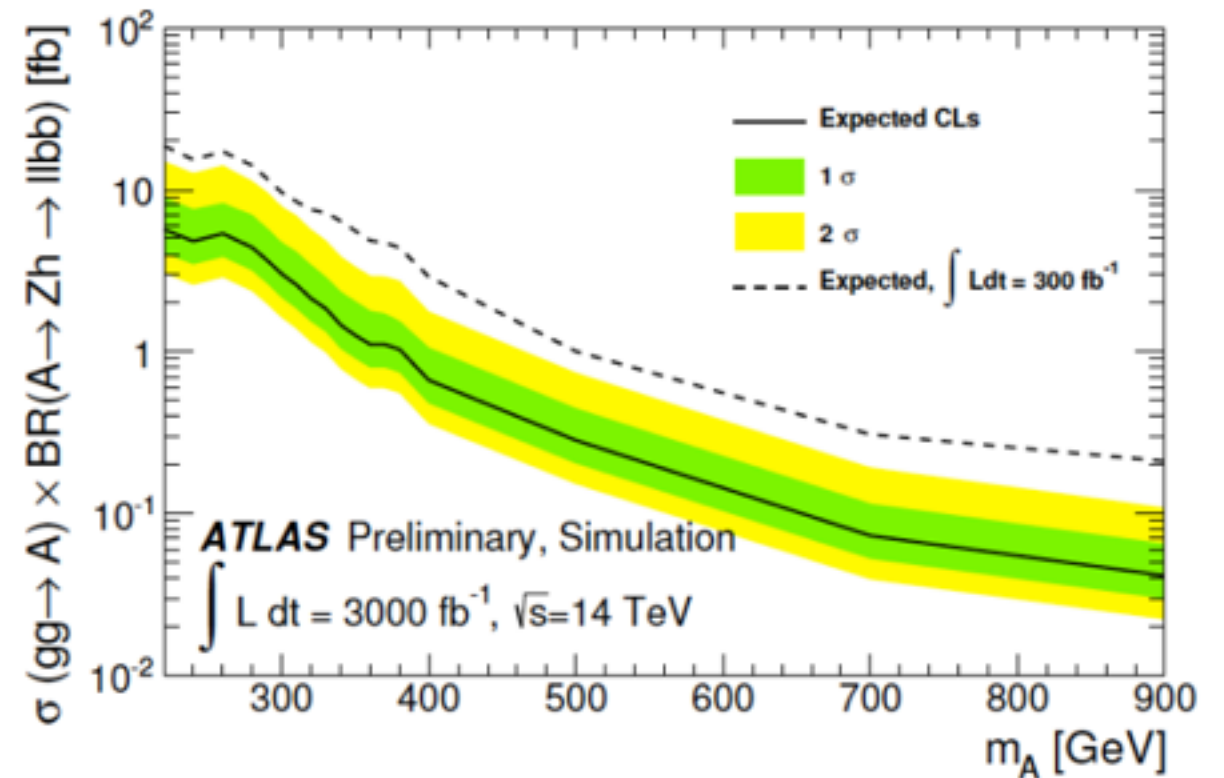
$A$ : CP impair

$H^+, H^-$ : chargé

Indirect in Run1



**NOTE: SUSY-MSSM est un cas spécial de 2HDM**



Direct pour Run2 - HL-LHC

$A \rightarrow Zh \rightarrow \nu\nu b\bar{b}$

$A \rightarrow Zh \rightarrow l\bar{l} b\bar{b}$

$A \rightarrow Zh \rightarrow \nu\nu\gamma\gamma$

$A \rightarrow Zh \rightarrow l\bar{l}\gamma\gamma$

$A \rightarrow Zh \rightarrow jj\gamma\gamma$

Pour  $m_A \sim 250-300$

Attendu

3 fb

14 fb

# Higgs et Matière Noire

Interaction des 2 doublets peut produire:

$h \sim >$  SM-like Higgs

$H \rightarrow$  **Matière noire**

**Inert Dark Matter**

**H a une interaction avec la matière grâce à h**

$$Zh \rightarrow ll+HH(\text{DM})$$

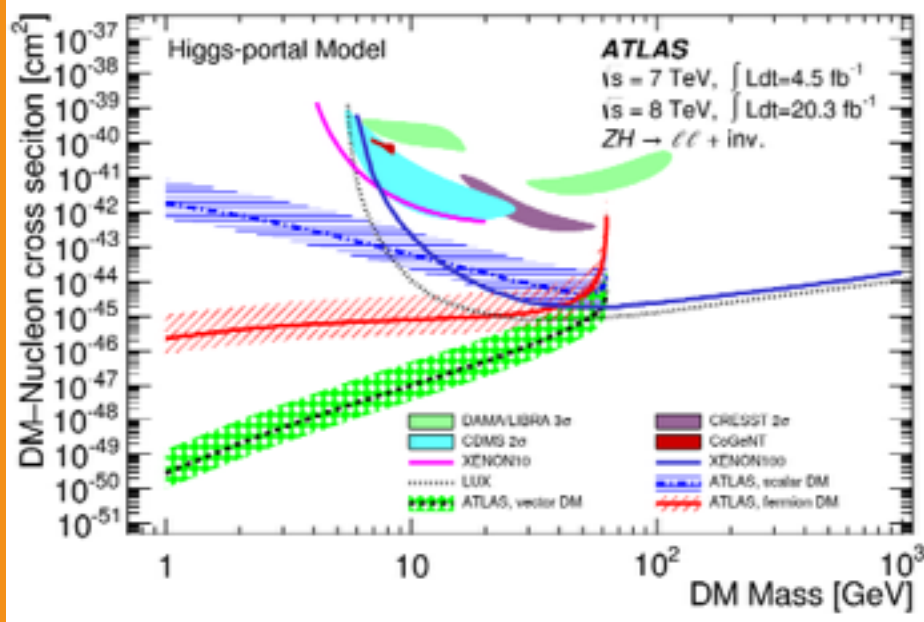
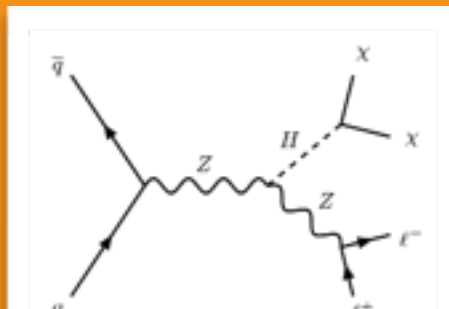
$$Zh \rightarrow bb+HH(\text{DM})$$

$$h \rightarrow \gamma\gamma$$

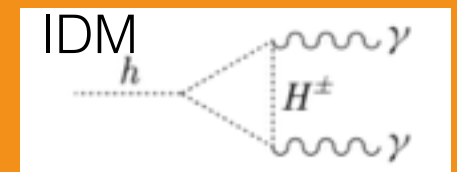
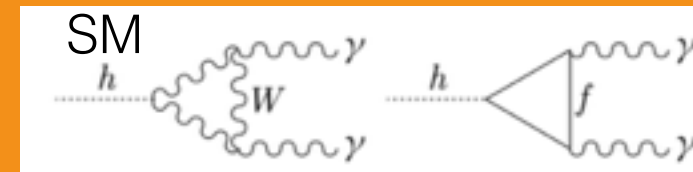
$$hHH \rightarrow \gamma\gamma+HH(\text{DM})$$

...

## Recherche direct



## Couplage $\gamma\gamma$



si  $R_{\gamma\gamma} > 1$ :

$$M_H > M_h/2$$

In ATLAS  $R_{\gamma\gamma} = 1.55 \pm 0.3$

Limite sur  $R_{\gamma\gamma}$  comparable à celle obtenue avec la recherche directe



# Higgs et Matière Noire

Interaction des 2 doublets ne peut produire:

$$Z h \rightarrow H \pm H H (DM)$$

$h \sim > \text{SM-like}$

$H \rightarrow \text{Matière}$

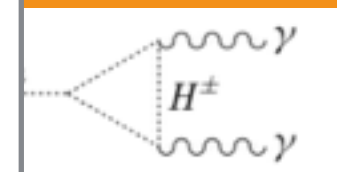
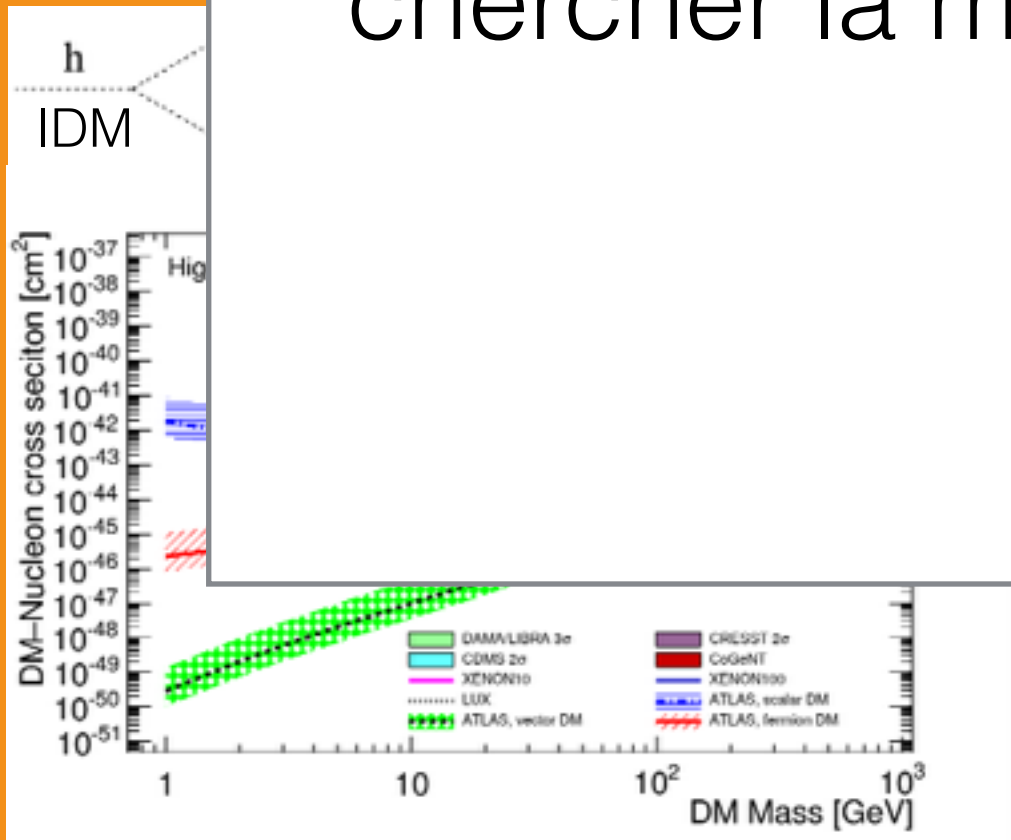
$H$  a une in

$H(DM)$

$H(DM)$

Seulement une des possibilités pour chercher la matière noire au LHC

Recherche

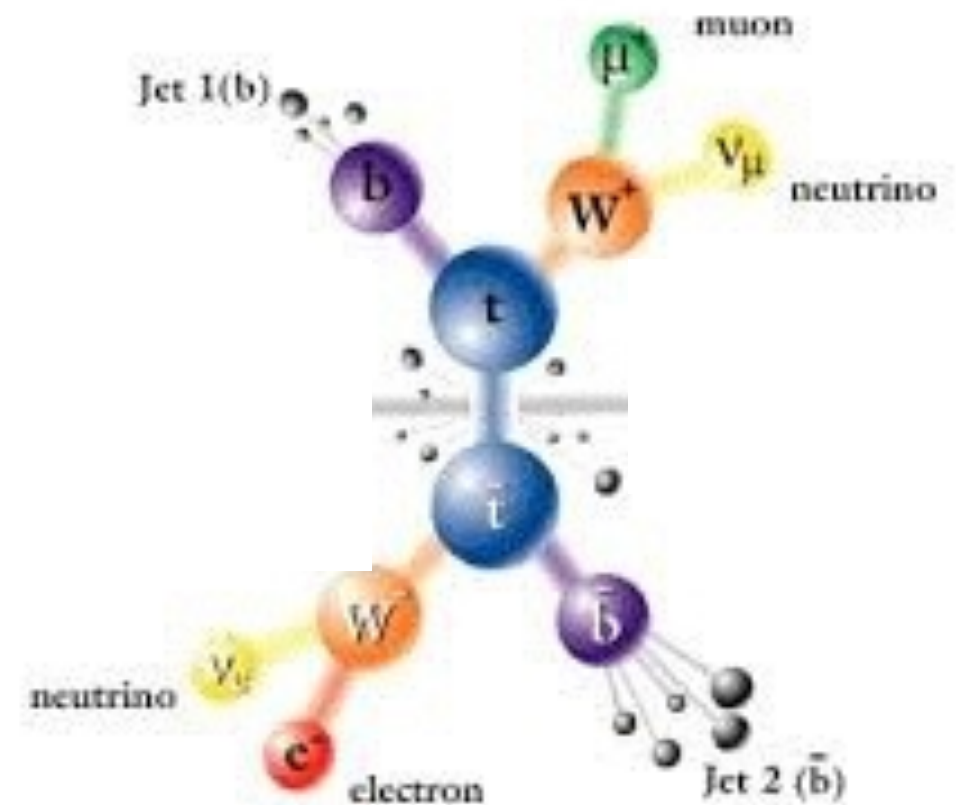


$\epsilon = 0.3$

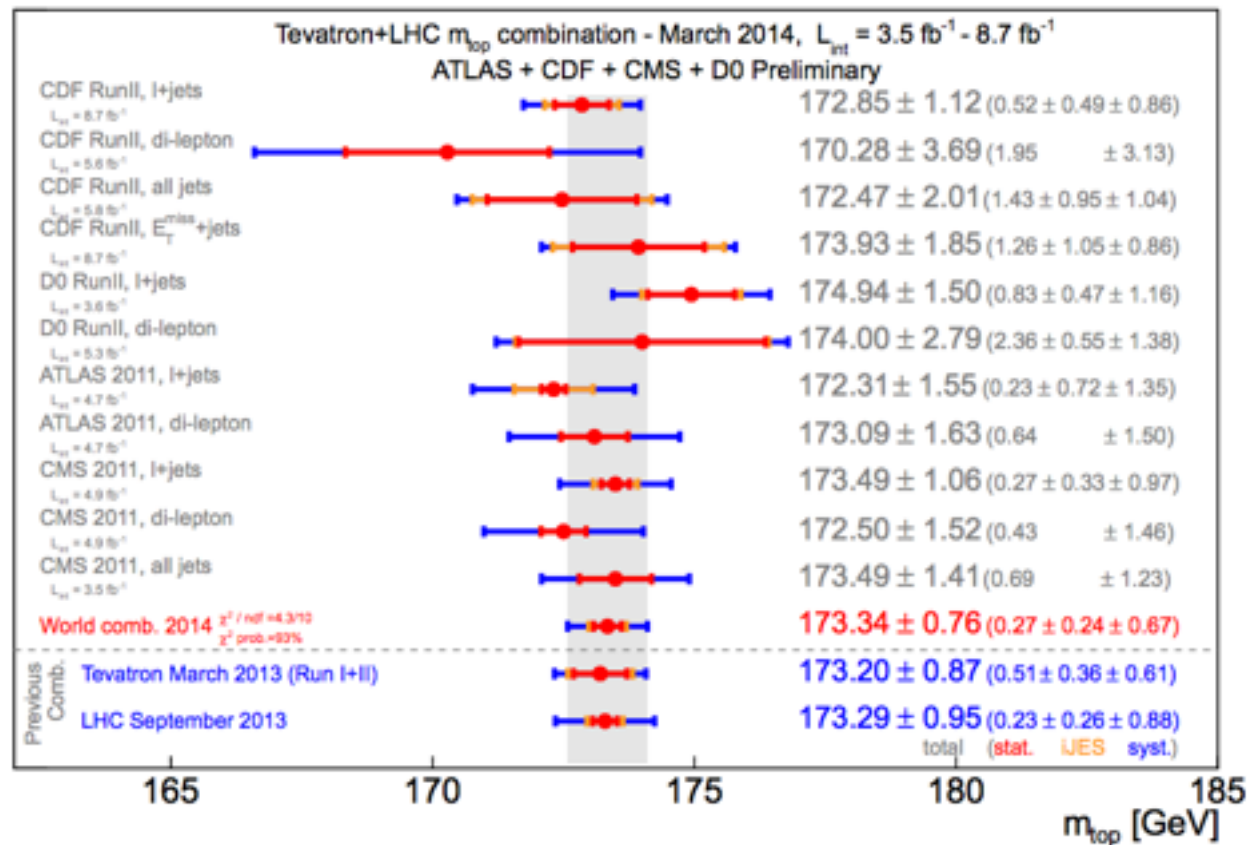
Limite sur  $\sigma_{\gamma\gamma}$  comparable à celle obtenue avec la recherche directe

# Physique du Top

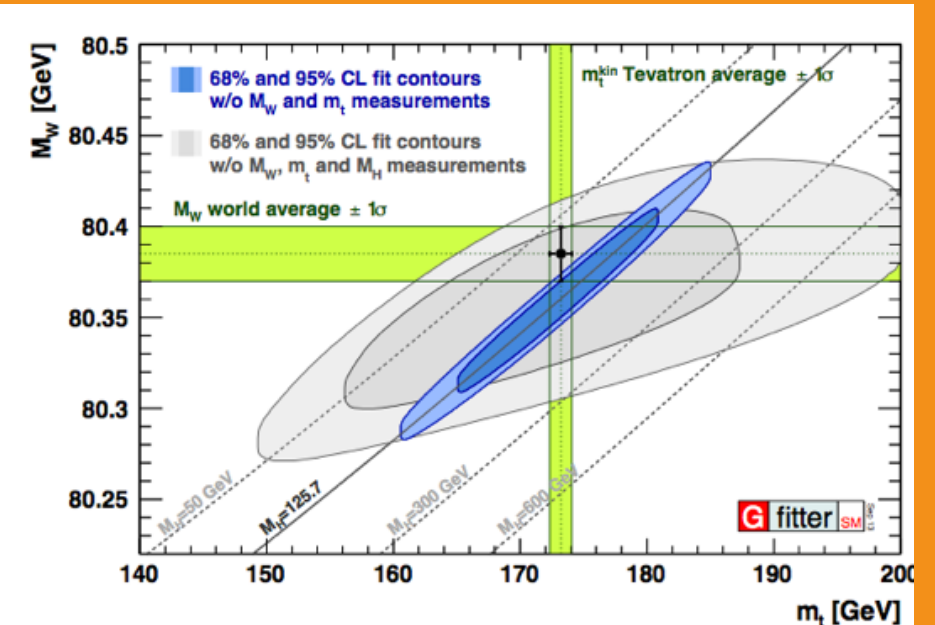
- Mesure précise de la section efficace  $t\bar{t}$
- Mesure précise de la masse du top
- Mesure précise de canal single-top
- Recherches avec le top
  - Désintégrations rares
  - Etat final multi top
  - $t\bar{t}V$ ;
  - $t\bar{t}H$ ;
  - $t\bar{t}H$ ;
  - ...



# Masse du top:



Mesure de precision d'un ménage à trois: t,W,H:



Indirect (EWK fit)

$$M_W = 80.359 \pm 0.011$$

Direct (World average)

$$M_W = 80.385 \pm 0.015$$

- Combinaison LHC Run1+Tevatron:  $173.34 \pm 0.760$  GeV

- Mesure precise de la masse du top avec  $3000 \text{ fb}^{-1}$ : Possible  $\sim 200\text{-}300$  MeV?

Mesure de la masse du W avec un error  $< 10$  MeV. Un rêve?



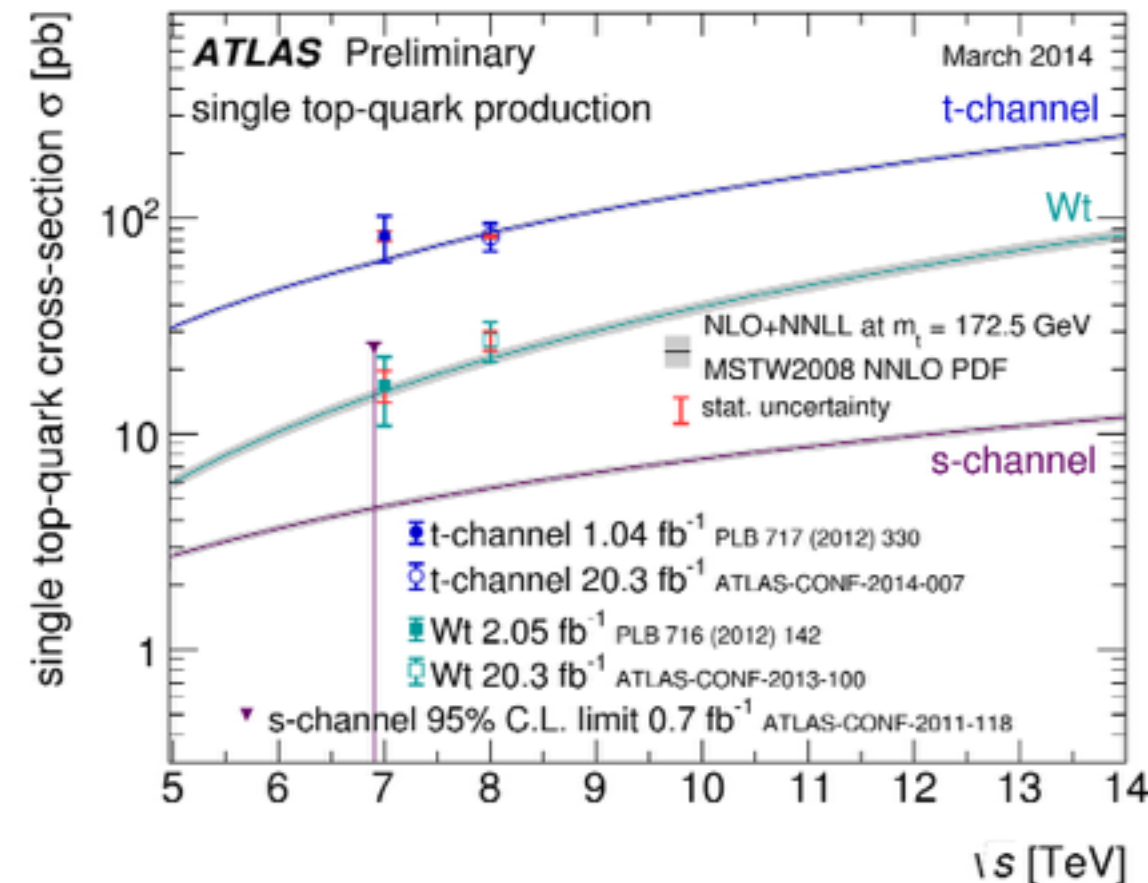
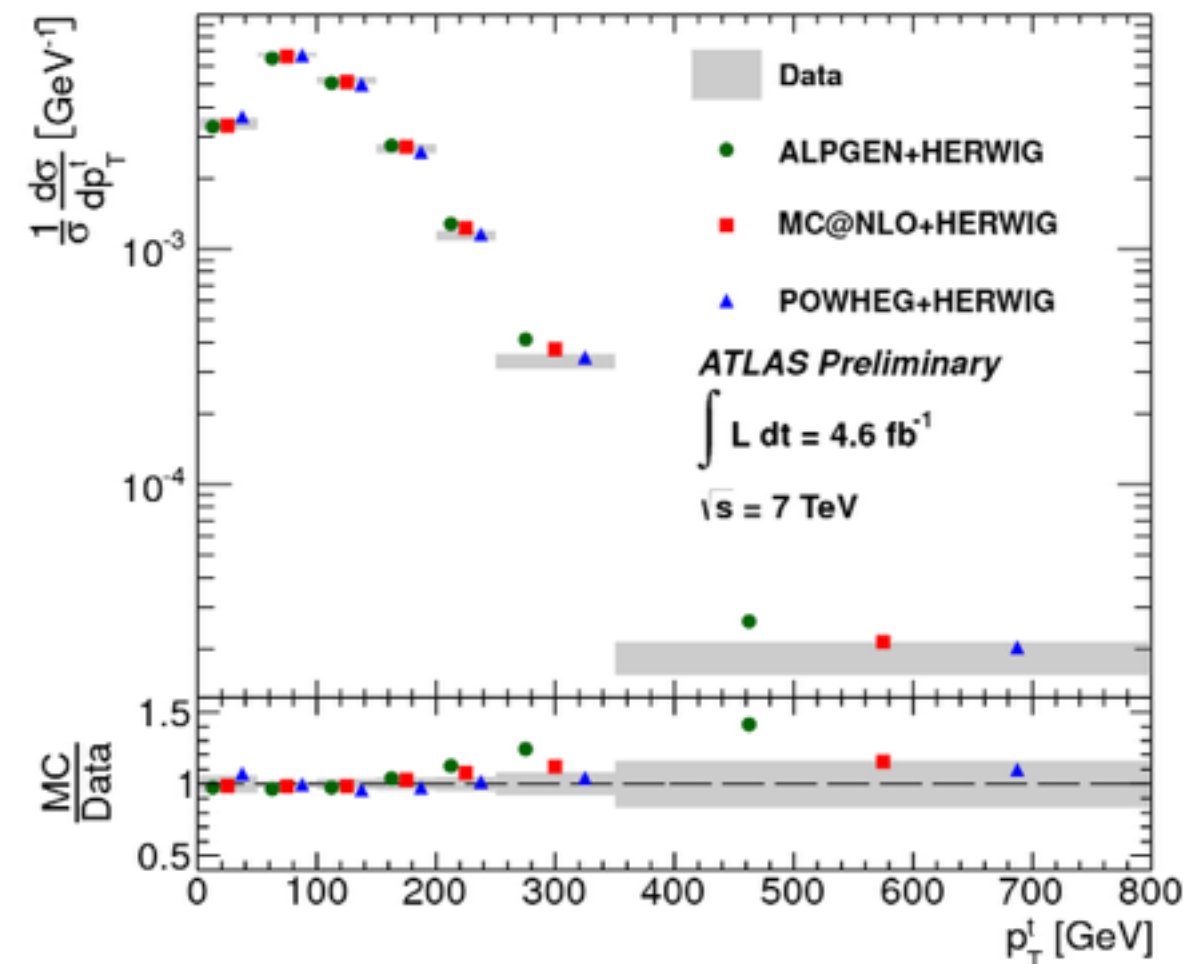
# Section efficace du top

- **ttbar:**

- Mesure precise de la section efficace
- Différenciez in  $p_T$  + unfolding
  - Fundamental pour modéliser la physique du top et la PDF du gluon.

- **Single top:**

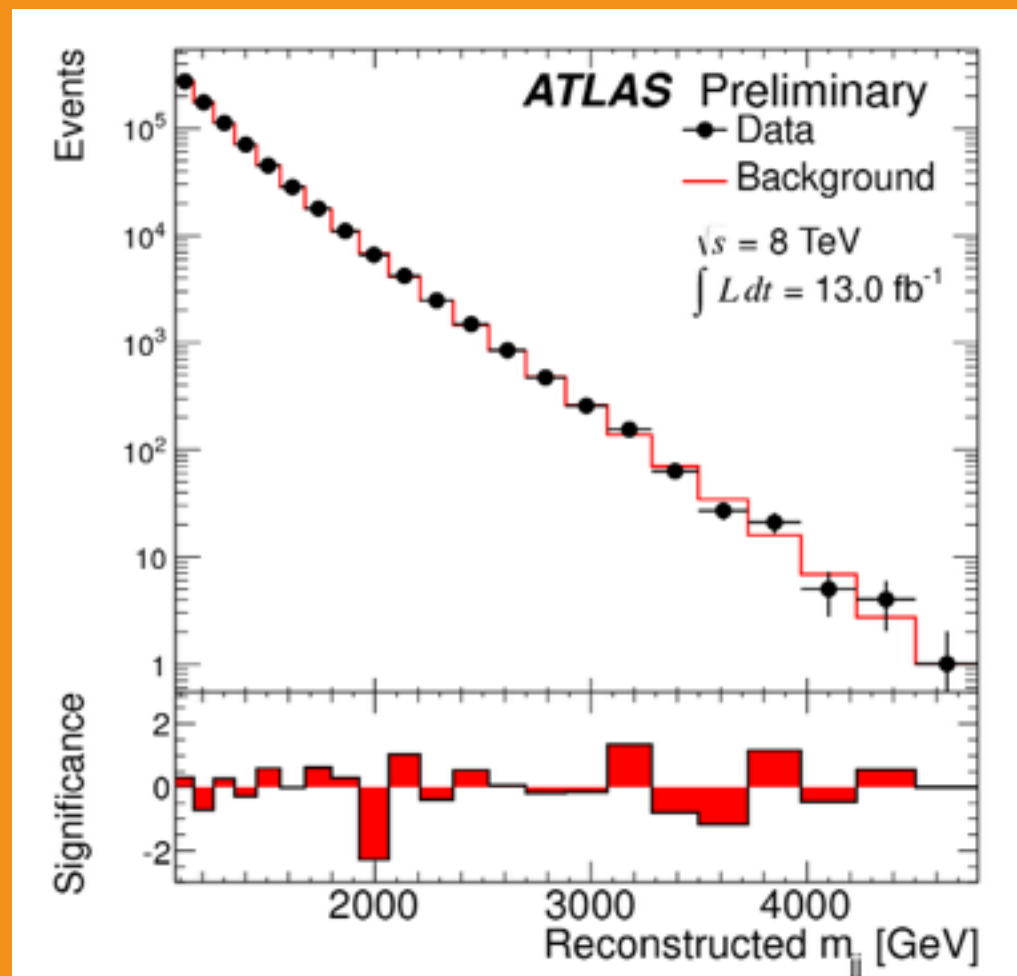
- Améliorer la precision dans les canaux t et Wt
- Canal s possible au Run 2



# Mesures/Recherches

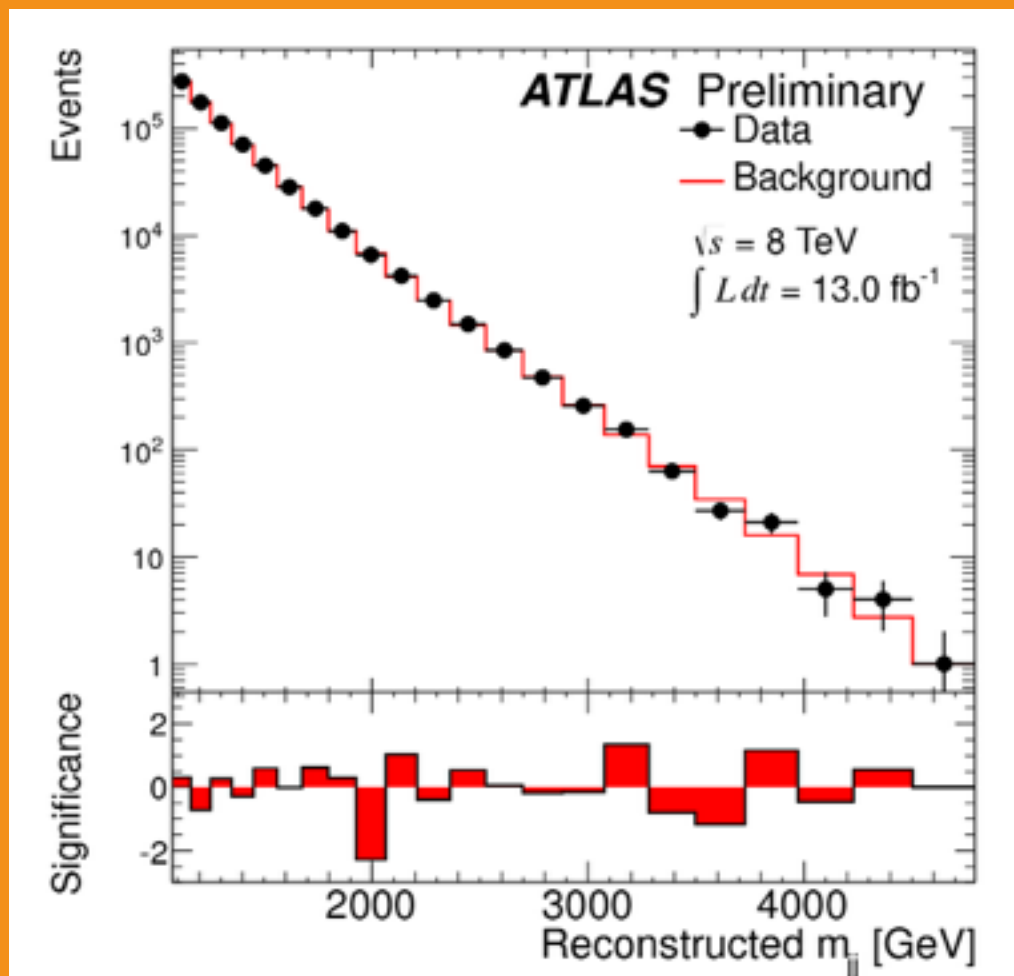
## Modele Standard

- Recherche rapide de pic, ou de queue dans la distribution  
Probablement la premier chose à faire à le re-démarrage



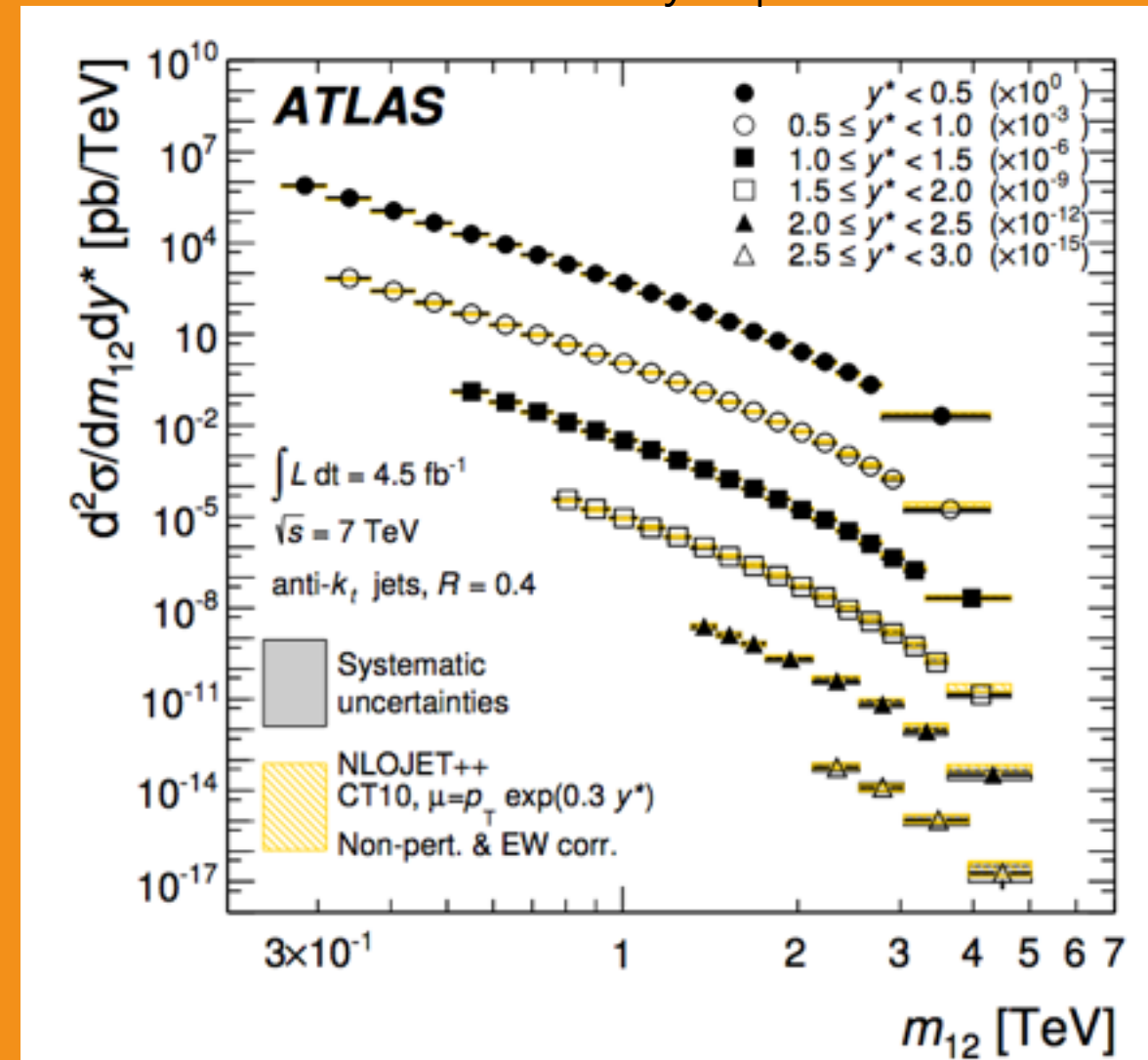
# Mesures/Recherches Modele Standard

- Recherche rapide de pic, ou de queue dans la distribution  
Probablement la premier chose à faire à le re-démarrage



MAIS

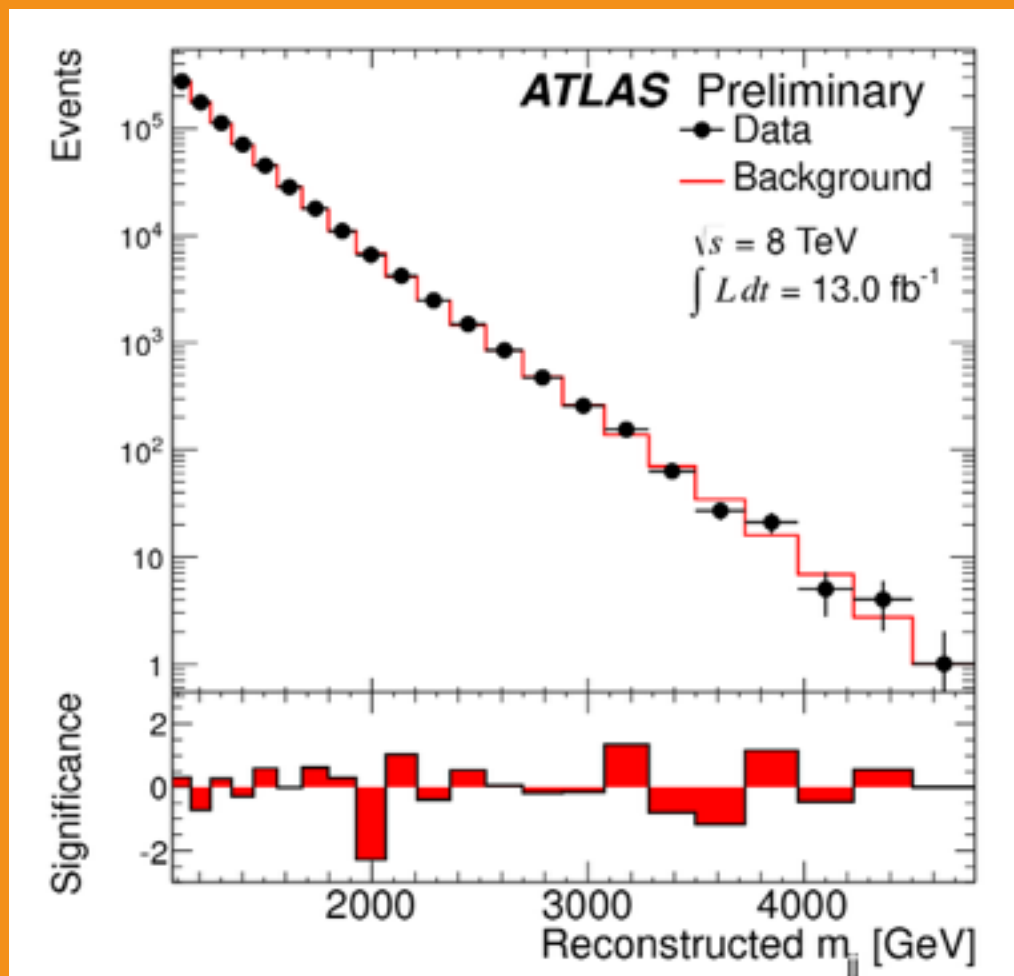
Mesures de precision du MS  
 -> Interessant en soi  
 -> Information sur la QCD  
 -> Nécessaire pour mettre de meilleures limites sur la Nouvelle Physique





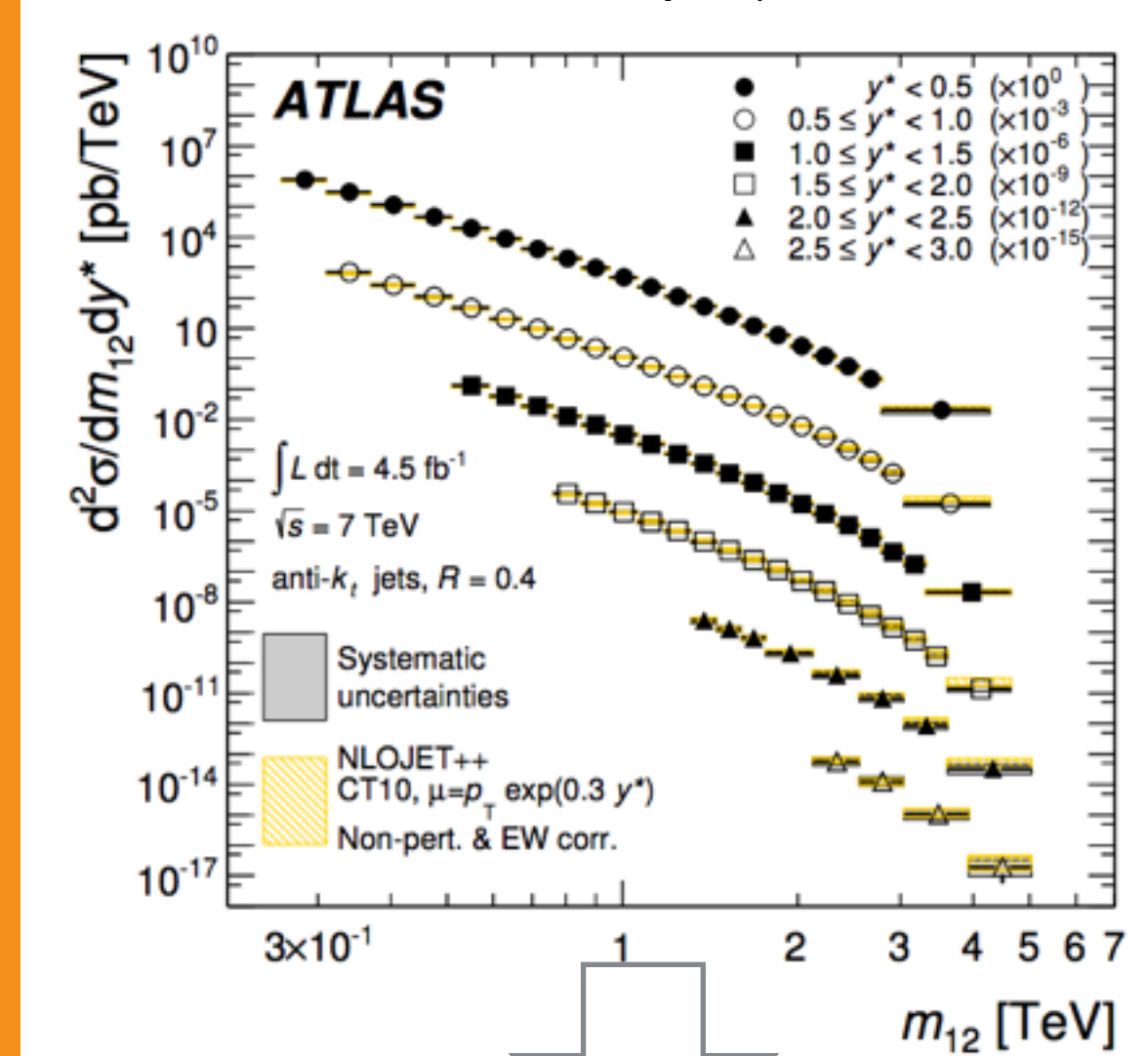
# Mesures/Recherches Modele Standard

- Recherche rapide de pic, ou de queue dans la distribution  
Probablement la premier chose à faire à le re-démarrage



MAIS

- Mesures de precision du MS
- > Interessant en soi
- > Information sur la QCD
- > Nécessaire pour mettre de meilleures limites sur la Nouvelle Physique



PDF set	$\Lambda$ [TeV]			
	$R = 0.4$		$R = 0.6$	
	Exp	Obs	Exp	Obs
CT10	7.3	7.2	7.1	7.1
HERAPDF1.5	7.5	7.7	7.3	7.7
MSTW 2008	7.3	7.0	7.1	6.9
NNPDF2.1	7.3	7.2	7.2	7.0

# Mesures/Recherches Modele Standard

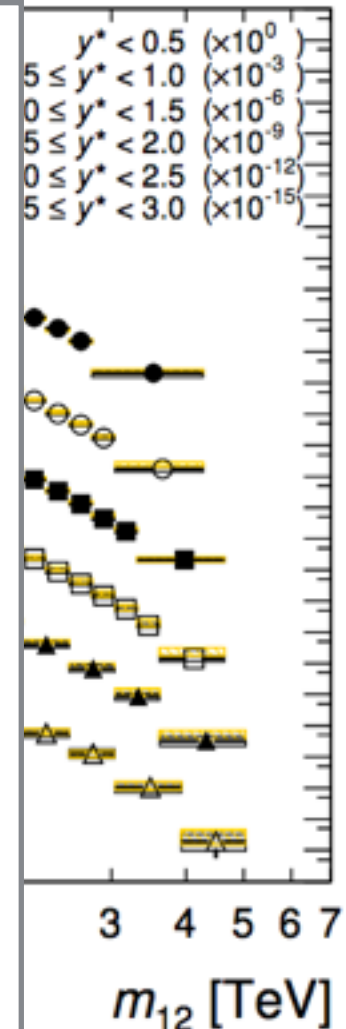
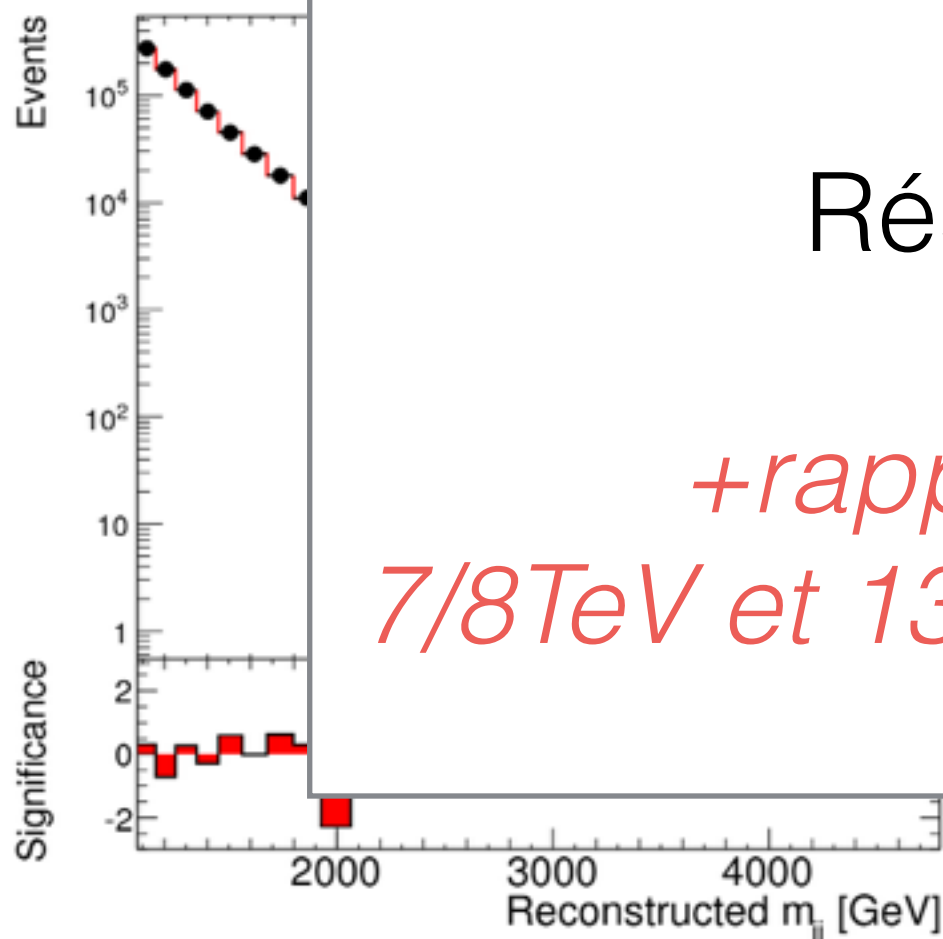
Mesures de precision du MS  
 -> Interessant en soi  
 -> Information sur la QCD  
 -> Nécessaire pour mettre de meilleures limites sur la Nouvelle Physique

- Recherche ou de qu...  
 Probable à faire à l...

Même chose pour des autres canaux:  
 Z+jets,  $\gamma$ +jets,  
 boosted diboson, ttbar,...

Résultats robustes

*+rapports de mesures à  
 7/8 TeV et 13/14 TeV très intéressants*



	Exp	Obs	Exp	Obs
CT10	7.3	7.2	7.1	7.1
HERAPDF1.5	7.5	7.7	7.3	7.7
MSTW 2008	7.3	7.0	7.1	6.9
NNPDF2.1	7.3	7.2	7.2	7.0

# Résonances $t\bar{t}$



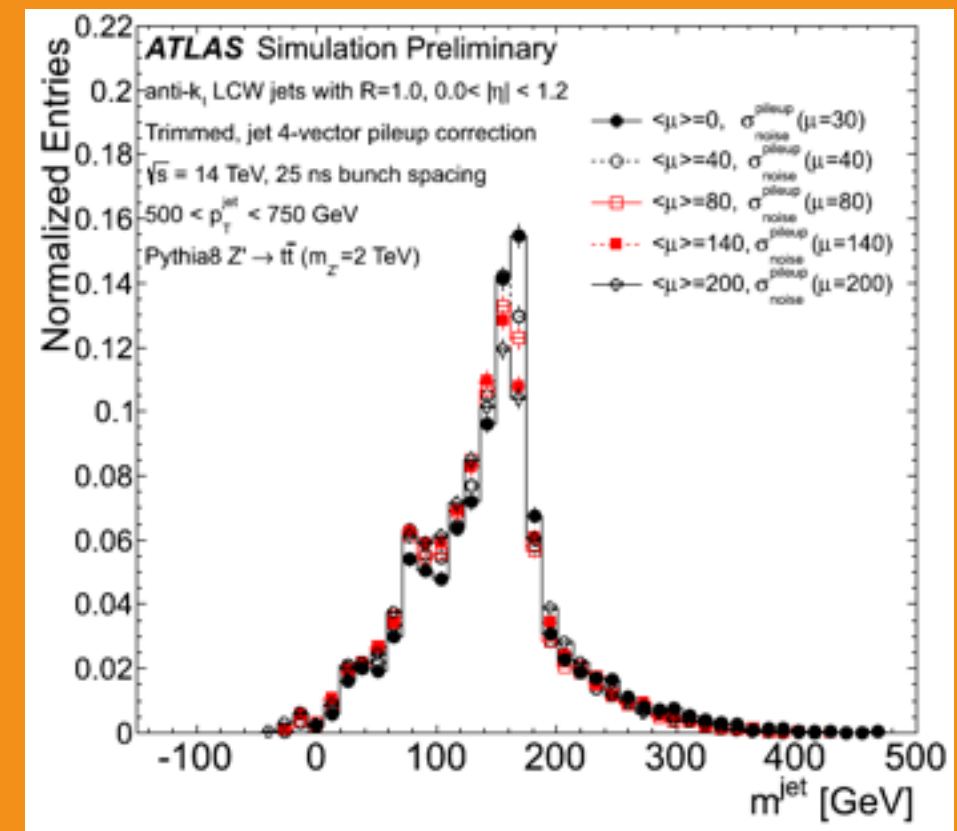
Techniques pour des sous-structures de jet

Résonances  $t\bar{t}$  peuvent être l'empreinte de:

- **Extra dimensions ;**  
par exemple le gluon de Kaluza-Klein ( $g_{KK}$ )  
 $pp \rightarrow g_{KK} \rightarrow t\bar{t}$

- **$Z'$ ;**  
rupture forte de la symétrie électrofaible par la condensation du quark top

$pp \rightarrow Z' \rightarrow t\bar{t}$



model	$300 \text{ fb}^{-1}$	$1000 \text{ fb}^{-1}$	$3000 \text{ fb}^{-1}$
$g_{KK}$	4.3 (4.0)	5.6 (4.9)	6.7 (5.6)
$Z'_{topcolor}$	3.3 (1.8)	4.5 (2.6)	5.5 (3.2)

(in TeV)



# Scénario à la fin du Run2



**Classic**

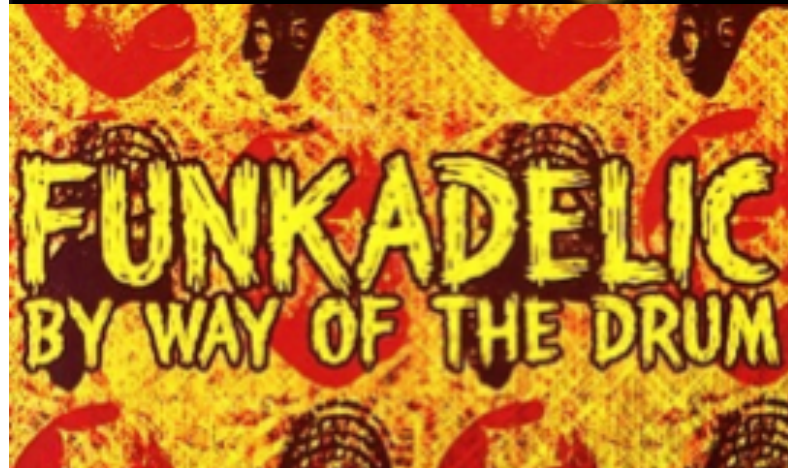
SM



**Jazz**

petites déviations  
du MS

Tensions dans les  
mesures de précision



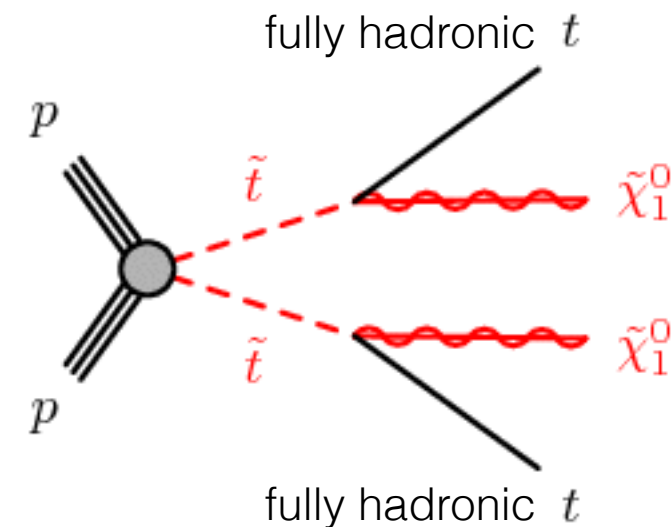
**Funky**

résultats positifs  
dans des  
recherches directes

excès dans le  
de distribution de  
masse de Di-boson  
ou de dijet?  
Susy? DM?



# MET+bb



*Une recherche en SUSY :*

production du sbottom ou du stop.

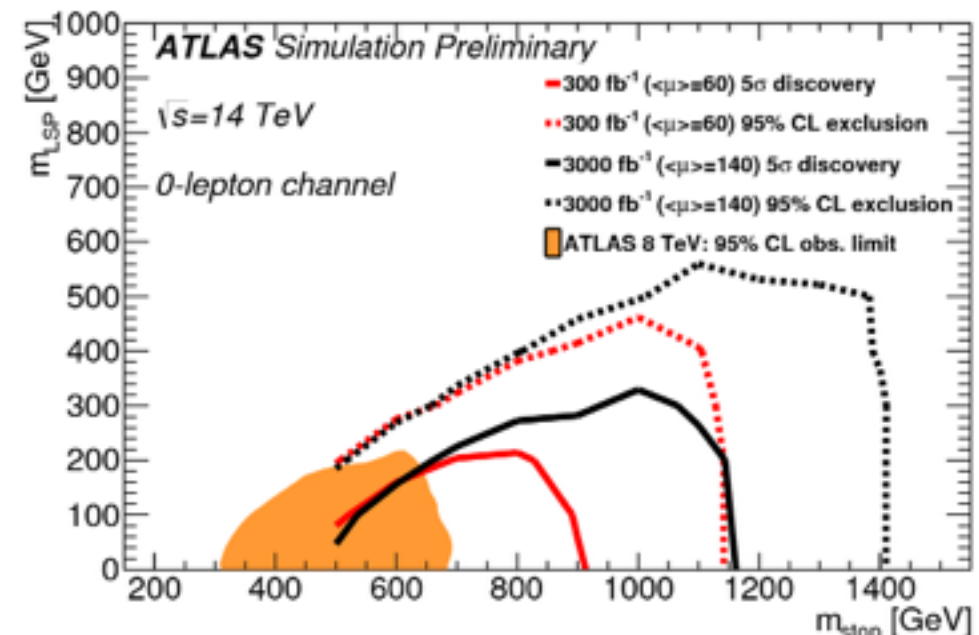
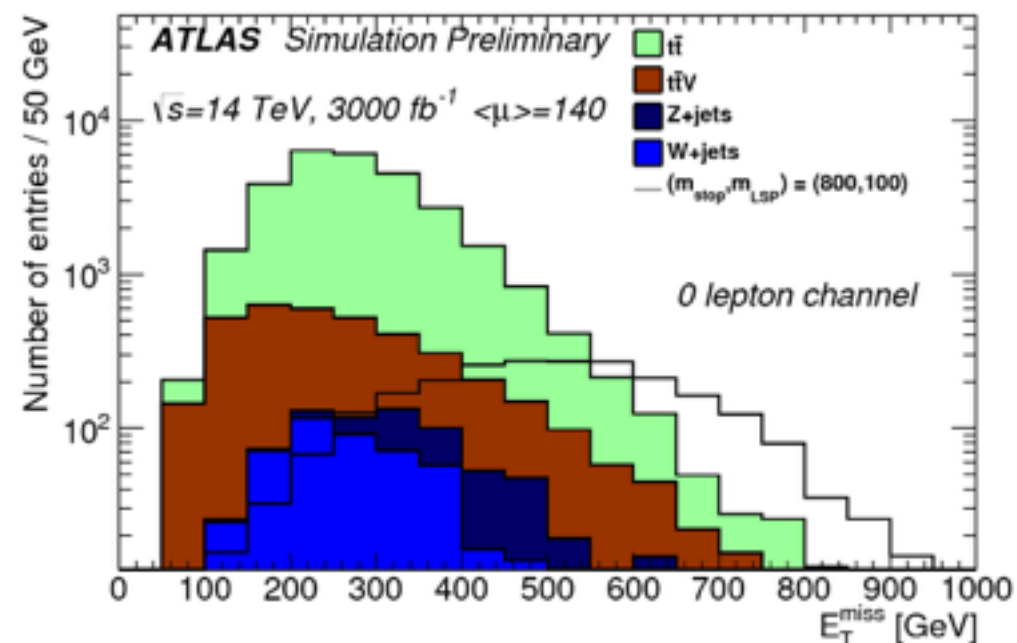
MET+bb+jet

(état final pas différent de VH → bb ou tt)

**Avec 300 fb<sup>-1</sup> il est possible de découvrir un stop de masse 800 GeV, et un  $\chi$  de masse 100 GeV.**

La compréhension des jets, MET, b-tagging sont des améliorations potentielles de l'analyse.

*Quelque chose à considérer pour la première période du Run2?*





# Déviations des couplages: par exemple HWW

En général, une déviation sur le couplage  
→ limite sur l'échelle des nouveaux phénomènes

*Par exemple:*

Déviations sur le couplage HWW implique un problème avec l'unitarité de diffusion WW (si déviation du 20%, échelle intéressante ~ 5 TeV)

**H n'est pas suffisant.**

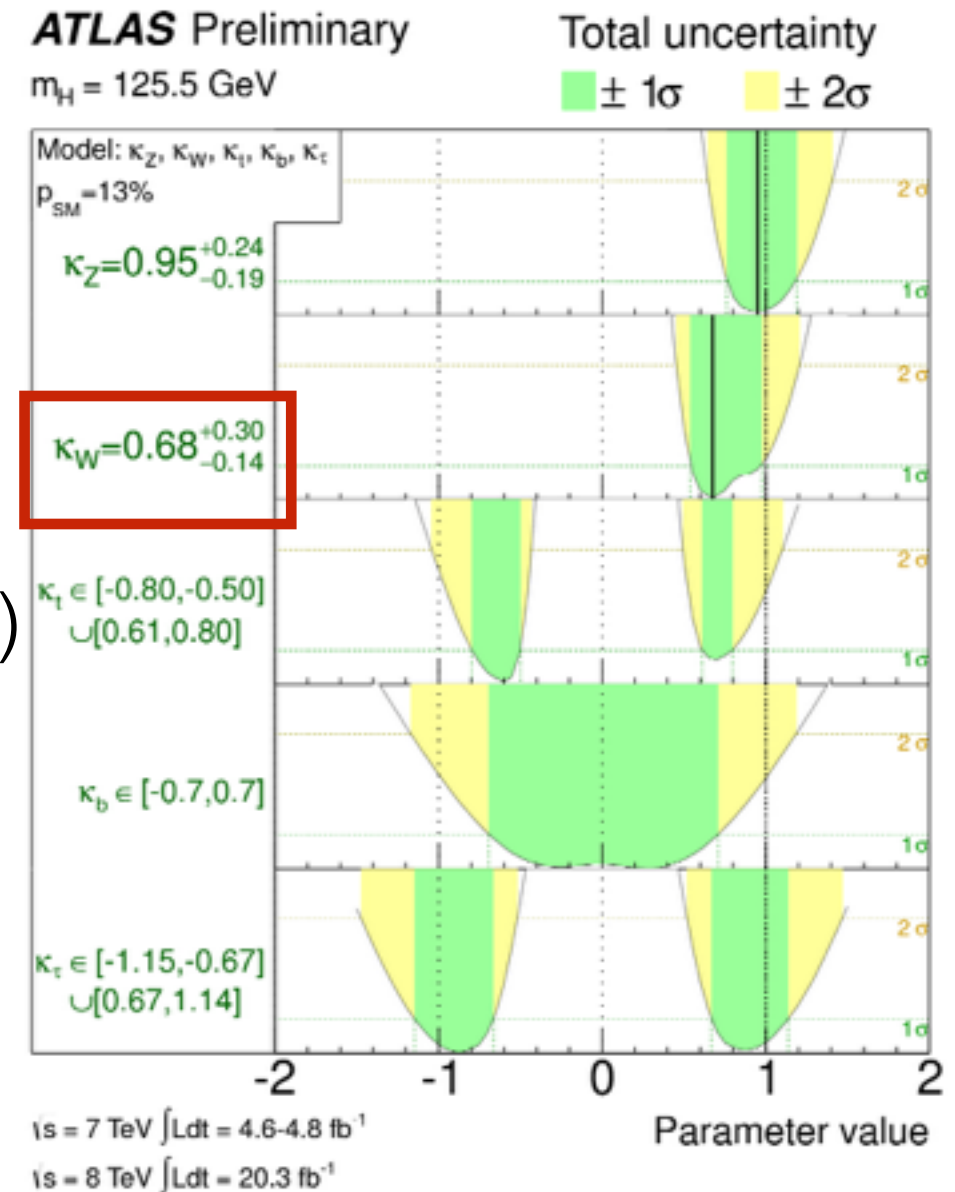


Croissance de la diffusion WW  
OU

Nouvelles résonances



- Mesure de la **diffusion WW**
  - Recherche de **résonance VV**
- très intéressant pour Run2**



$$A \sim \frac{E^2}{v^2} (1 - c_V^2) - c_V^2 \frac{m_h^2}{v^2} \frac{s}{s - m_h^2}$$





Et s'il y a seulement  
le modèle standard ?

Que faire si nous avons seulement le modèle  
standard après les premiers  $100 \text{ fb}^{-1}$  ?

Point de discussion à la biennale !



# ATLAS Upgrades

Plans intensifs des mises à jour pour le Run2

Parmi les autres, résumé rapide de quelque activité spéciale pour LPNHE

- **IBL pour Run2**
- **FTK**
- **Activités RD au delà de Run2**



2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025  
2026  
2027  
...  
2035 (?)

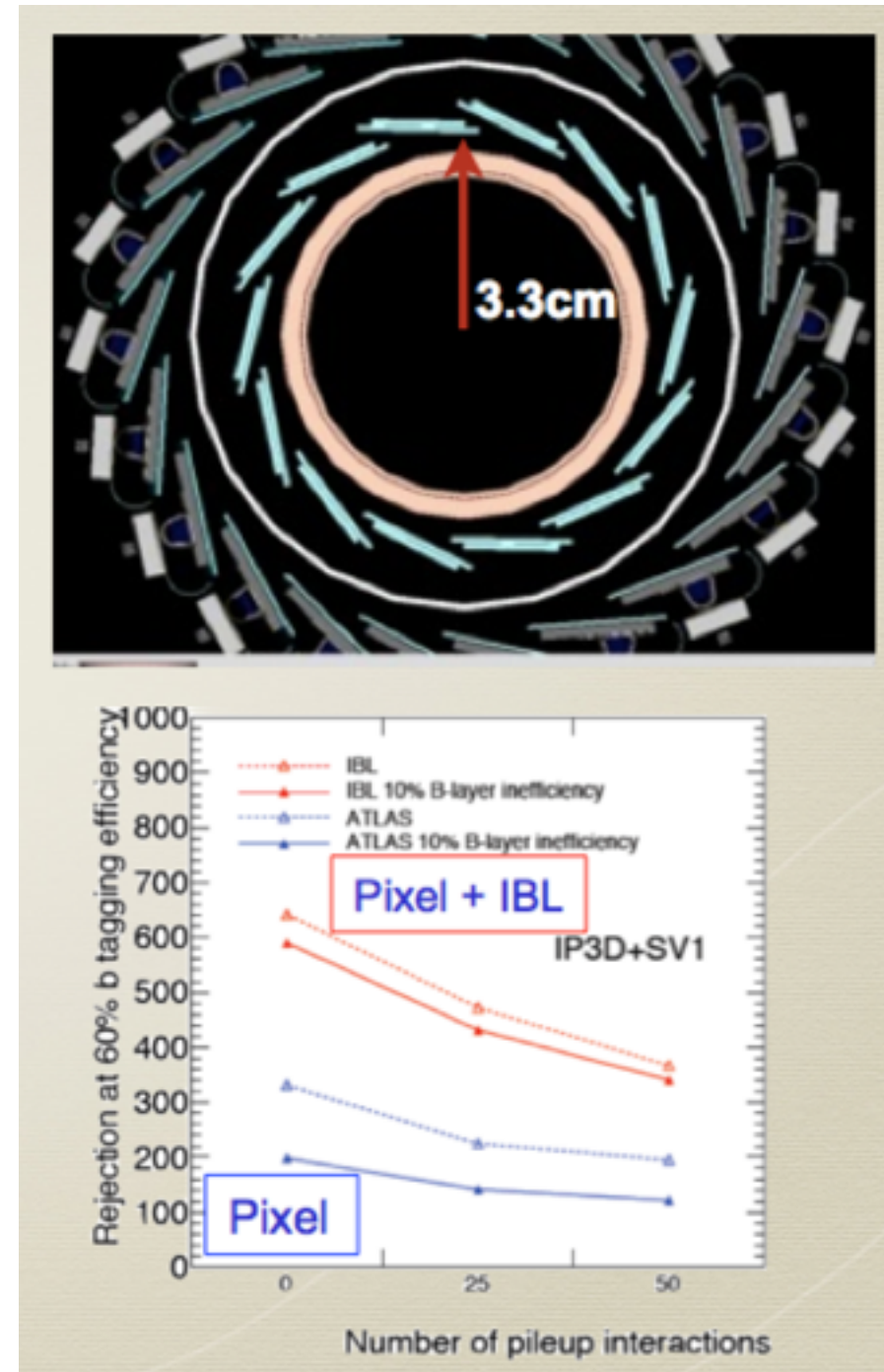
# IBL

## Motivation de physique:

- À  $L=2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  b-tagging efficacité commencera à dégrader
- Robuste tracking en cas de pannes dans le système actuel de Pixel
- Améliorer la résolution du paramètre d'impact, reconstruction du vertex, reconstruction du tau b-tagging en condition de grand empilement

## Une layer supplémentaire pour le tracking

- Restera jusqu'à la phase II



2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025  
2026  
2027  
...  
2035 (?)

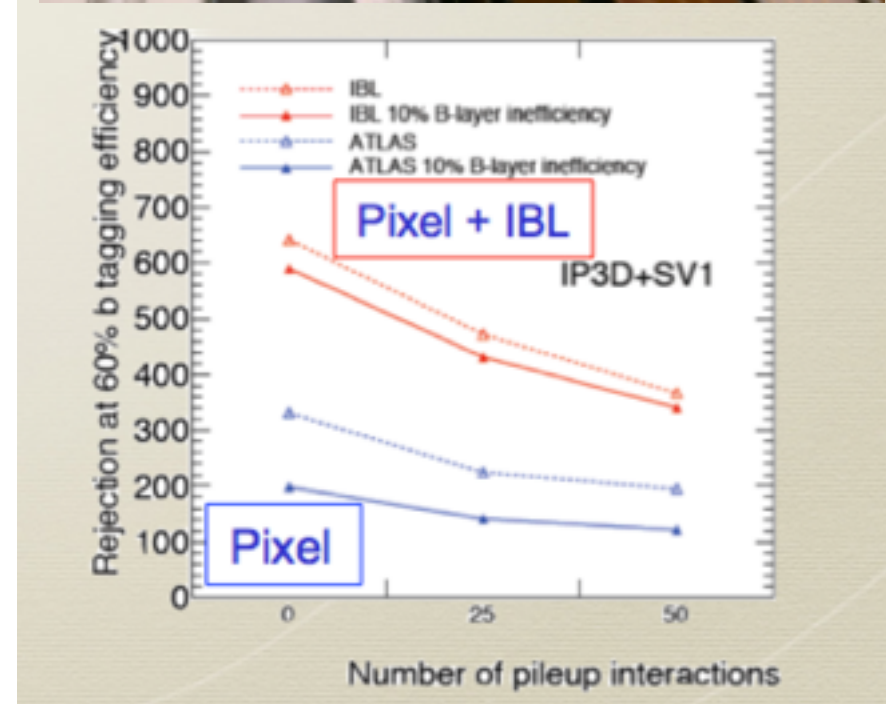
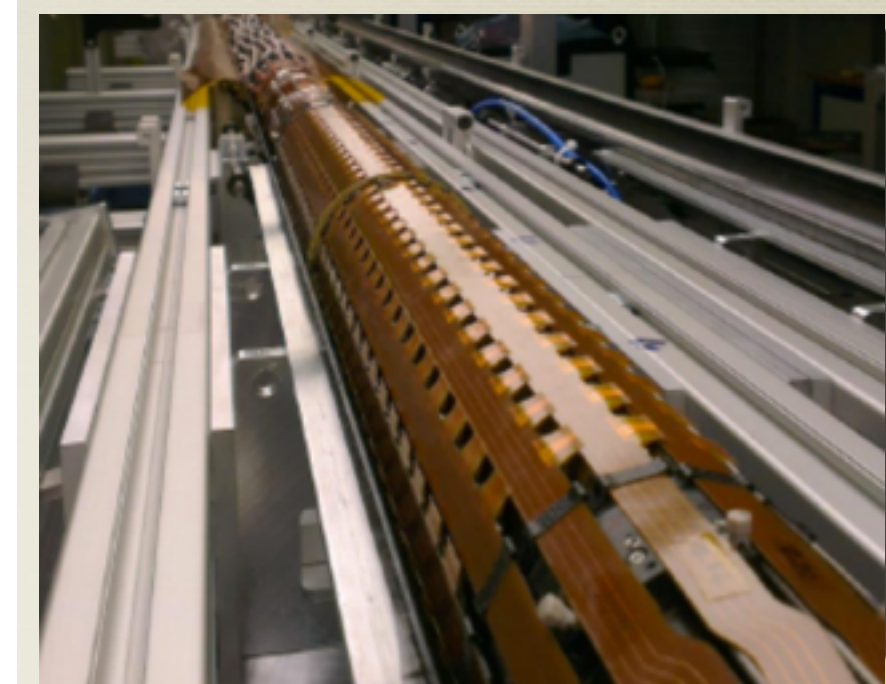
# IBL

## Motivation de physique:

- À  $L=2 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  b-tagging efficacité commencera à dégrader
- Robuste tracking en cas de pannes dans le système actuel de Pixel
- Améliorer la resolution du paramètre d'impact, reconstruction du vertex, reconstruction du tau b-tagging en condition de grand empilement

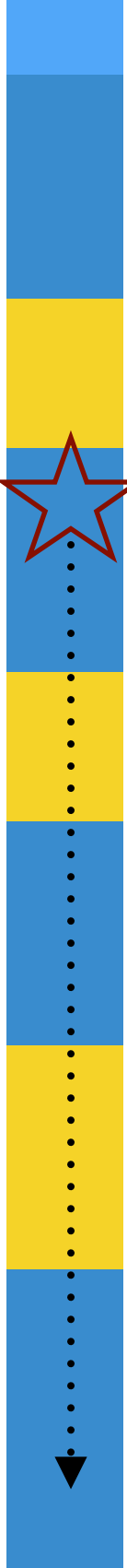
## Une layer supplémentaire pour le tracking

- Restera jusqu'à la phase II





2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025  
2026  
2027  
...  
2035 (?)



# FTK

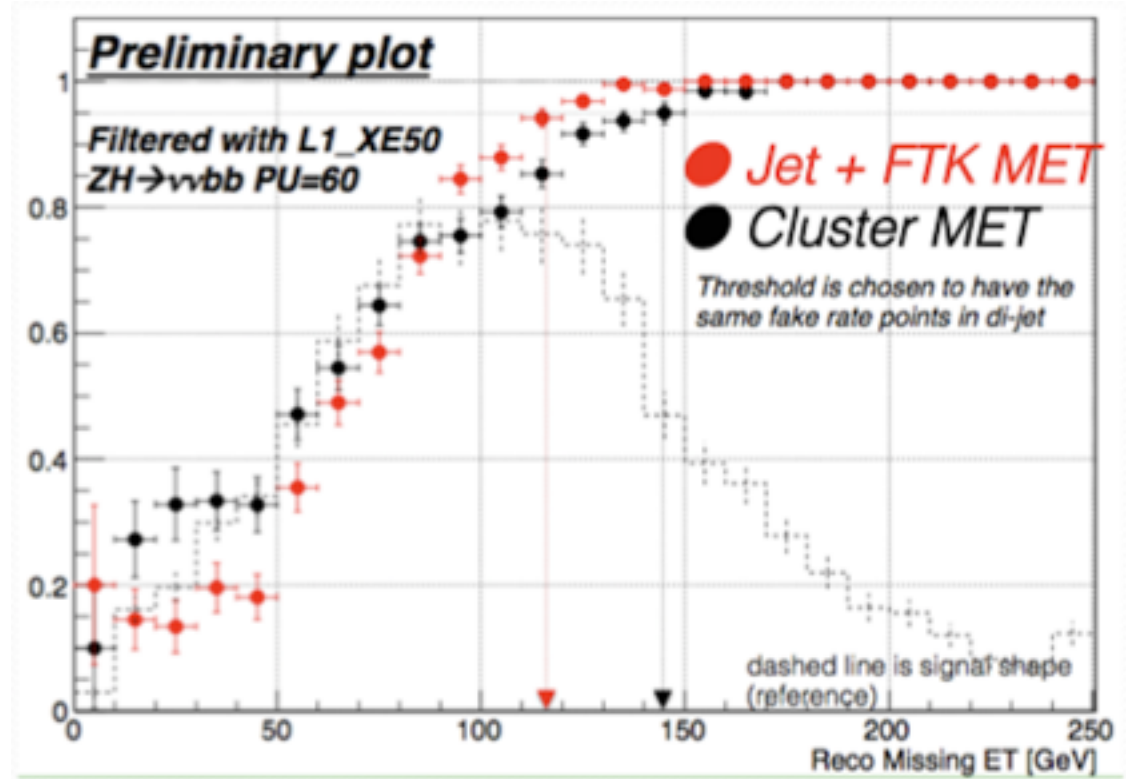
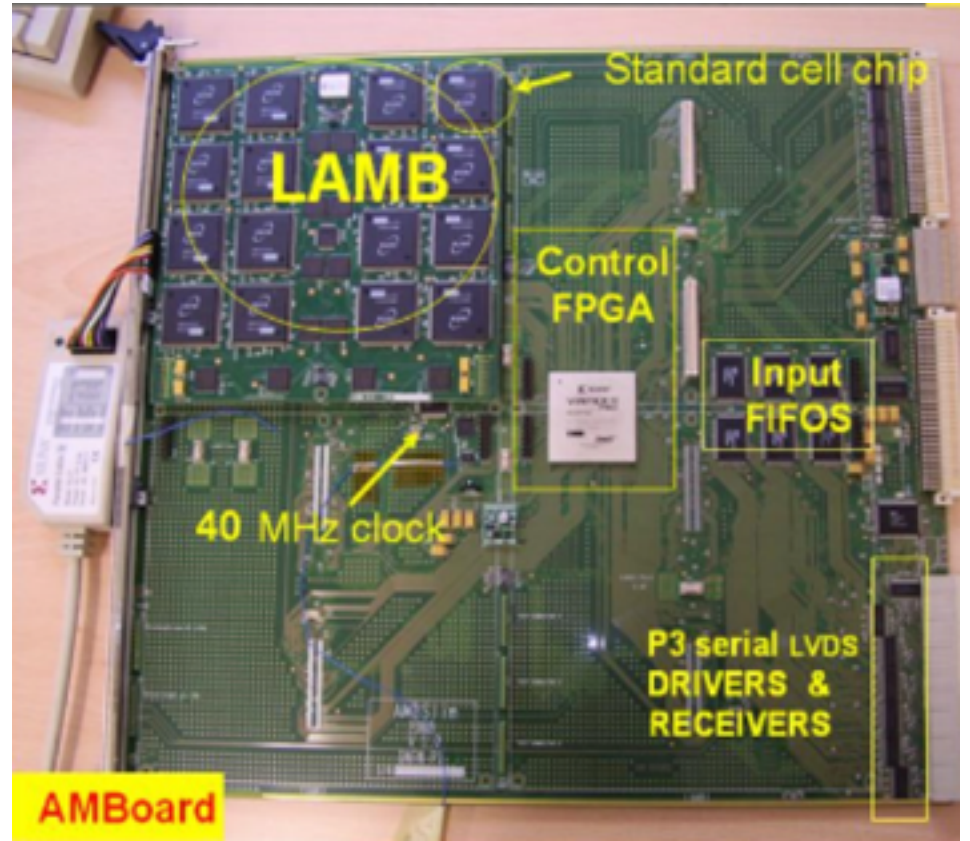
## Motivation de Physique:

- L'information des traces au début du déclenchement du niveau 2
- L'information précieuse pour les:
  - s. déclenchements des jets,
  - s. déclenchements MET,
  - s. déclenchements b-tagging,
  - s. déclenchements des taus,...

**Hardware dédié basé sur l'utilisation des mémoires associatives pour trouver des traces**

**Commissioning 2015**

**Couverture totale 2016**



2009  
2010  
2011  
2012  
2013  
2014  
2015  
2016  
2017  
2018  
2019  
2020  
2021  
2022  
2023  
2024  
2025  
2026  
2027  
...  
2035 (?)



**Motivation de Physique:**

Le Inner Detector actuel a été conçu pour fonctionner pendant 10 années à

$$L=1 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \langle \mu \rangle = 27, \text{ at } 25 \text{ ns}, L1 \text{ } 100 \text{ kHz.}$$

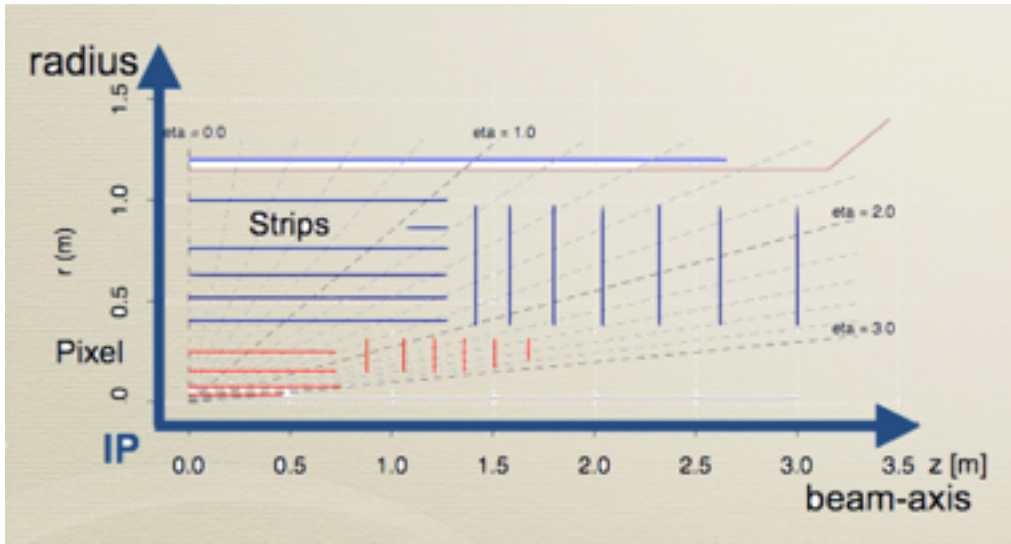
# Inner Tracker for HL-LHC ITK

**HL-LHC:**

- $L=5 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \langle \mu \rangle = 140$
- Saturation de largeur de bande (Pixel, SCT)
- Occupation accrue (TRT, SCT) jusqu'à 100% dans TRT
- Détérioration causée par les radiations (pixel, SCT non conçu pour 3000 fb<sup>-1</sup>).

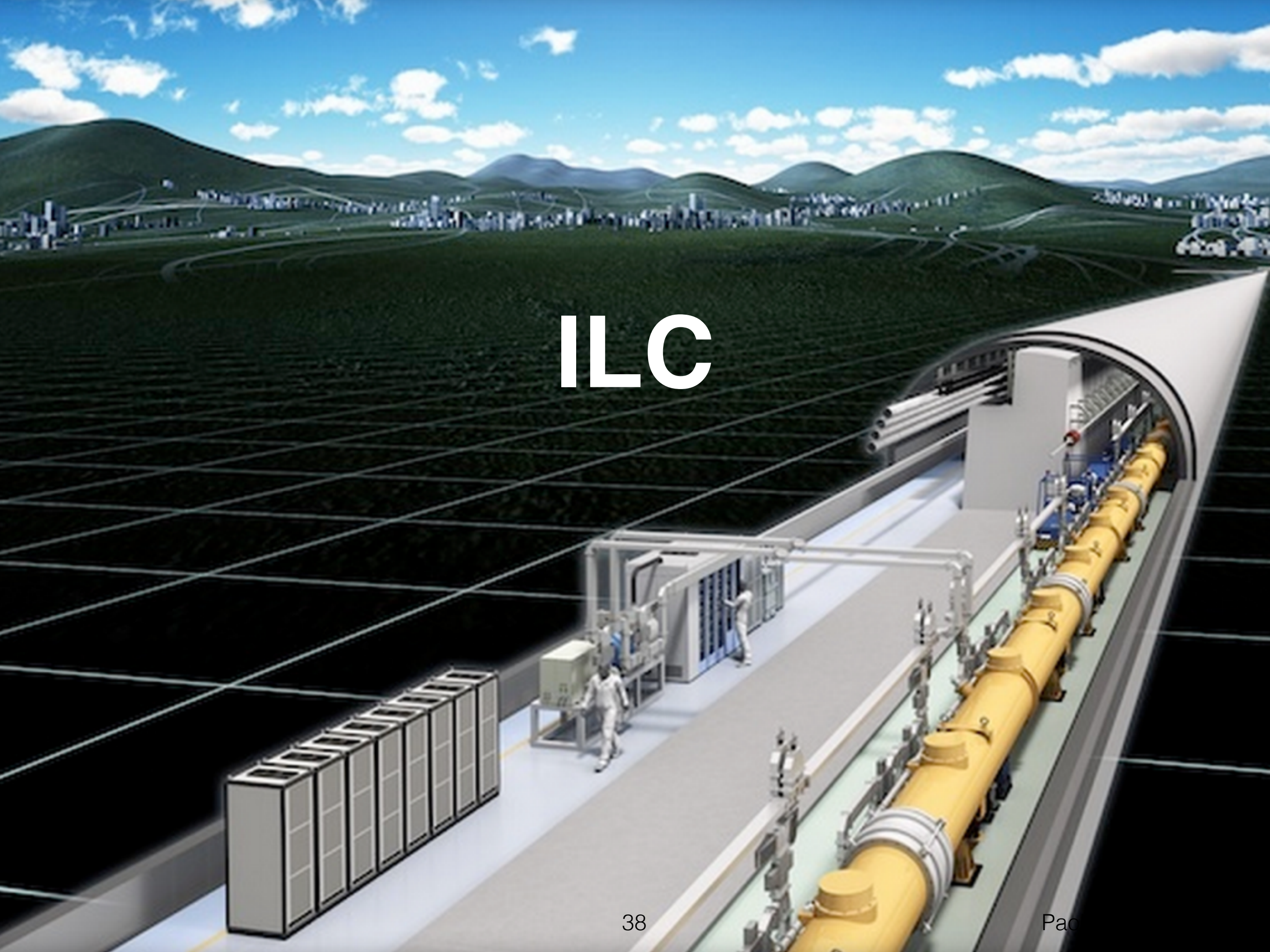
**Modifications:**

- Les pixels étendus à de plus grands rayons
- Plus de pixels dans la direction vers l'avant
- Granularité accrue (facteur 4)
- Le rayon externe plus grand pour améliorer la résolution sur p
- Remplacement du TRT par des détecteurs silicium





# ILC



# ILC

**Collisions  $e^+e^-$  à une énergie réglable: 200-500 GeV, jusqu'à 1 TeV.  
Faisceaux avec la polarisation réglable.**

- **Avantages:**

État initial bien défini( par exemple  $E_{cm}$ ,  $P_e$ )

Scan en énergie -> augmentation du Signal / Fond  
fond du machine pas grand.

- **Physique:**

Secteur du **Higgs**:

Étude des paramètres du Higgs de haute précision complémentaire à LHC.

Secteur du **Top**:

Étude de la nature et le rôle du top, mesure de la masse avec le scan en énergie

Secteur du **Nouvelle Physique**: guidé par le résultat du LHC.

- **Quand et où**

Le Japon est intéressé à la construction du ILC (montagnes de Katakami),  
Autres pays ont été contactés pour contribuer

**Decision in 3/5 ans**

Physique a la fin de la prochaine décennie



# ILC

Collisions  $e^+e^-$  à une énergie réglable: 200-500 GeV, jusqu'à 1 TeV.

Faisceau

## Engagement de LPNHE sur RD:

### Calorimètre SiW Ecal

• **Advan**

État initi

Scan en

fond du

• **Physi**

Secteur

Étud

Secteur

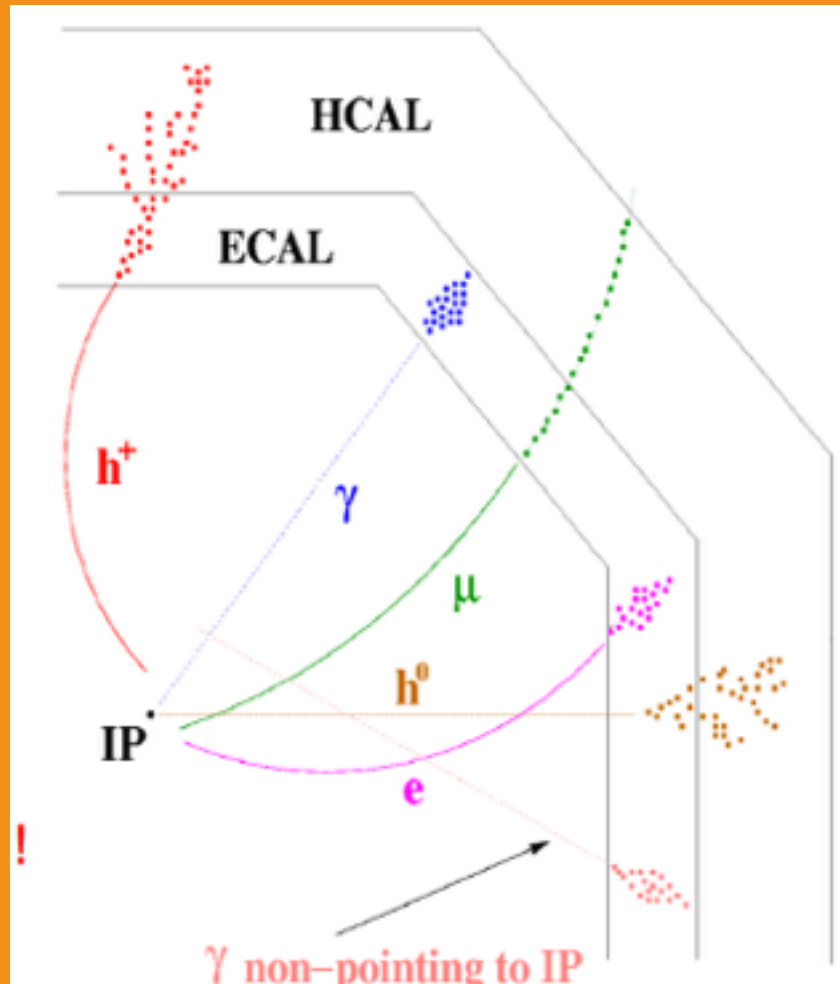
Étud

Secteur

• **Quan**

Le Japo

Autres p



La physique du ILC exige la construction des calorimètres fortement granulaires.  
→ capacités de tracking dans les calorimètres

Choix de base :

- Tungstène comme matériel absorbeur
- Assure un design compact.
- Gerbes peu étendues
- Silicium comme matériel actif
- Assure un design compact.
- Assure une géométrie à pixels
- Haut rapport signal / fond

**Decision in 3/5 ans**

Physique a la fin de la prochaine décennie

# ILC - physique

Energie	Procès	Motivation de physique
91 GeV	$ee \rightarrow Z$	Mesures électrofaibles ultra-précises
160 GeV	$ee \rightarrow WW$	Masse du W ultra-précise

# ILC - physique

Energie	Procès	Motivation de physique
91 GeV	$ee \rightarrow Z$	Mesures électrofiabilité ultra-précise
160 GeV	$ee \rightarrow WW$	Masse du W ultra-précise
250 GeV	$ee \rightarrow Zh$	Mesure des couplages du Higgs

# ILC - physique

Energie	Procès	Motivation de physique
91 GeV	$ee \rightarrow Z$	Mesures électrofaibles ultra-précises
160 GeV	$ee \rightarrow WW$	Masse du W ultra-précise
250 GeV	$ee \rightarrow Zh$	Mesure des couplages du Higgs
350-400 GeV	$ee \rightarrow tt$	Mesure de la masse et des couplages du top
	$ee \rightarrow WW$	Mesure précise du couplage du W
	$ee \rightarrow \nu\nu h$	Mesure précise des couplages du Higgs



# ILC - physique

Energie	Procès	Motivation de physique
91 GeV	$ee \rightarrow Z$	Mesures électrofiabilité ultra-précise
160 GeV	$ee \rightarrow WW$	Masse du W ultra-précise
250 GeV	$ee \rightarrow Zh$	Mesure des couplages du Higgs
350-400 GeV	$ee \rightarrow tt$	Mesure de la masse et des couplages du top
	$ee \rightarrow WW$	Mesure précise du couplage du W
	$ee \rightarrow \nu\nu h$	Mesure précise des couplages du Higgs
500 GeV	$ee \rightarrow ff$	Recherche de précision du $Z'$
	$ee \rightarrow tth$	Mesure du couplage Higgs-top
	$ee \rightarrow Zhh$	Mesure du auto-couplage du Higgs
	$ee \rightarrow \chi\chi$	Recherche de la supersymétrie
	$ee \rightarrow A^{\sim}, H, H+H^{-}$	Recherche des autres bosons (extension du Higgs)

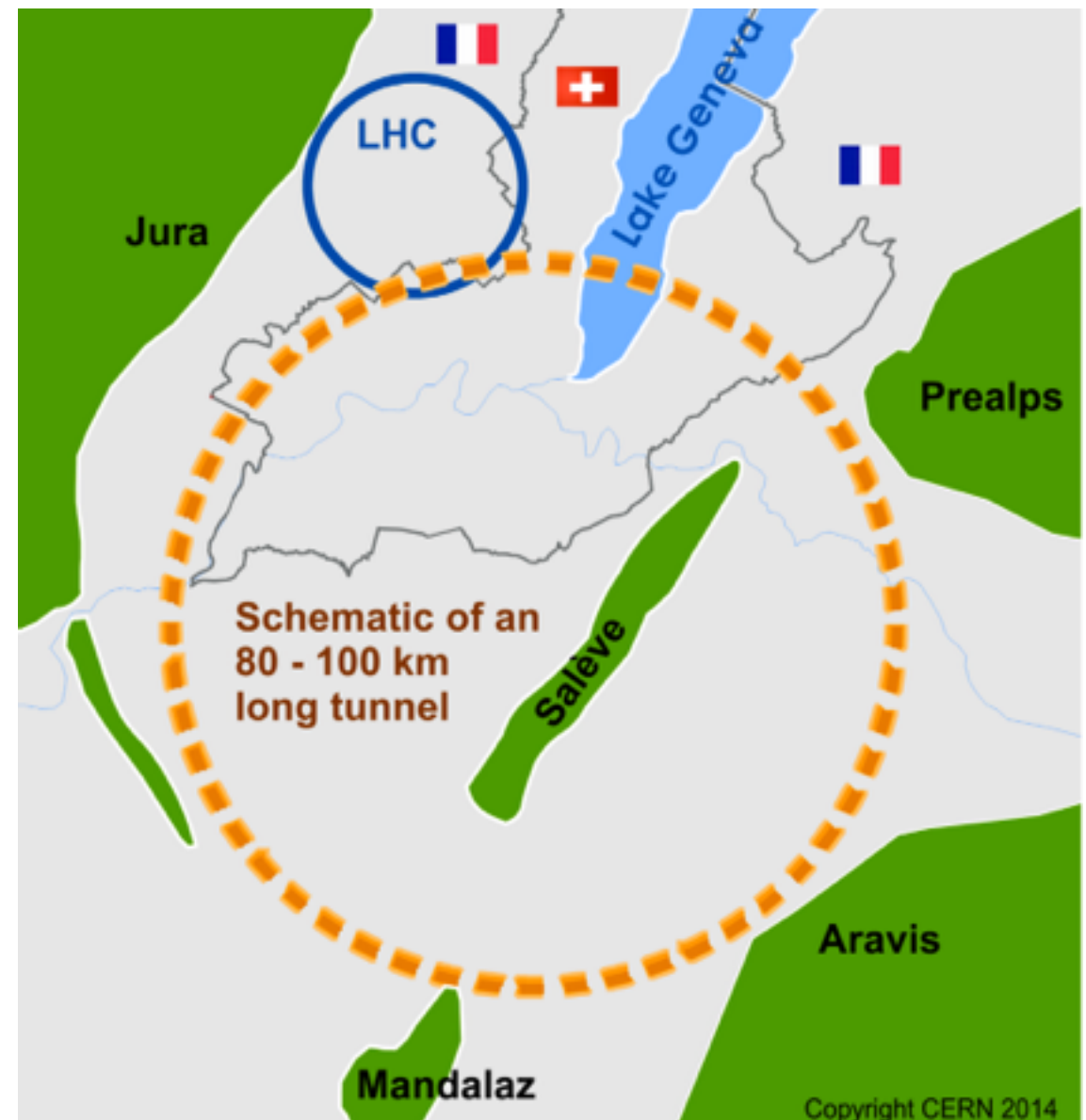
# ILC - physique

Energie	Procès	Motivation de physique
91 GeV	$ee \rightarrow Z$	Mesures électrofiabilité ultra-précise
160 GeV	$ee \rightarrow WW$	Masse du W ultra-précise
250 GeV	$ee \rightarrow Zh$	Mesure des couplages du Higgs
350-400 GeV	$ee \rightarrow tt$	Mesure de la masse et des couplages du top
	$ee \rightarrow WW$	Mesure précise du couplage du W
	$ee \rightarrow vvh$	Mesure précise des couplages du Higgs
500 GeV	$ee \rightarrow ff$	Recherche de précision du $Z'$
	$ee \rightarrow tth$	Mesure du couplage Higgs-top
	$ee \rightarrow Zhh$	Mesure du auto-couplage du Higgs
	$ee \rightarrow \chi\chi$	Recherche du supersymmetry
	$ee \rightarrow A^{\sim}, H, H+H-$	Recherche des autres boson (extension du Higgs)
700-1000 GeV	$ee \rightarrow vvh$	Mesure précise des couplages du Higgs
	$ee \rightarrow vvVV$	Recherche du secteur du Higgs composé
	$ee \rightarrow vvt$	Recherche du secteur du Higgs composé et top
	$ee \rightarrow \tilde{t}\tilde{t}^*$	Recherche du supersymmetry



# Au delà du LHC: Future Circular Collider

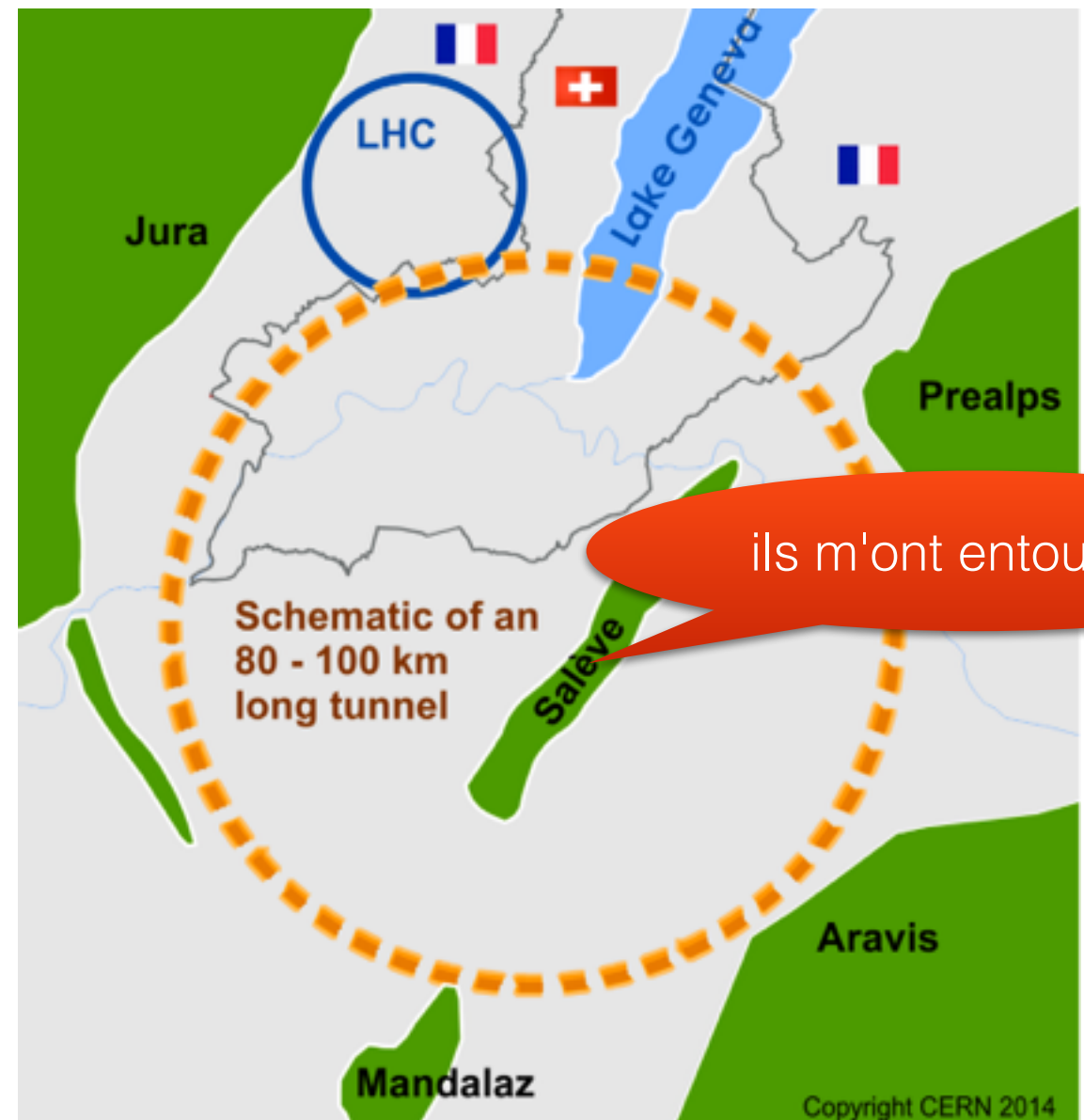
- Group de travail pour étudier les idées pour un accélérateur de 100 km ( en Geneve?).
- 3 sub-groups:
  - hh
  - he
  - ee (TLEP)





# Au delà du LHC: Future Circular Collider

- Group de travail pour étudier les idées pour un accélérateur de 100 km ( en Geneve?).
- 3 sub-groups:
  - hh
  - he
  - ee (TLEP)

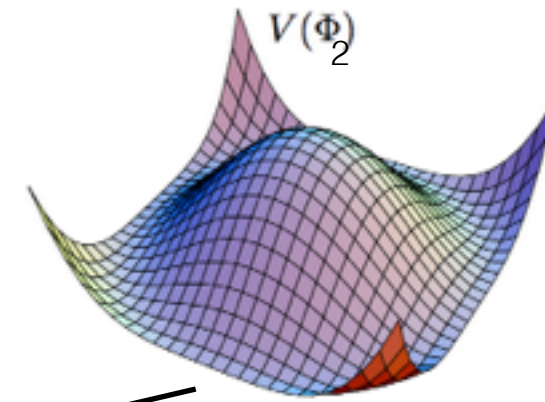
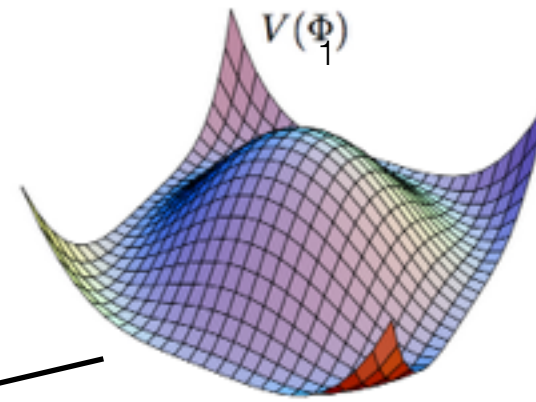


# Conclusions?

# BACKUP

# 2 doublets?

Beaucoup modèles de nouvelle physique ont **2 doublets SU(2)** :



$$V = \frac{\lambda_1}{2} \left[ (\Phi_1^\dagger \Phi_1) - \frac{v_1^2}{2} \right]^2 + \frac{\lambda_2}{2} \left[ (\Phi_2^\dagger \Phi_2) - \frac{v_2^2}{2} \right]^2 + V(\Phi_1 \Phi_2)$$

Phénoménologie

**5 bosons scalaires :** Autres paramètres :

h, H: CP pair

A: CP impair

H<sup>+</sup>, H<sup>-</sup>: chargé

α: mélange de h, H, A

tg(β) = v<sub>1</sub>/v<sub>2</sub>

**Couplages du h :**  
**avec exceptions**

$$\delta c_V = O\left(\frac{m_Z^2}{m_A^2} \frac{1}{\tan^2 \beta}\right)$$

$$\delta c_u = O\left(\frac{m_Z^2}{m_A^2} \frac{1}{\tan^2 \beta}\right)$$

$$\delta c_d = O\left(\frac{m_Z^2}{m_A^2}\right)$$

## Questions:

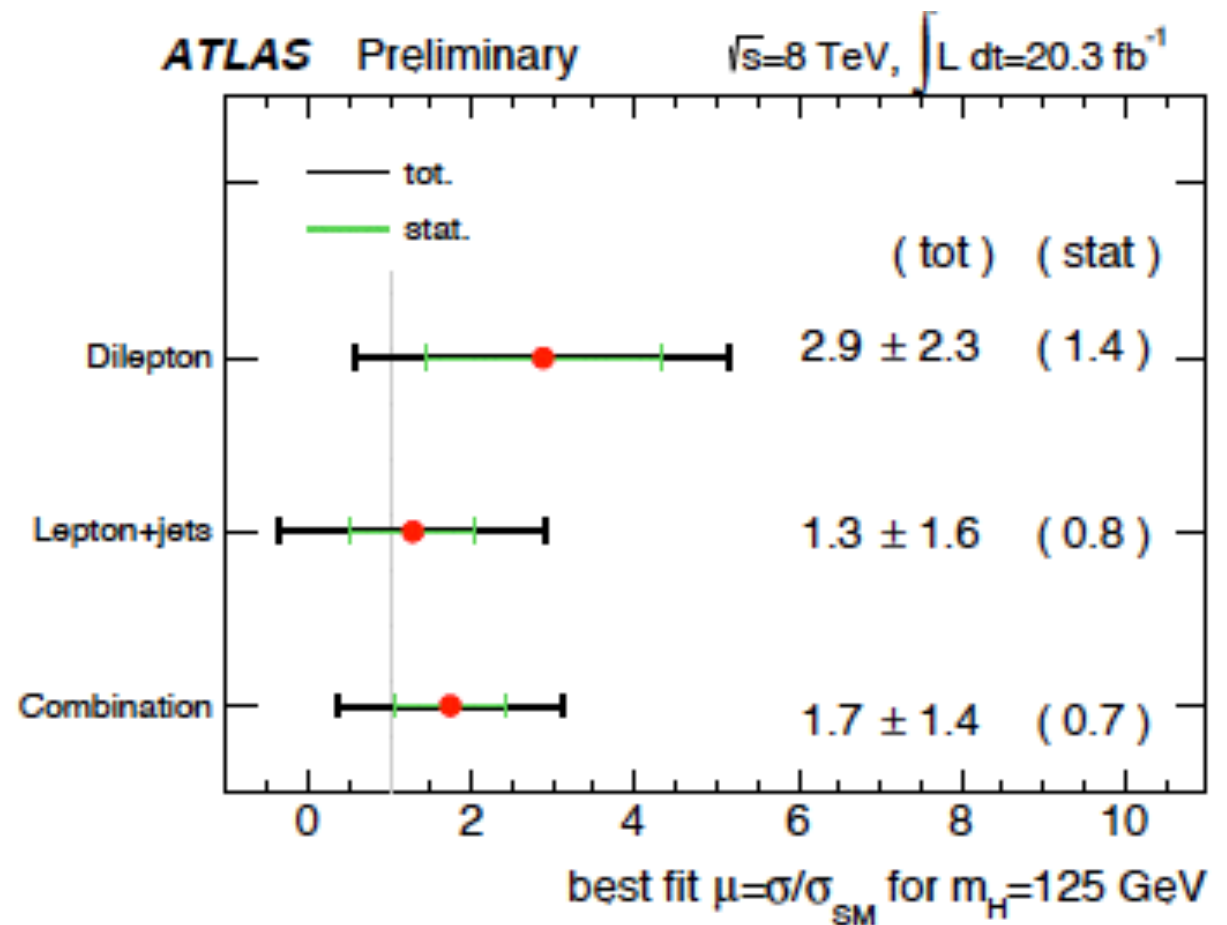
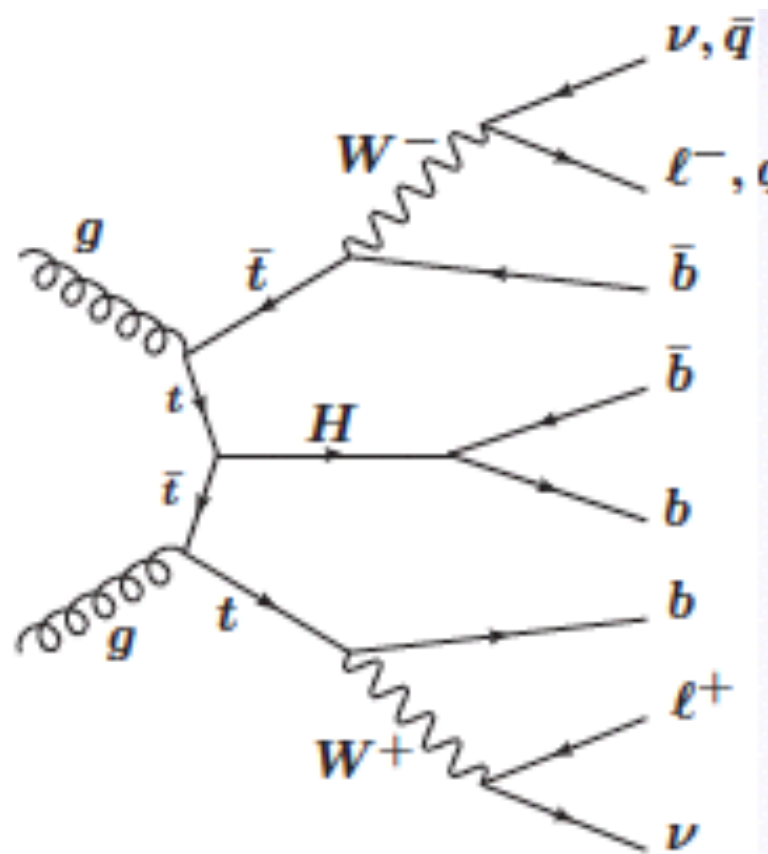
- 0) Y a-t-il d'autres bosons à découvrir
- 1) Notre nouvelle particule est-elle un mélange de h, H (, A)?
- 2) Est-ce qu'un autre H peut être un candidat pour la matière noire ?
- 3) ....?

**NOTE: SUSY-MSSM est un cas spécial**



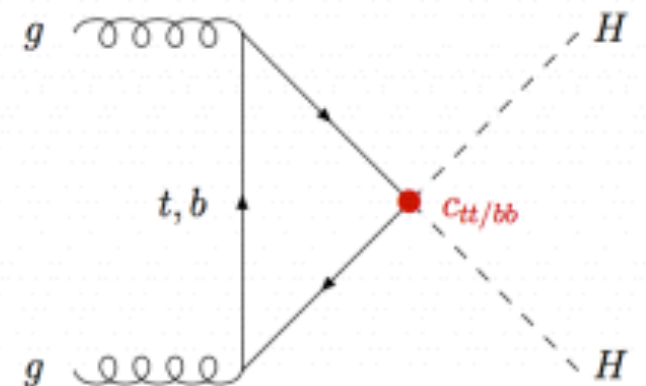
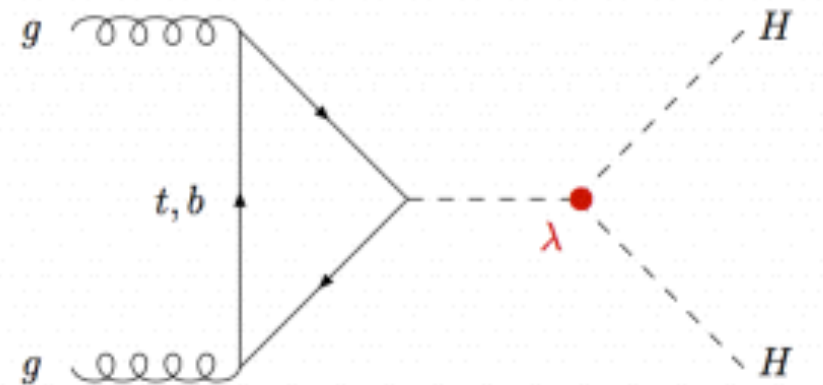
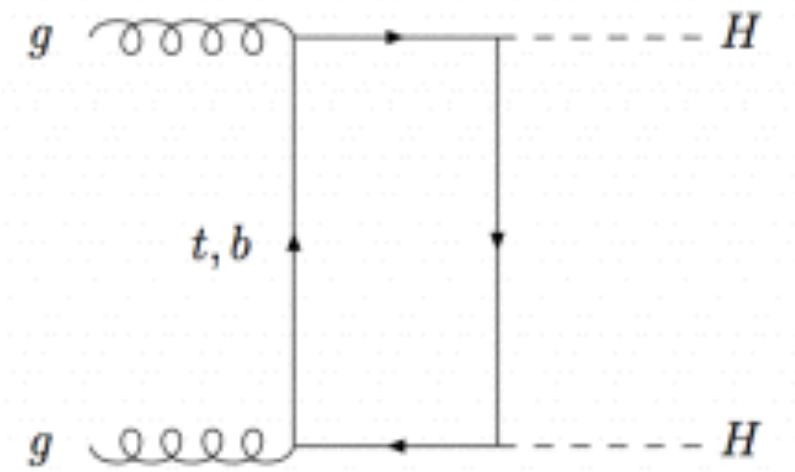
# Recherche du tth

- Analyse complexe (4,6,8+ jets) déjà disponible pour Run 1
- 7/8 TeV → 13/14 TeV: section efficace x 4.7 → **Grand gain**
- Il peut être une porte d'accès pour autre final states complexes avec tt
- $h \rightarrow \gamma\gamma, ZZ, WW, \tau\tau, bb$



# Production des 2 Higgs

- Dans le MS, Higgs auto-couplage test sur la structure du potentiel du Higgs
- Rate de HH sensible au Higgs Composite, MSSM à bas  $\tan\beta$ , dilaton...
- Mesure pas facile: section efficace de  $40 \pm 3$  fb



**parmi les canaux:  
bb $\tau\tau$  bonne chance**

ESTIMATED YIELDS FOR 3000 fb

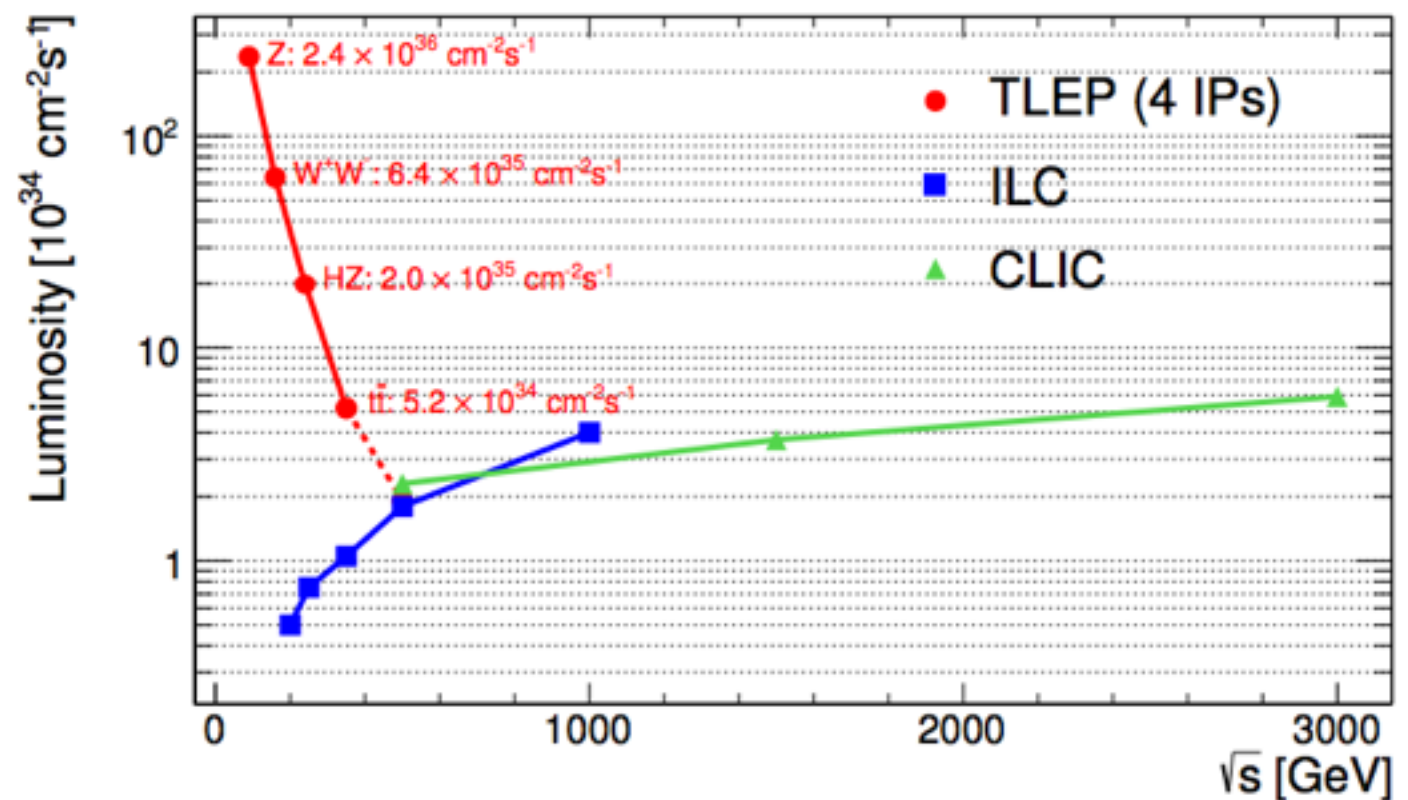
bbWW	bb $\tau\tau$	WWWW	$\gamma\gamma$ bb	$\gamma\gamma\gamma\gamma$	bbvvvv
30000	9000	6000	320	1	150

BR=0.57  $\rightarrow$  signatures avec  $H \rightarrow bb$  très importantes

# FCC-ee (TLEP)

- **Collisionneur de protons à 90-400 GeV**
- **Physique (pas très différent de ILC):**  
Mesures de précision du Z, W, Higgs et top
- Le group de travaille deja bien structuré

<http://tlep.web.cern.ch/>





# FCC-hh

- **Collisionneur de protons à 100 TeV**

- **Physique:**

- ***Si nous avons la nouvelle physique au LHC:***

Difficile de avoir tous les nouvelles particules à LHC.

Les collisions à 100 TeV améliorera la chance d'avoir une description complete.

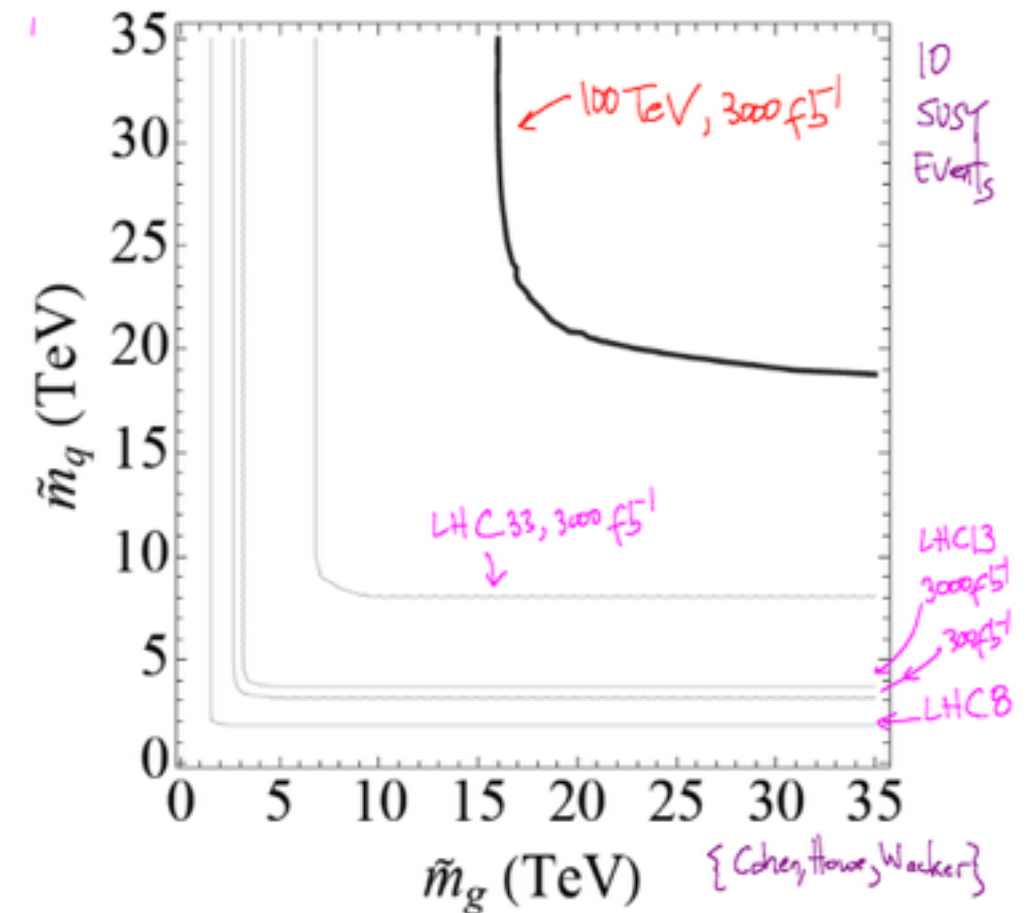
- ***Si nous n'avons pas la nouvelle physique au LHC:***

Le collisions à 100 TeV ouvriront le potentiel de découvrir la nouvelle physique dans un domain complètement neuf.

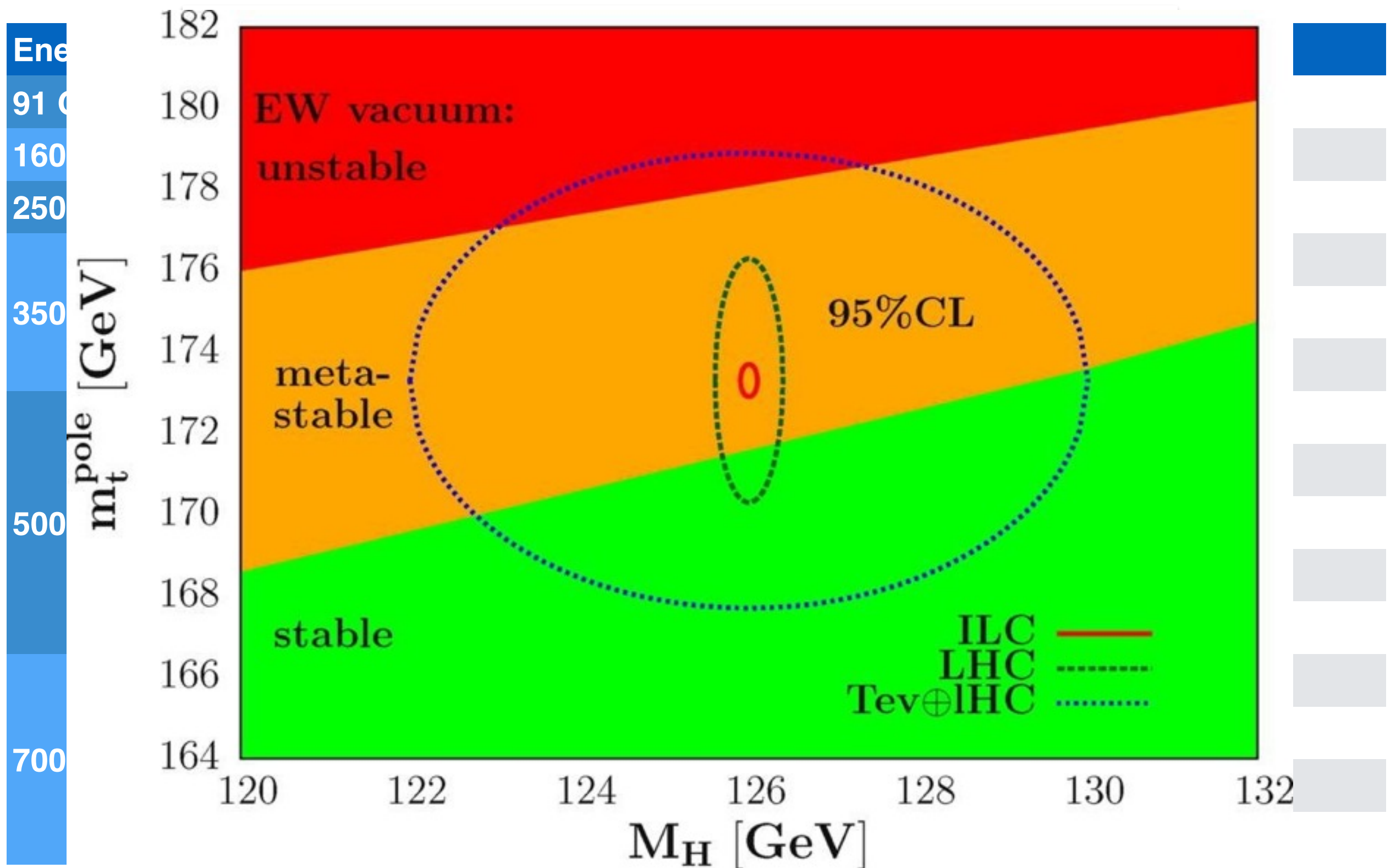
- ***Si nous n'avons pas la nouvelle physique à 100 TeV:***

Une autre indication indirect que va à forcer beaucoup la “naturalness”.

Des annulations «chanceuses» sont possible en nature, mais comme ca ils sont très chanceuses



# ILC - physique



# Bonus