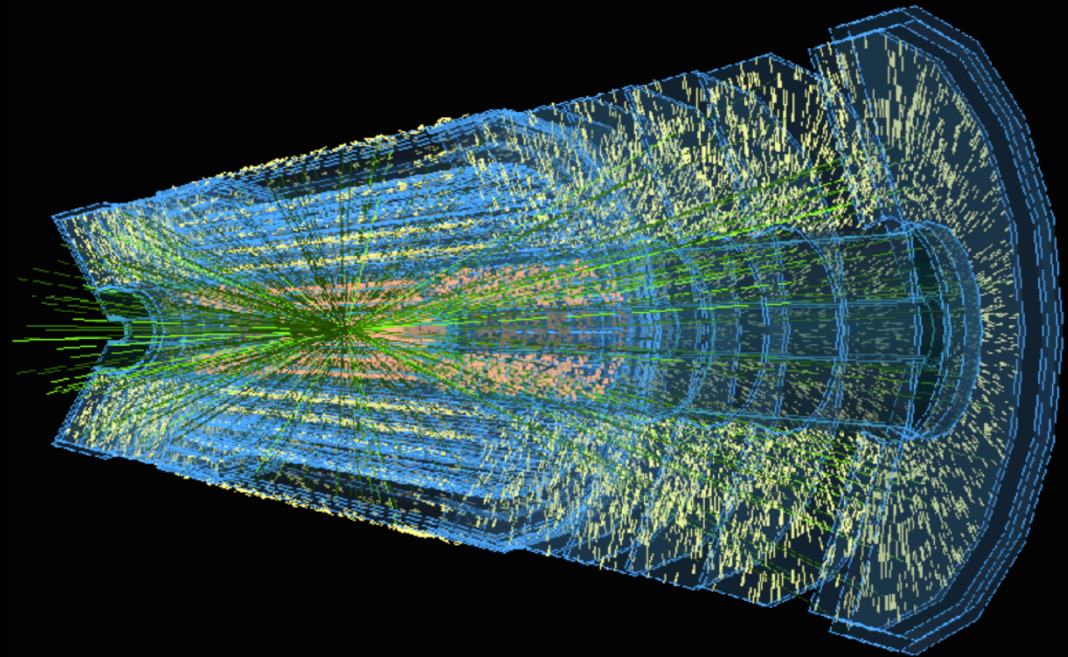


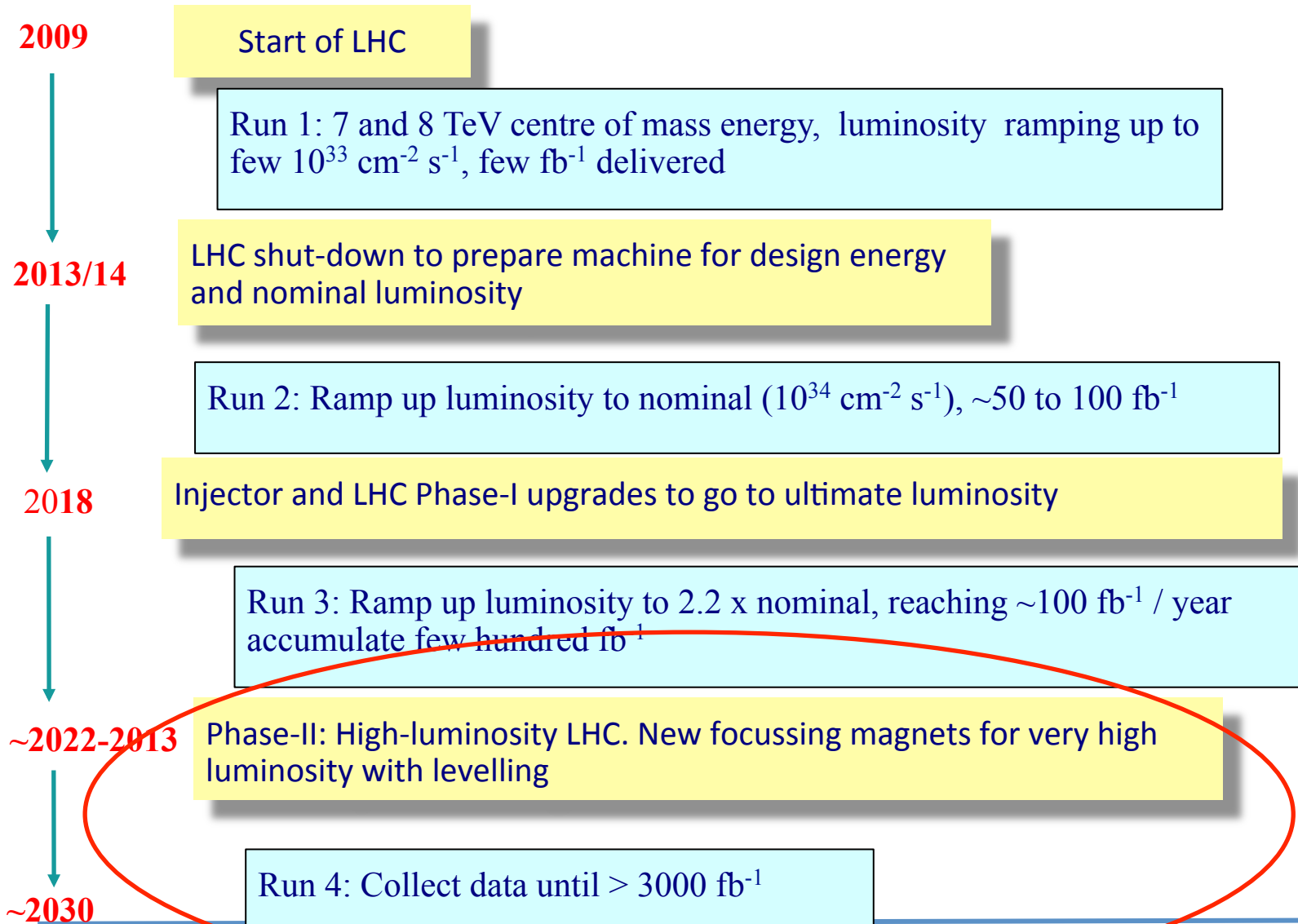
Upgrade ATLAS phase II



- Planning
- Physics objectives with $\int L dt \sim 3 \text{ ab}^{-1}$
- Sub-detectors upgrades
 - Overview
 - New tracker
 - TDAQ
 - Lar calorimeter electronics
 - Muon electronics
- Costs
- Conclusions



« Official » LHC Time Line



ESWG: “Europe’s top priority should be the exploitation of the full potential of the LHC, including the high-luminosity upgrade of the machine and detectors with a view to collecting ten times more data than in the initial design, by around 2030”

Shutdowns (when and how long?)

- Factors for planning the **timing (start)** of the shutdowns are
 - Technical lead-time needed (experiments + machine)
 - Funding profiles (mostly experiments)
 - Radiation damage effects (integrated luminosity), expts + machine,..defines date limit
 - Need for regular preventative maintenance (mostly machine)
- Driving factors for the **duration** of the shutdowns
 - **Amount of Work** to be done (machine and the experiments)
 - ⇒ Manpower resources needed (and co-habitation)
 - Environment (Induced **radiation**); manpower limitation?
 - Efficiency of ability to carry out work (access time...)

Comparisons of Shutdown Scenarios

S. Myers, RLIUP 7th November 2013

Scenario 1 (S1)

LS2 (2018) lasts for 1.5 years, LS3 (2022) for 2 years

S2 = S1 delayed by 1 year

S3 = S2 delayed by 1 year

= S1 delayed by 2 years

Scenario 4 (S4)

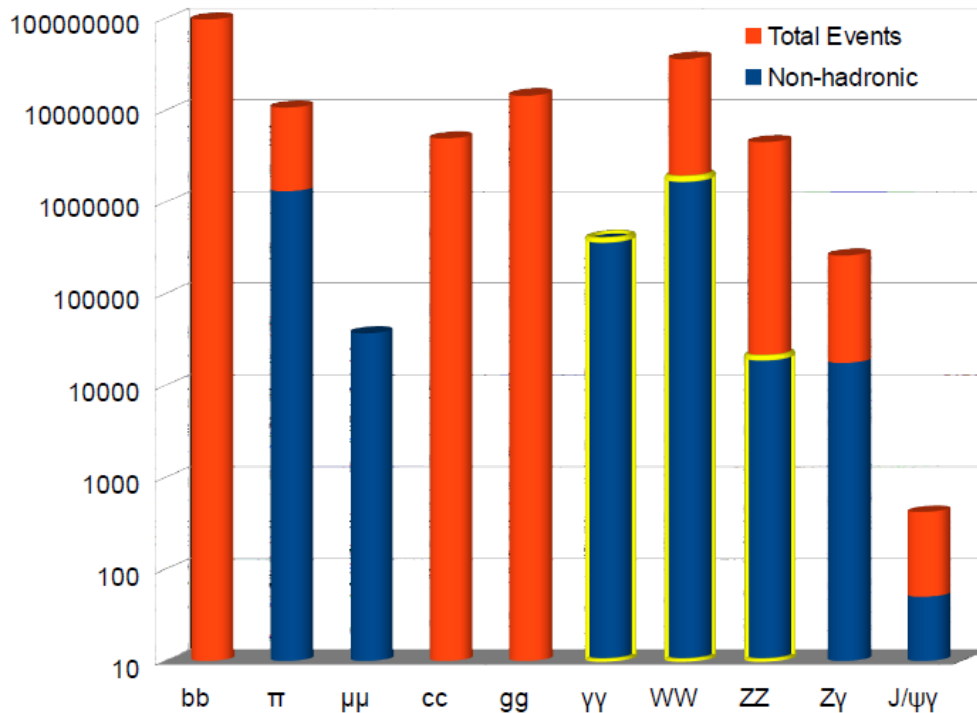
LS2 (2018) lasts for 2 years, LS3 for 3 years

S5 = S4 delayed by 1 year

	LS2=1.5y, LS3=2y			LS2=2.0y, LS3=3y	
Year	S1	S2	S3	S4	S5
2015	35	35	35	35	35
2016	50	50	50	50	50
2017	50	50	50	50	50
2018	135	50	50	135	50
2019	25	185	50	135	185
2020	60	25	235	25	185
2021	60	60	25	60	25
2022	280	60	60	60	60
2023	280	330	60	280	60
2024	150	330	380	280	330
2025	250	150	380	280	330
2026	250	250	150	150	150
2027	250	250	150	150	150
2028	200	250	250	250	250
2029	250	200	250	250	250
2030	250	250	200	200	250
2031	250	250	200	200	200
2032	200	250	250	250	250
2033	250	200	250	250	250
2034	250	250	200	200	250
2035	250	250	250	250	200
Total	2580	2380	2180	2080	1880

Physics objectives: Higgs signal strengths

Higgs bosons produced for $\sqrt{s}=14$ TeV, $\int L dt=3$ ab $^{-1}$

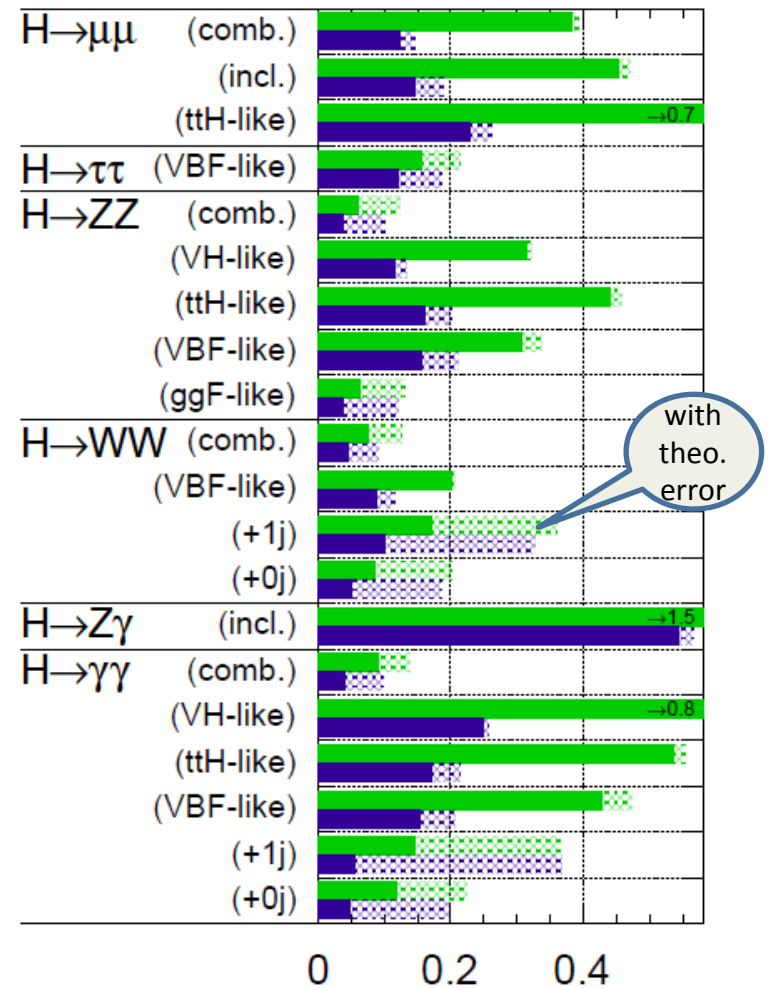


HL-LHC = Higgs factory

Signal strength μ

ATLAS Internal

$\sqrt{s} = 14$ TeV: $\int L dt=300$ fb $^{-1}$; $\int L dt=3000$ fb $^{-1}$



$\Delta\mu/\mu$
b

Physics objectives: Higgs signal strengths

Main improvements with 3000 fb^{-1}

$t\bar{t}H, H \rightarrow \gamma\gamma$

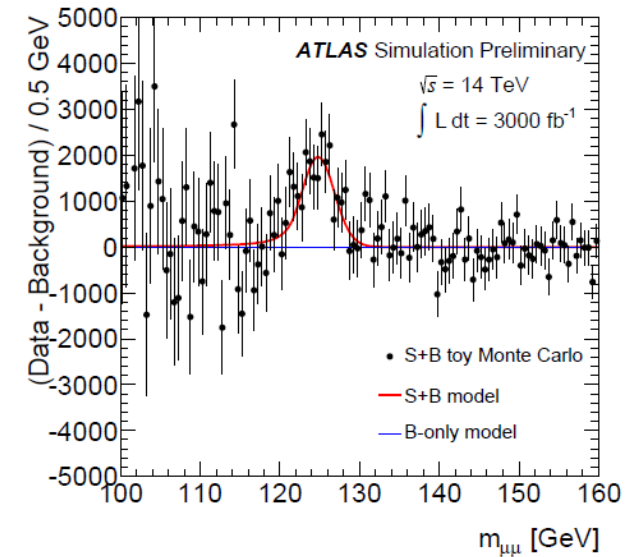
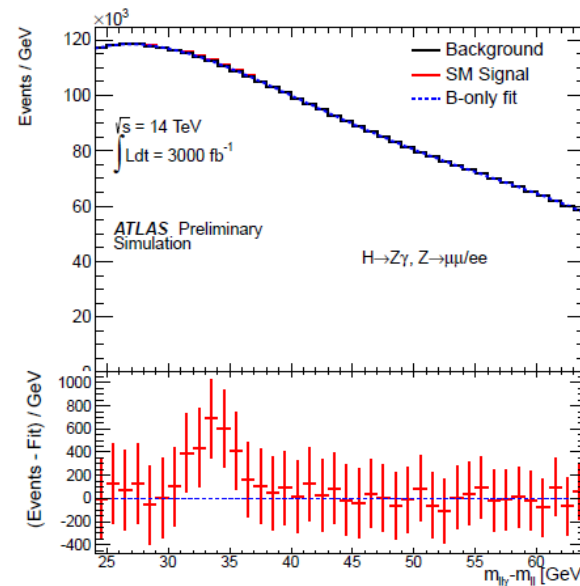
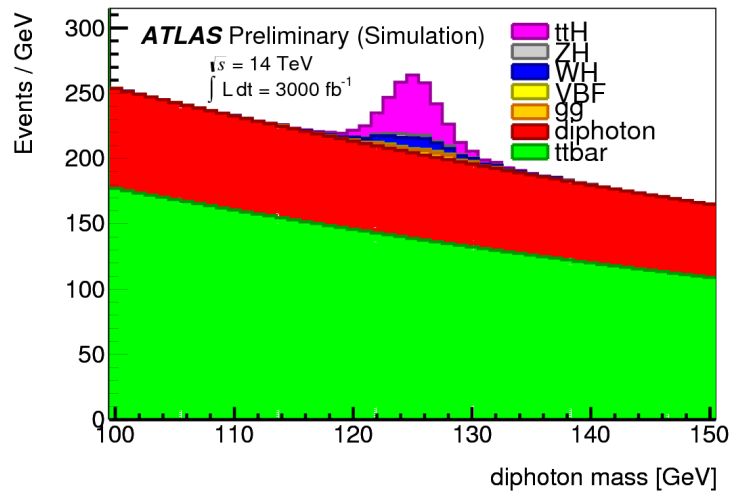
Test direct coupling to top

$H \rightarrow Z\gamma$

Test loop structure

$H \rightarrow \mu\mu$

Coupling to second generation fermion

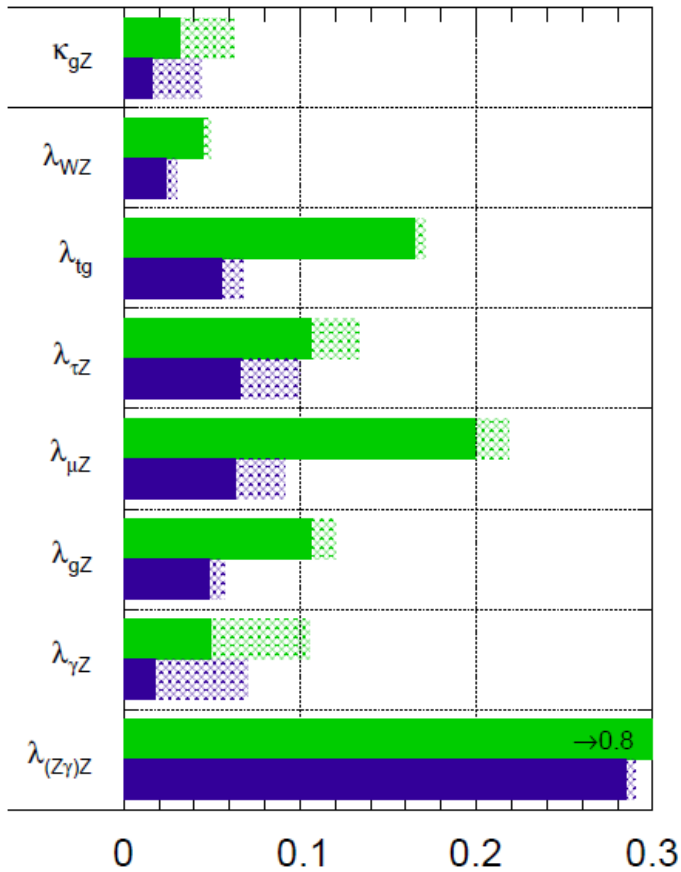


Physics objectives: Higgs couplings

Ratios of couplings

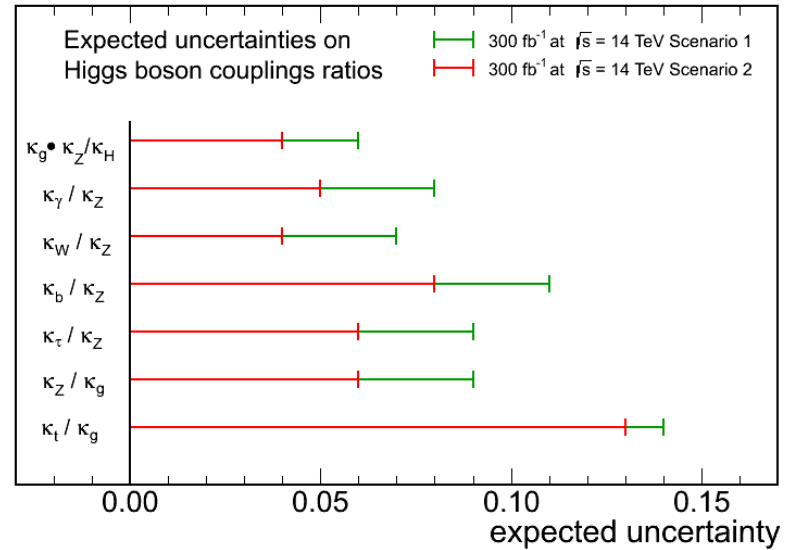
ATLAS Internal

$\sqrt{s} = 14$ TeV: $\int L dt = 300 \text{ fb}^{-1}$; $\int L dt = 3000 \text{ fb}^{-1}$

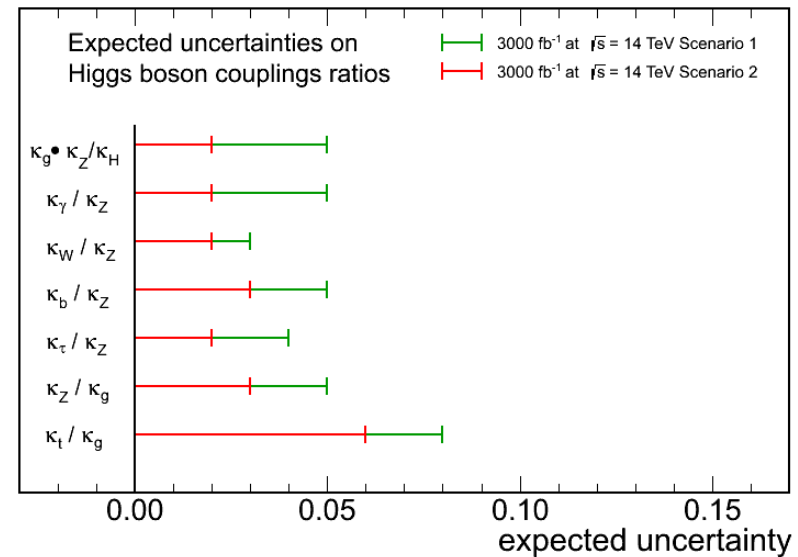


$$\Delta\lambda_{XY} = \Delta\left(\frac{\kappa_X}{\kappa_Y}\right)$$

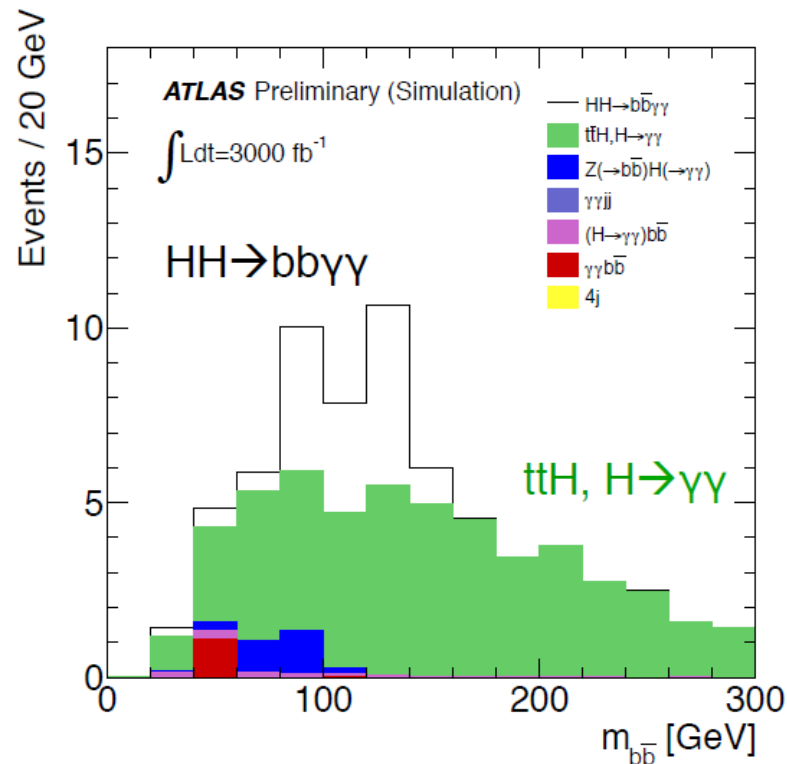
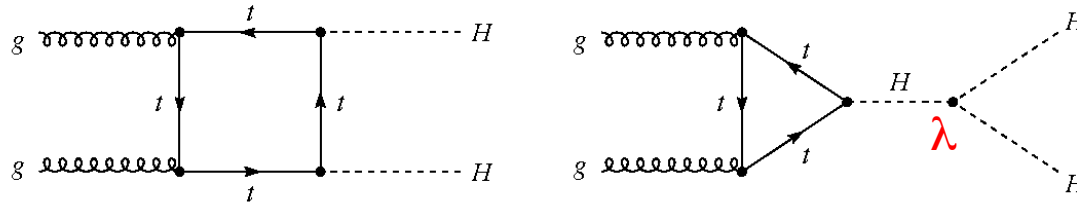
CMS Projection



CMS Projection



Physics objectives: Higgs self-coupling



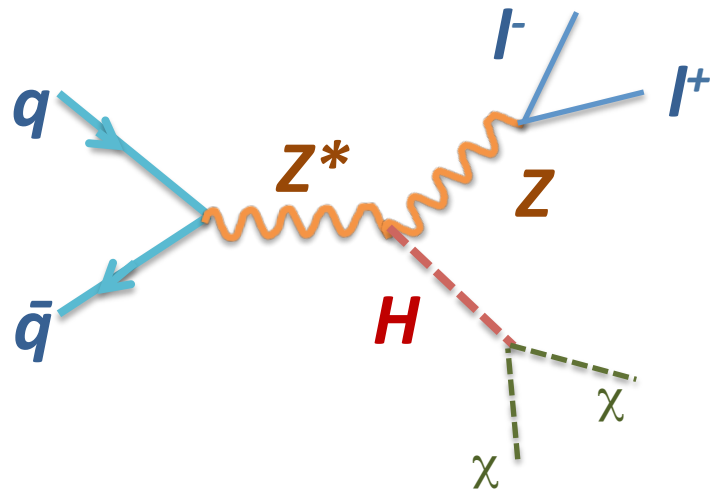
Expected events

bbWW	30000
bb $\tau\tau$	9000
WWWW	6000
$\gamma\gamma b\bar{b}$	320
YYYY	1

ATLAS $HH \rightarrow bb\gamma\gamma$ yields 3σ significance with 3000fb^{-1}

Combining with $HH \rightarrow bb\tau\tau$, & with two experiments, hope to reach 30% precision on λ

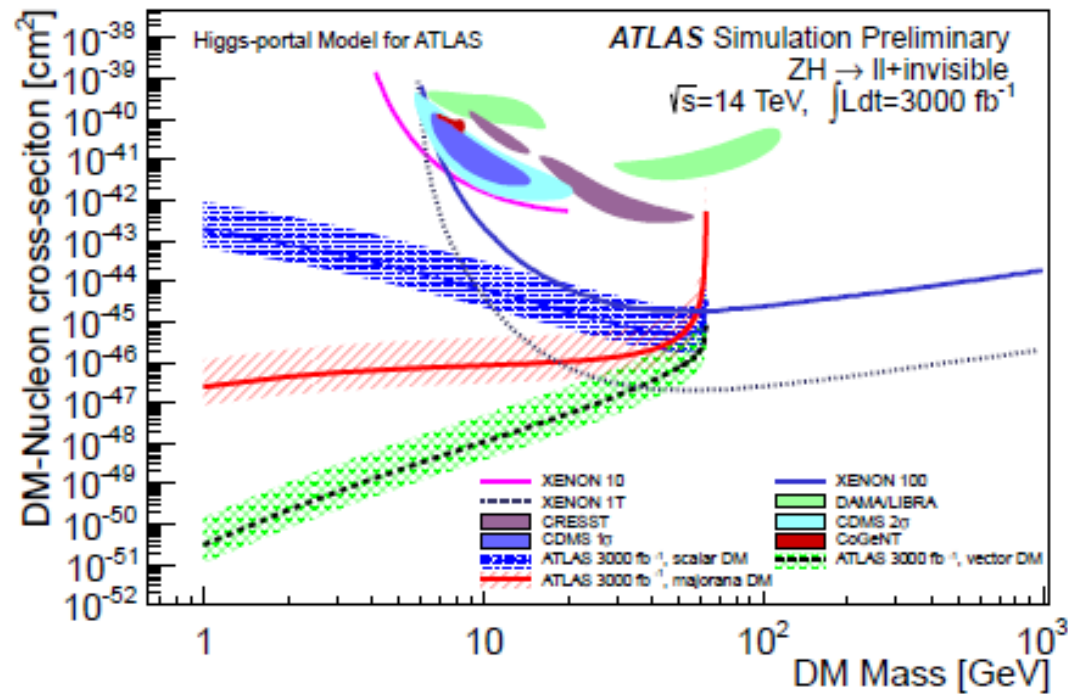
Physics objectives: invisible Higgs search



Sensitive to invisible Br of about 10% with 3 ab⁻¹

	300fb ⁻¹	3000fb ⁻¹	%
ATLAS	[22,31]	[8,17]	

[wo , with] theo. err.



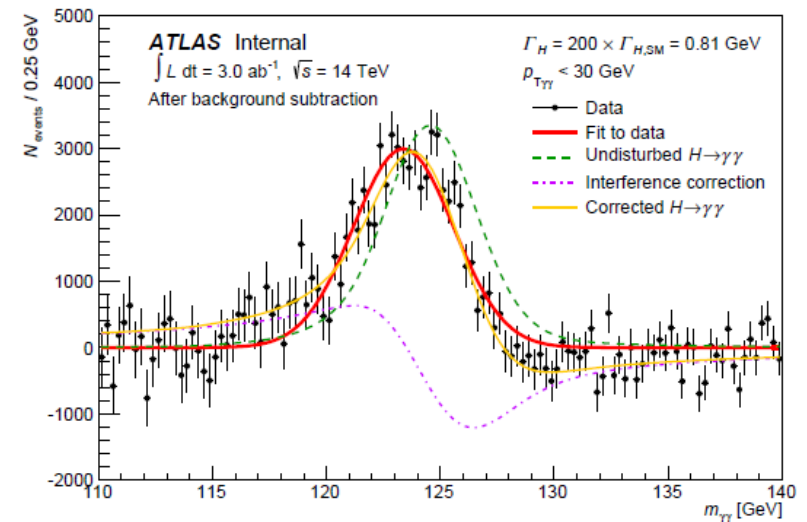
Physics objectives: Higgs properties

Higgs width study: Through interference between signal and background which shifts the apparent peak position

Comparing peak positions gives sensitivity:

- $\Gamma_H < 920 \text{ MeV}$ from 300 fb^{-1} , 200 MeV from 3 ab^{-1}

Reminder: $\Gamma_{SM} = 4.3 \text{ MeV}$, but could be much larger in some exotics models



Test of Lorentz structure (CP) with $H \rightarrow ZZ$: access to possible admixture of CP odd

Test of more exotic Higgs SU(2) sector like 2 HDM $\Rightarrow h, H, A, H^+, H^-$

- Includes MSSM Higgs sector

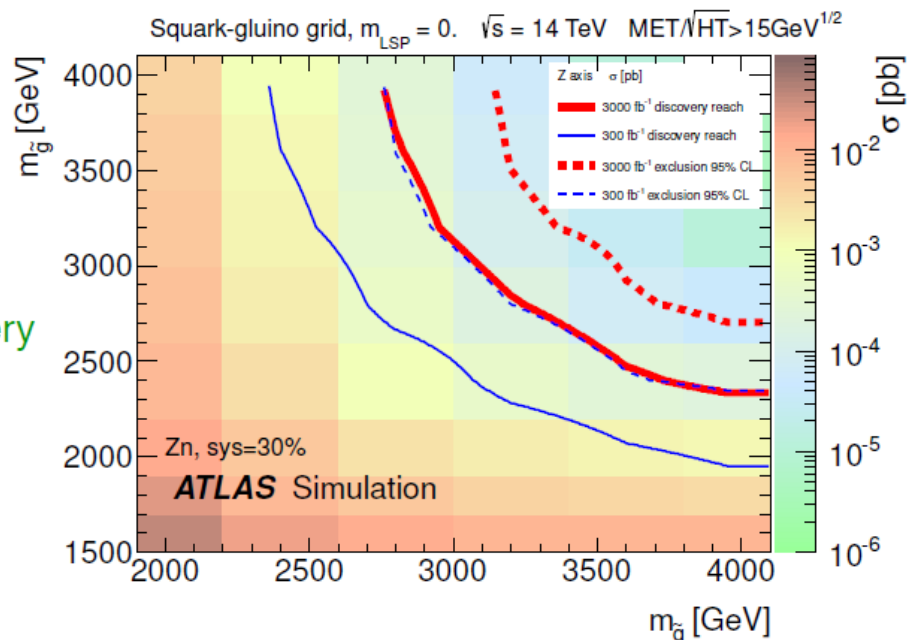
- search for heavy Higgs: $H \rightarrow ZZ$, $A \rightarrow Zh$

Physics objectives: Susy searches

SUSY generic squark/gluino

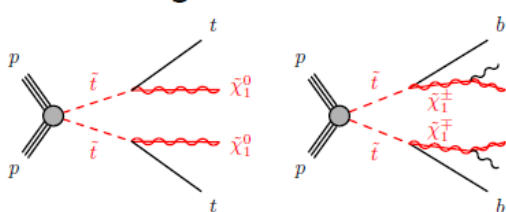
ATLAS simplified model with zero mass LSP

HL-LHC improves the discovery reach by 400~500 GeV

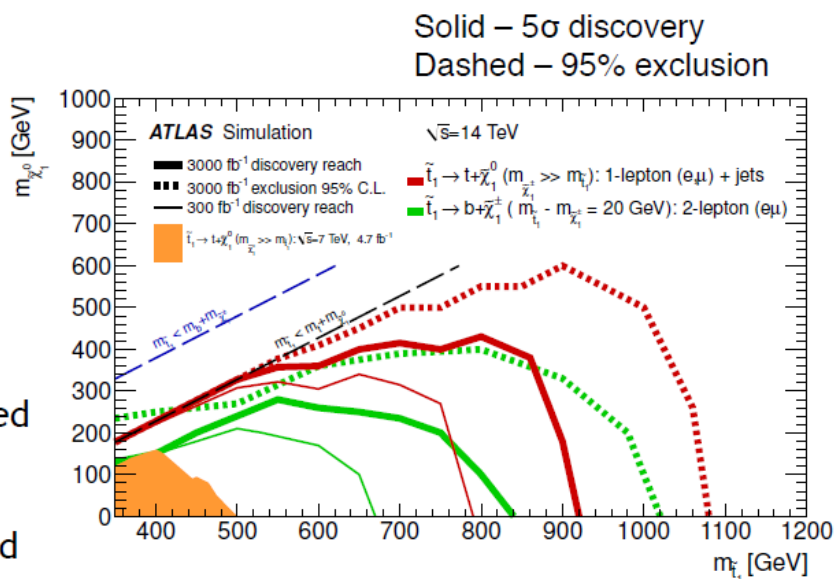


SUSY – 3rd family:

- ATLAS stop search with 1 lepton and 2 lepton signatures

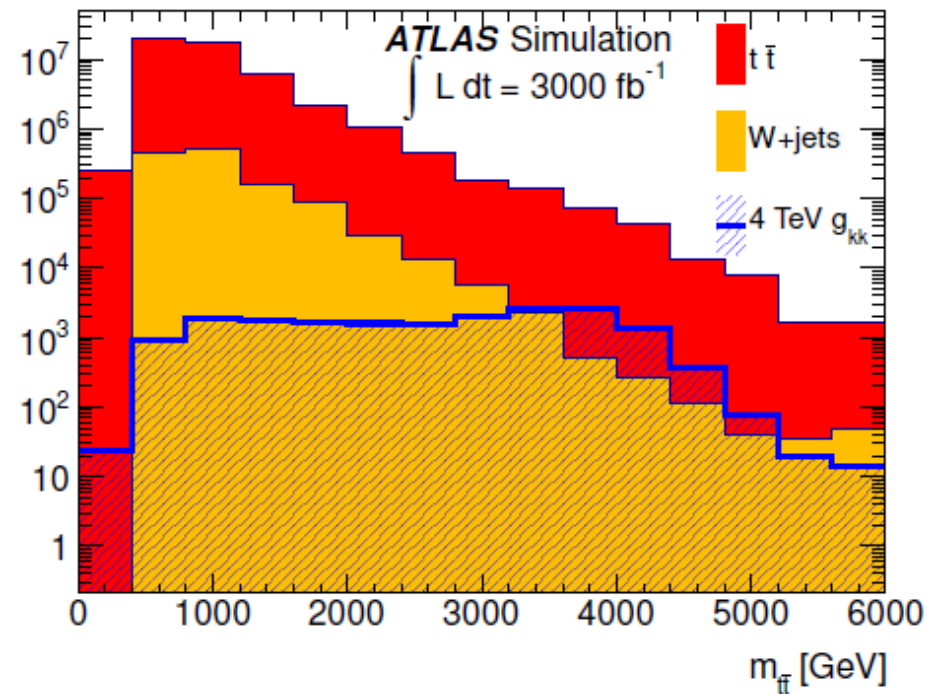


- Discovery reach increased by >100 GeV. This relative gain should be maintained for optimised analysis.



Physics objectives: high mass resonances

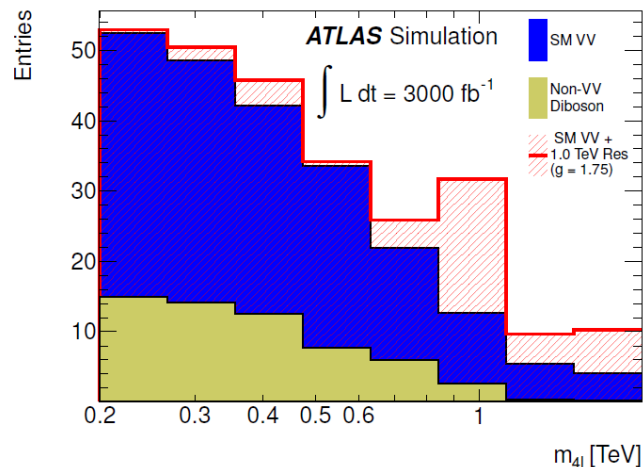
ATLAS	model	95% CL (TeV)	
		300 fb ⁻¹	3000 fb ⁻¹
$t\bar{t} \rightarrow lvjjbb$ ($lvlvbb$)	g_{KK}	4.3 (4.0)	6.7 (5.6)
	$Z'_{\text{Topcolour}}$	3.3 (1.8)	5.5 (3.2)
dilepton	$Z'_{SSM} \rightarrow ee$	6.5	7.8
	$Z'_{SSM} \rightarrow \mu\mu$	6.4	7.6



Other physics objectives (not an exhaustive list)

Weak boson scattering $V_L V_L \rightarrow V_L V_L$

- Weak boson scattering important to test dynamics of EW symmetry breaking
 - Example: sensitivity to new \sim TeV scale resonance in $pp \rightarrow ZZjj \rightarrow 4l jj$



ATLAS Anomalous WBS model	Sensitivity	
	300 fb^{-1}	3000 fb^{-1}
$m_{\text{resonance}} = 500 \text{ GeV}, g = 1.0$	2.4σ	7.5σ
$m_{\text{resonance}} = 1 \text{ TeV}, g = 1.75$	1.7σ	5.5σ
$m_{\text{resonance}} = 1 \text{ TeV}, g = 2.5$	3.0σ	9.4σ

Diboson final states studies:

- Search for high mass resonances
- Anomalous TGCs

Rare FCNC top decays:

- Many BSM models predicts $\text{Br} \sim 10^{-5} - 10^{-6}$

	$t \rightarrow q\gamma$	$t \rightarrow qg$	$t \rightarrow qZ$
600 pb^{-1}	0.88×10^{-5}	60.8×10^{-5}	1.1×10^{-5}
6000 pb^{-1}	0.26×10^{-5}	19.2×10^{-5}	0.11×10^{-5}

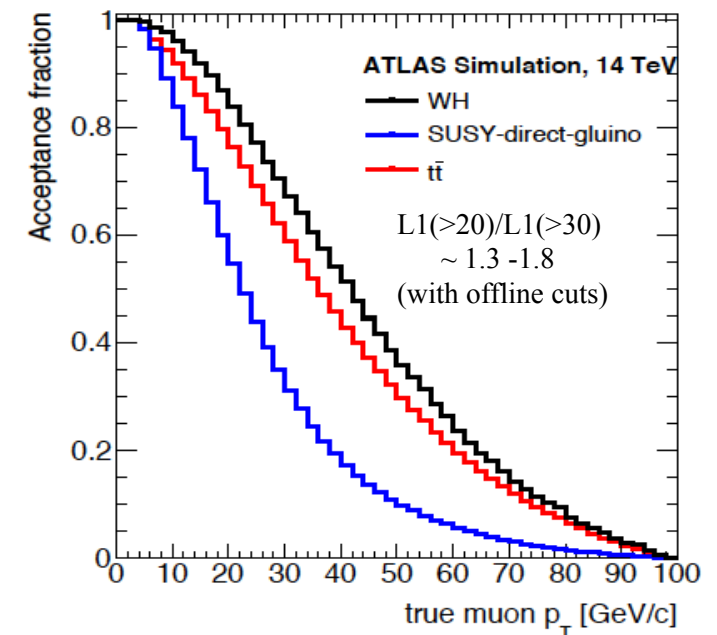
Main Upgrade Motivations for Phase-II

Requirements:

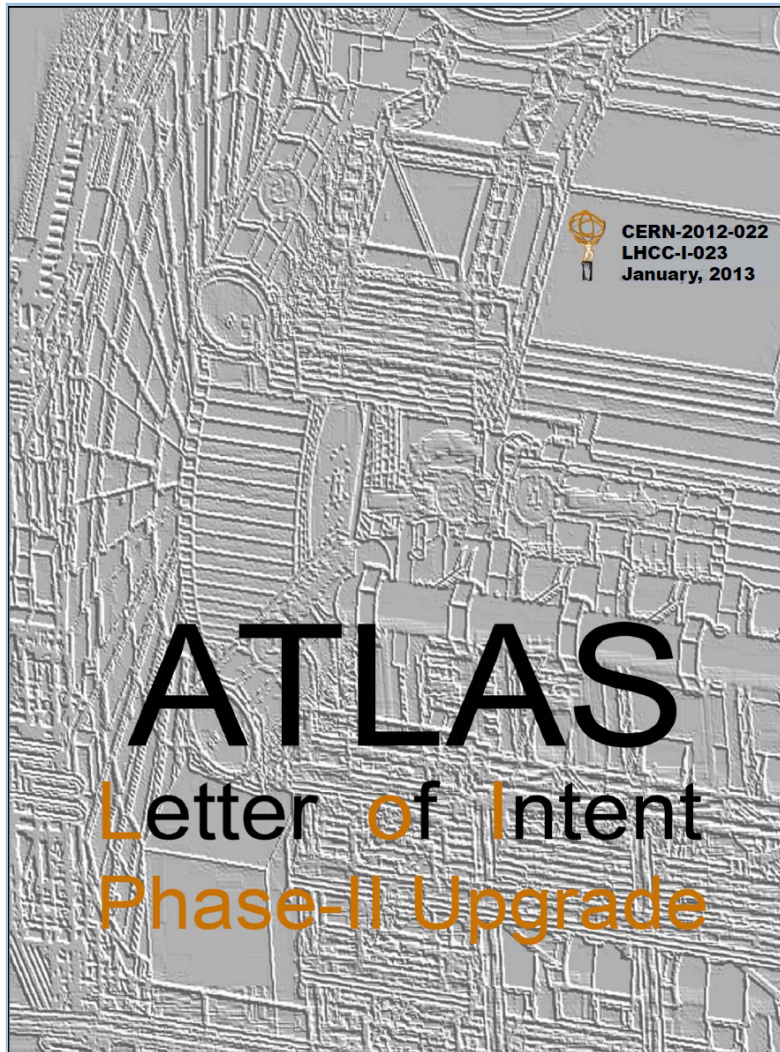
Integrated radiation levels (up to $2\text{-}3 \times 10^{16} \text{neq/cm}^2$) and plan to cope with $\mu \approx 200$ (pile-up).

Upgrades are necessary to maintain the ATLAS experiment potential :

- Present silicon detectors not radiation resistant enough for the phase 2 doses.
- Non negligible inefficiencies to be foreseen with the occupancy resulting from more than 120 collisions per bunch crossing.
 - TRT not usable anymore (occupancy > 50%).
- Present FEB of the Lar calorimeter will be more than 15 years old and are not designed to stand more the 700fb^{-1} .
- The relatively low mass of the Higgs particle means that it decays to particles with a fairly soft p_T spectrum, mandating the use of relatively open (low threshold) triggers to collect events as inclusively as possible.
 - Quasi necessary to implement a L1 ID track trigger to preserve a good lepton trigger efficiency on rather low mass objects



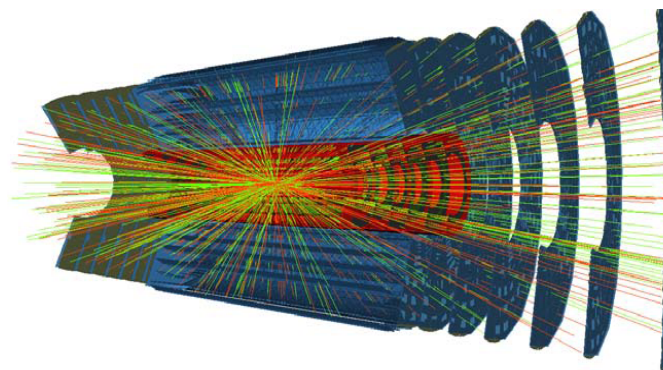
ATLAS detector upgrade for phase II



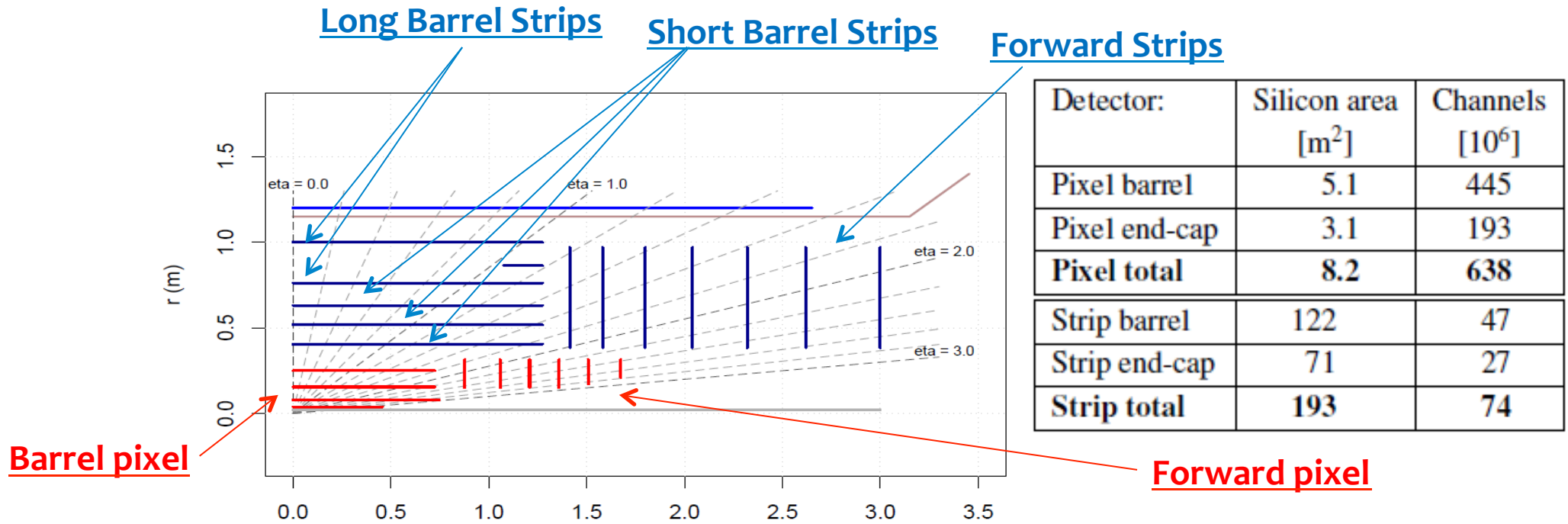
Presented at LHCC in March 2013

ATLAS detector upgrade for phase II

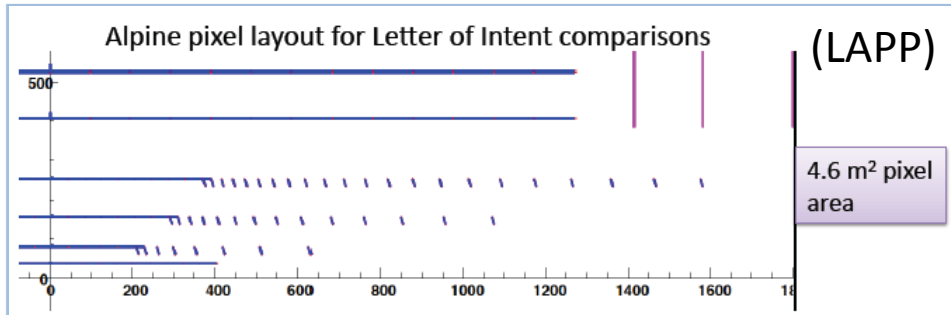
- New Inner Detector (strips and pixels)
- TDAQ upgrade
- L1 Track Trigger
- New LAr front-end and back-end electronics
- Possible upgrades of HEC and FCal
- New Tiles front-end and back-end electronics
- Muon Barrel and Large Wheel trigger electronics
- Possible upgrades of TGCs in Inner Big Wheels
- Forward detector upgrades
- TAS and shielding upgrade
- Various infrastructure upgrades
- Common activities (installation, safety, ...)
- Software and Computing



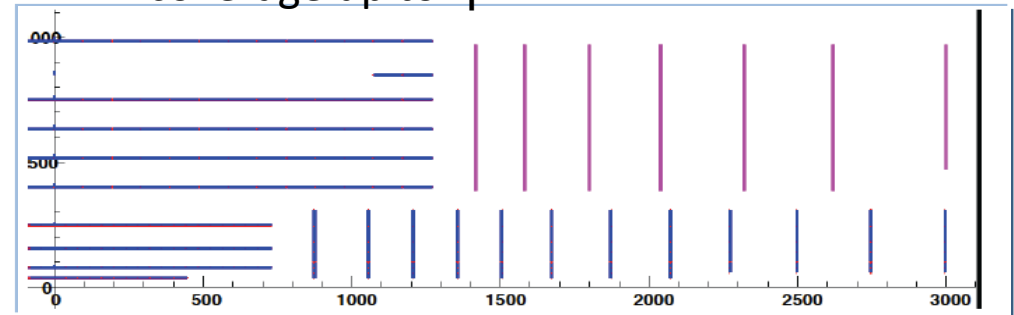
New all-silicon inner tracker



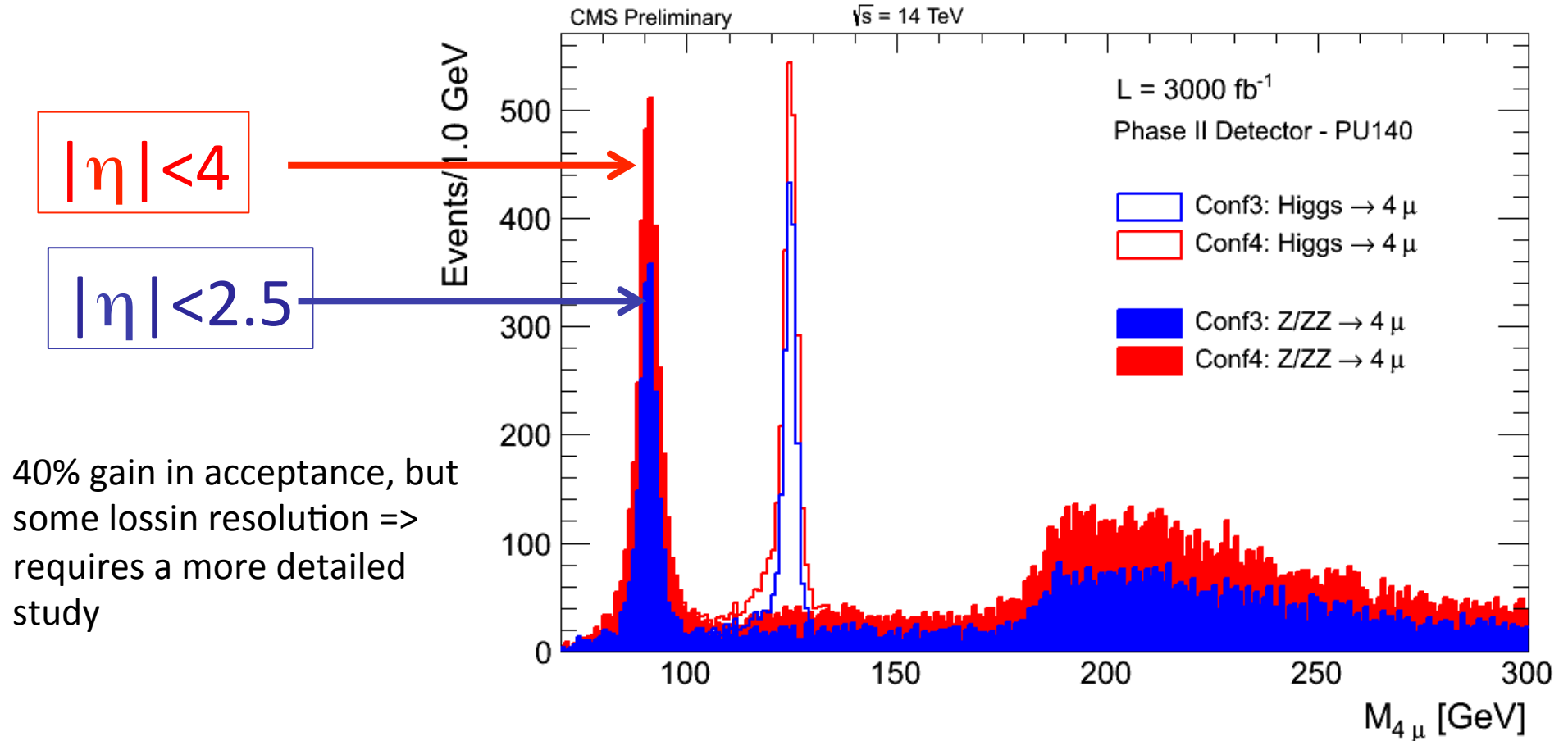
Alternative pixel layout options:



coverage up to $\eta = 4$



H→ZZ: impact of η acceptance



Pixel detector

Couches externes:

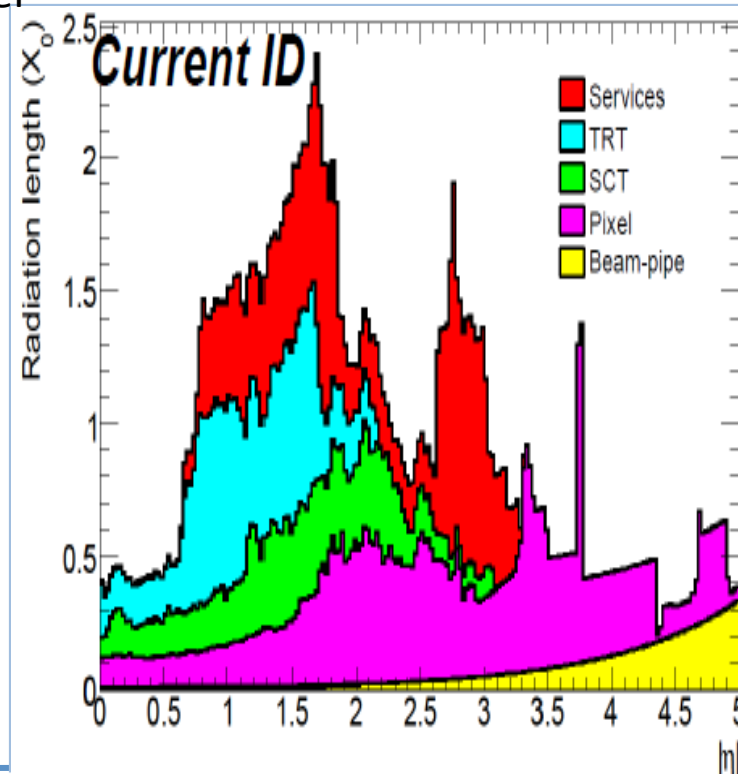
- Senseurs planaires de type IBL (R&D LAL/LPNHE) candidats naturels :
 - Granularité améliorée : $400 \times 50 \mu\text{m}^2 \rightarrow 125 \times 25 \mu\text{m}^2$ avec CMOS 65nm
 - Epaisseur réduite : $250 \mu\text{m} \rightarrow 100\text{-}150 \mu\text{m}$.
- Electronique: FE-I4-C, évolution du circuit FE-I4-B conçu par CPPM et déjà validé pour IBL

Couches internes:

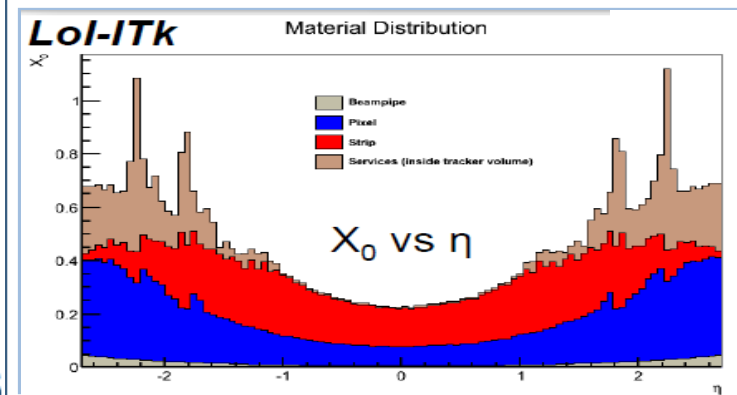
- Contraintes encore accrues en terme d'occupation et de radiations: jusqu'à $2 \cdot 10^{16} n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$
- Solutions envisagées:
 - Senseurs planaires / Si3D / Diamant (mono/poly-cristallin).
- 2 axes envisagés pour l'électronique de lecture
 - Evolution « naturelle » : CMOS 65nm (\rightarrow pixels $25 \times 125 \mu\text{m}$).
 - Electronique 3D (\rightarrow pixels $50 \times 125 \mu\text{m}$):
 - parties analogique et numérique optimisées séparément sur 2 étages.
 - Solution innovante encore en maturation: premiers prototypes soumis en 2009 (CPPM/LAL/LPNHE/ IPHC)
- R&D nécessaire sur l'électronique de lecture et les technologies résistantes aux radiations

Inner tracker material

- Essentiel pour la résolution aux impulsions faibles/intermédiaires et pour limiter les interactions et conversions qui diminuent l'efficacité de tracking.
- A priori: extrapolation du détecteur LHC au HL-LHC (nb de canaux $\times 5$) \rightarrow Quantité de matière passe de 2% X_0 à 5% X_0 par couche
 - Augmentation surtout due aux câbles, structures de support, services {refroidissement, ...}
- Optimisation des services (+ consommation réduite des senseurs) \Rightarrow gros gain par rapport à l'ID actuel



- Optimisation en cours pour les layouts Lol et Alpine



Implication dans l'upgrade tracker phase 2 ?

Que pourrait-on faire dans le tracker?

- R&D sur la technologie de détection et le readout
 - Expertise sur des technologies voisines à l'Irfu
 - Tenue aux radiations, expertise « historique » de Saclay.
- Conception et optimisation du détecteur
 - Beaucoup d'options sont encore ouvertes
 - Etudes de performances
 - Expertise à Saclay issue du spectromètre à muons pour orienter le design du tracker?
- Intégration et conception mécanique
 - Combattre la quantité de matière morte
 - Refroidissement
 - Matériaux à bas X0 (composites carbone, mousses carbone)
 - Comprendre et optimiser intrication entre refroidissement et conception mécanique
 - Optimiser la quantité de matière représentée par les services
- Communauté « Tracker » très ouverte à l'arrivée de nouveaux groupes
 - Synergie/coopération aisée avec l'IN2P3

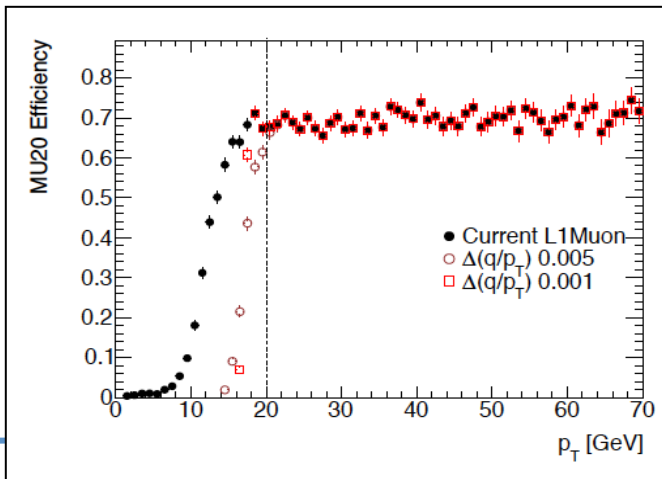
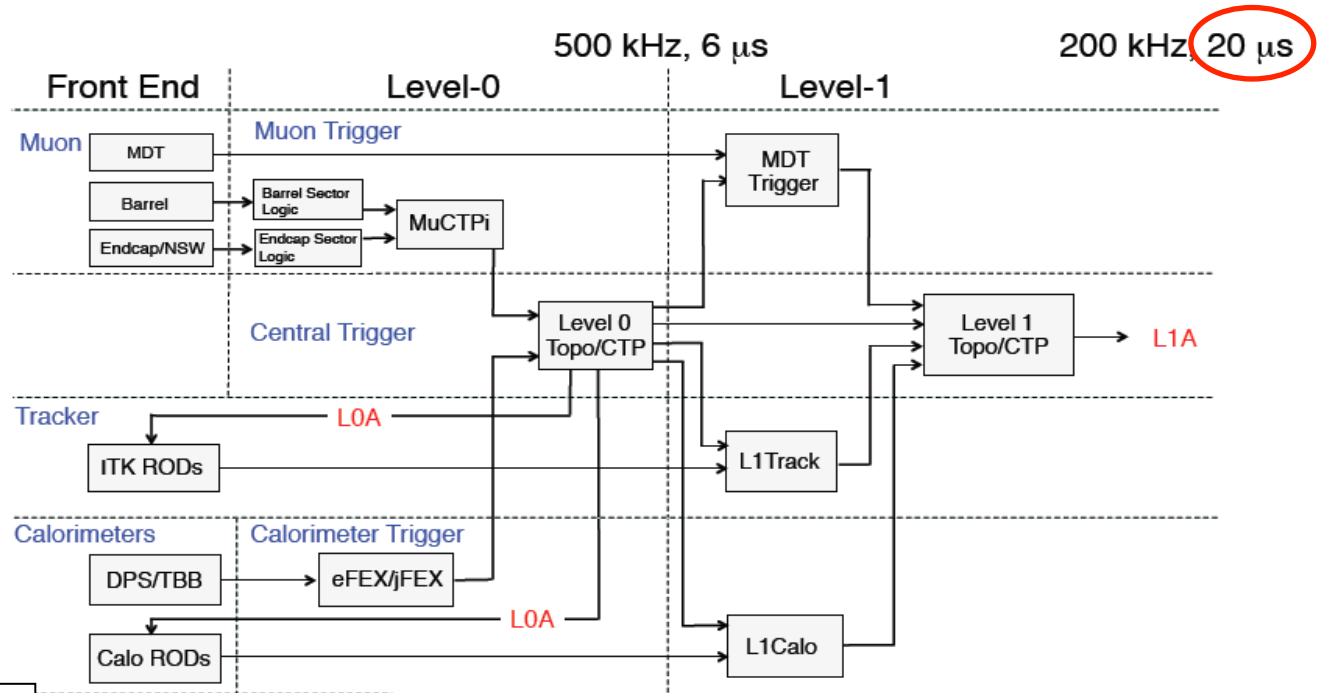
TDAQ upgrade

Implement a **ID track trigger** to complement muon and EM triggers

- Improves muon P_T resolution
- Improves EM identification by matching to track

Implemented as 2-level scheme reusing Phase-I L1 trigger improvements for **new L0**

FTK technology could be used to perform fast track fit in RoI



⇒ All sub-detectors
Front-end Electronic Boards
should be redone

Impact of ID track trigger

Expected Level-1 trigger rates at $7 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ for the baseline split L0/L1 Phase-II trigger

Object(s)	Trigger	Estimated Rate	
		no L1Track	with L1Track
e	EM20	200 kHz	40 kHz
γ	EM40	20 kHz	10 kHz*
μ	MU20	> 40 kHz	10 kHz
τ	TAU50	50 kHz	20 kHz
ee	2EM10	40 kHz	< 1 kHz
$\gamma\gamma$	2EM10	as above	~ 5 kHz*
$e\mu$	EM10_MU6	30 kHz	< 1 kHz
$\mu\mu$	2MU10	4 kHz	< 1 kHz
$\tau\tau$	2TAU15I	40 kHz	2 kHz
Other	JET + MET	~ 100 kHz	~ 100 kHz
Total		~ 500 kHz	~ 200 kHz

Phase-II Upgrades to LAr Electronics

- Replace all Front End boards (warm)
 - Replacement required due to aging and radiation limits
 - Gives flexible architecture sending data off-detector for all bunch-crossings
 - Natural evolution of Phase-I new digital trigger boards
 - Allows implementation of L0/L1 scheme using Phase-I L1 upgrades for Phase-II L0
- Replace Forward calorimeter (FCal) if required
 - Install new sFCAL in cryostat or miniFCAL in front of cryostat if significant degradation in current FCAL
 - Replace Hadronic calorimeter electronics if required
 - Replace HEC cold preamps if significant degradation in performance

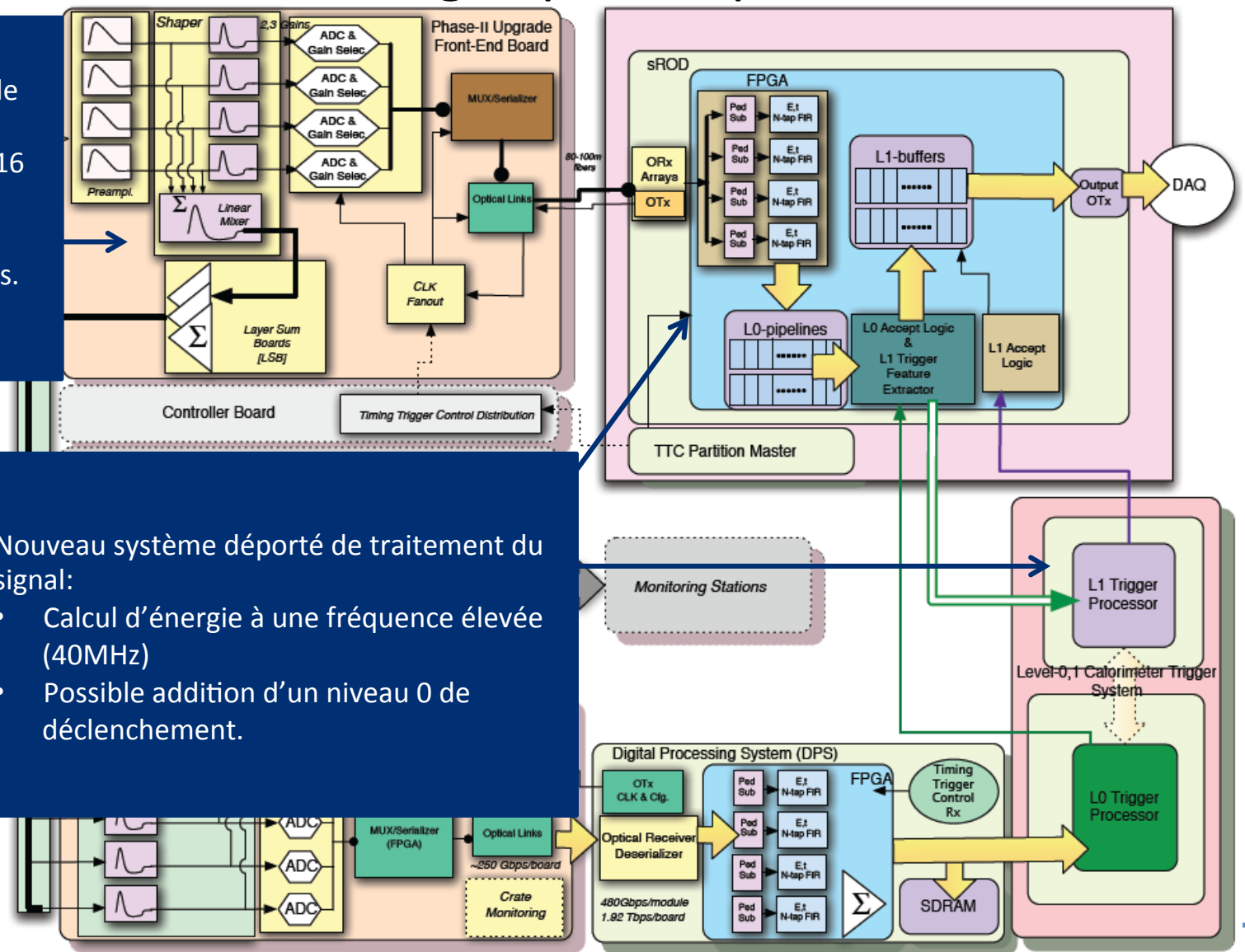
Calorimètre LAr : schéma de lecture envisagée pour la phase II

Nouvelle carte frontale de lecture:

- Gamme dynamique 16 bits (inchangée)
- Lecture continue (40MHz) des données.
- Plus de pipeline!

Nouveau système déporté de traitement du signal:

- Calcul d'énergie à une fréquence élevée (40MHz)
- Possible addition d'un niveau 0 de déclenchement.



Implication de l'Irfu dans l'upgrade Lar phase II?

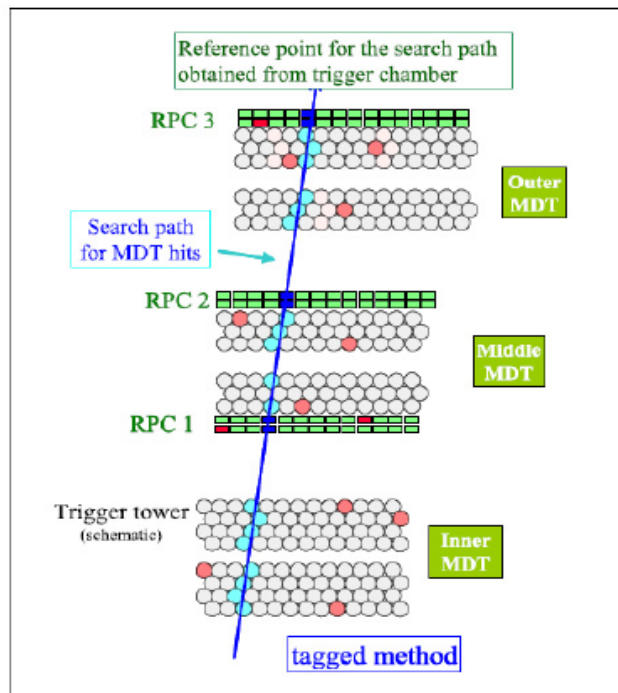
On peut profiter de l'expertise acquise lors de la construction du calorimètre a argon liquide, puis de l'upgrade phase I pour engager une contribution a l'upgrade de l'électronique de la phase II.

- la LTDB Phase I peut être vue comme une préfiguration de la FEB de Phase II
 - Numérisation à 40 MHz, densité comparable (si on prend en compte les 3 gammes de gain)
- Projet global "new FEB's" très important
 - Probablement assez facile pour l'Irfu de trouver sa place (surtout après une LTDB réussie)
- Expressions d'intérêt des labos de l'IN2P3:
 - Conception de la nouvelle carte de lecture frontale (LAL).
 - Conception de la nouvelle carte de calibration (LAL, LAPP, LPSC).

Autre possibilité: Nouveau trigger processor level 1

Muon system electronics upgrade

- Upgrade front-end electronics (accommodate L0/L1 scheme)
- Upgrade of RPC and TGC trigger electronics to cope with the 500kHz at L0
- Improve L1 p_T resolution
 - Implement new system to improve p_T -resolution using MDT information and/or improving spatial resolution of the RPC



Use precision MDT information to improve p_T resolution of RPC ROI

Improved spatial resolution using charge sharing in RPC strips is also being investigated

Upgrade phase II: CORE cost estimates

<i>Item</i>	CORE cost (MCHF)	Possible additions	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
New Inner detector	131.500	26.000	2.400	5.600	35.660	32.460	29.160	15.360	10.860	0.000
LAr Calorimeter upgrades	32.124	15.096	0.547	3.170	1.015	2.003	4.517	14.379	6.494	0.000
Tile Calorimeter upgrades	7.483	2.517	0.000	0.000	0.000	1.122	1.629	4.070	0.602	0.060
Muon spectrometer upgrades	19.632	0.500	0.100	0.275	0.675	3.791	5.041	6.750	2.800	0.200
Trigger and DAQ upgrades	23.315	0.900	0.000	0.075	0.315	1.565	2.085	9.805	4.350	5.120
Common Fund	16.280	0.000	0.000	0.100	0.400	0.600	2.850	4.100	4.880	3.350
Total (MCHF)	230.334	45.013	3.047	9.220	38.065	41.541	45.282	54.464	29.986	8.730

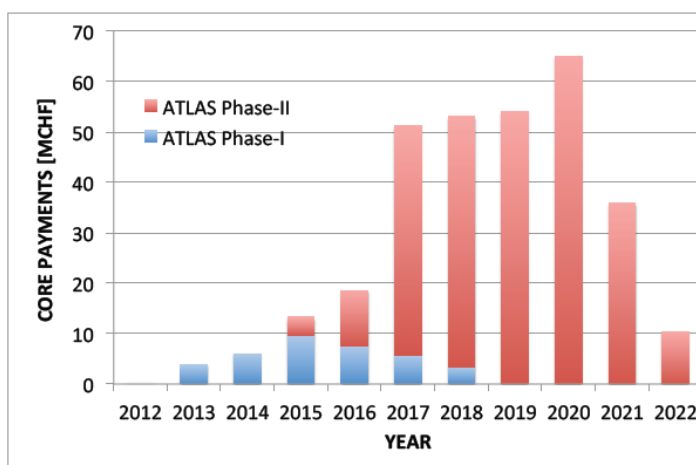


Cost Time Profile

CORE costing

Phase-1 uses TDR costings

Phase-2 uses Lol costings, and includes options



Conclusions 1

- Phases II du LHC caractérisée par un programme de physique prometteur dans de nombreux domaines: secteur de Higgs, physique exotique...
- Les upgrades du LHC s'inscrivent clairement dans les priorités définies par nos communautés à Cracovie/Erice
- Le LHC va faire partie de notre paysage scientifique pendant vingt à trente ans, il faut être capable d'exploiter au mieux la luminosité qu'il va délivrer.
- Des améliorations sont nécessaires pour préserver le potentiel de l'expérience ATLAS:
 - Détecteurs actuels au silicium non résistants aux doses de la phase II.
 - Inefficacités non négligeables aux occupations prévues (plus de 120 collisions par croisement de faisceau).
 - TRT essentiellement inexploitable
 - Quasi nécessité d'inclure un trigger de traces interne au niveau L1
 - Les cartes d'acquisition du calo Lar auront plus de 15 ans et sont qualifiées pour « seulement » 700 fb^{-1} .
- Phase II va nécessiter un remplacement intégral de systèmes (lecture des calorimètres), voire de sous détecteurs (détecteur internes):
 - Beaucoup de R&D ont déjà commencé, il faut se positionner...

Conclusions 2

- Saclay a une image d'excellence et de compétence technologique forte, ancrée dans les réalisations réussies par le passé, dans ATLAS et ailleurs.
- Il est possible de valoriser, de prolonger et de faire fructifier cette image en se positionnant dans les upgrades de phase 2.
- Il faut acquérir et maintenir des compétences technologiques dans les laboratoires pour pouvoir concrétiser un jour des projets de grande envergure hors ou post-LHC
- S'impliquer dès maintenant maximise les chances d'avoir une forte visibilité lorsque les choses démarreront vraiment.
- Faire naître de nouveaux projets peut être un bon moyen d'obtenir des recrutements