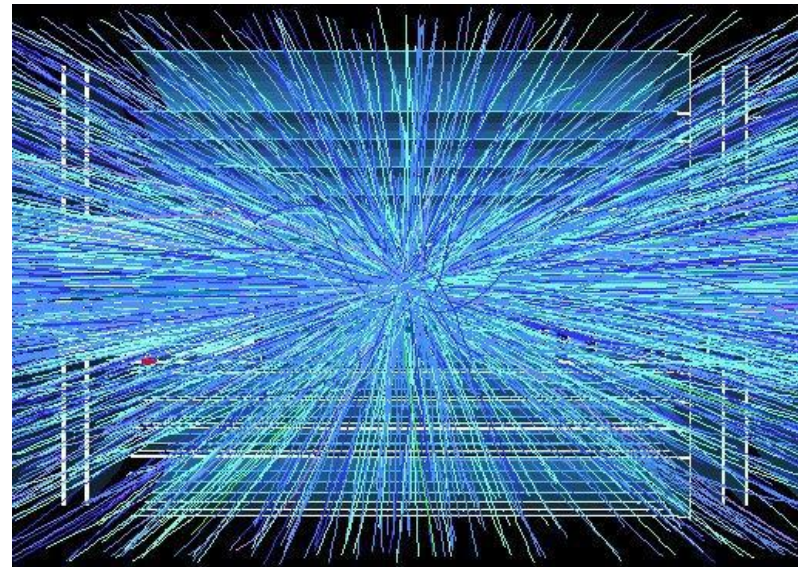
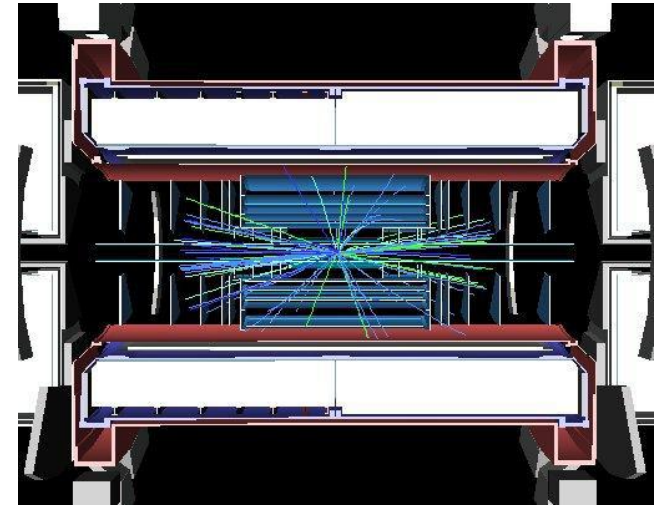


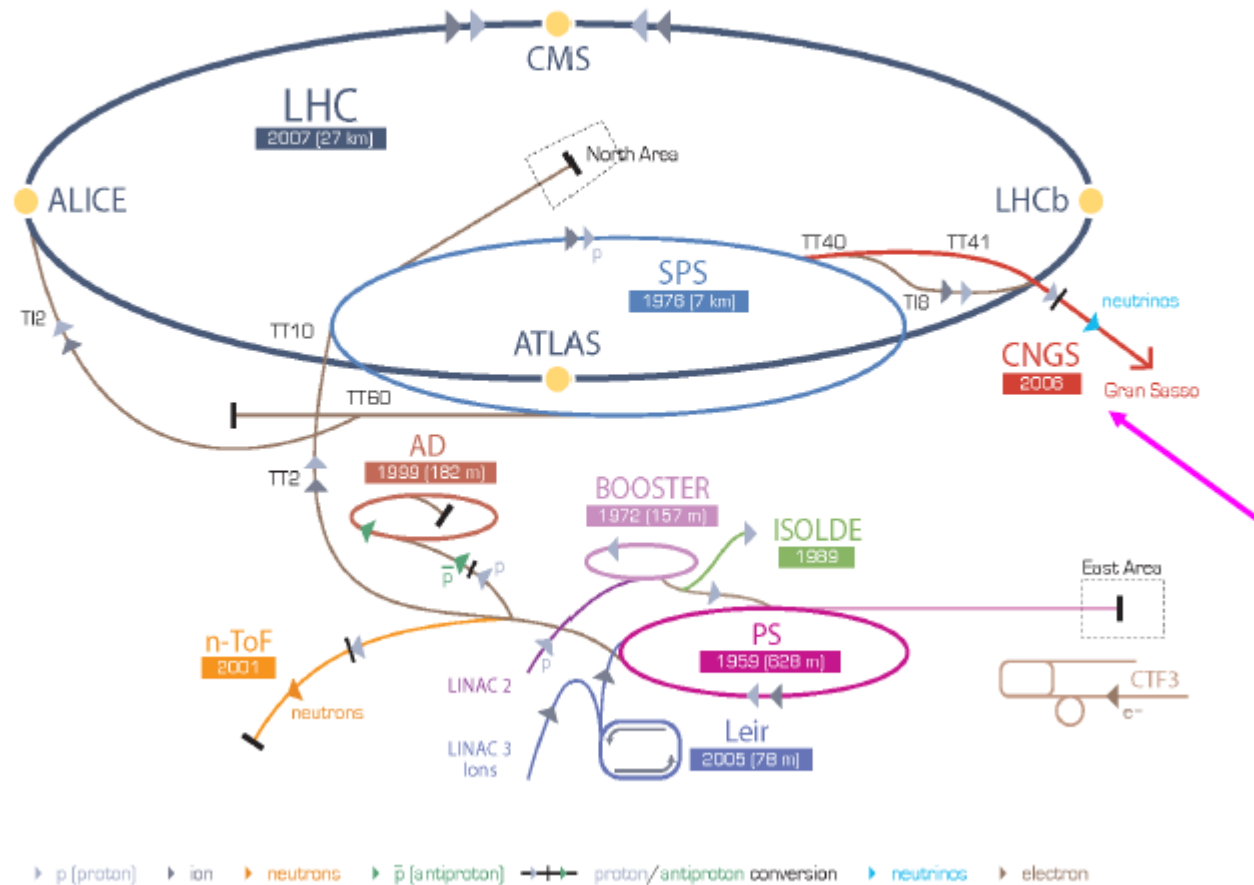
# Upgrade LHC

- Généralités
- Performance jusqu'à aujourd'hui
- Planning
- Phase 0
- HL-LHC
- HE-LHC



# Généralités

## CERN Accelerator Complex



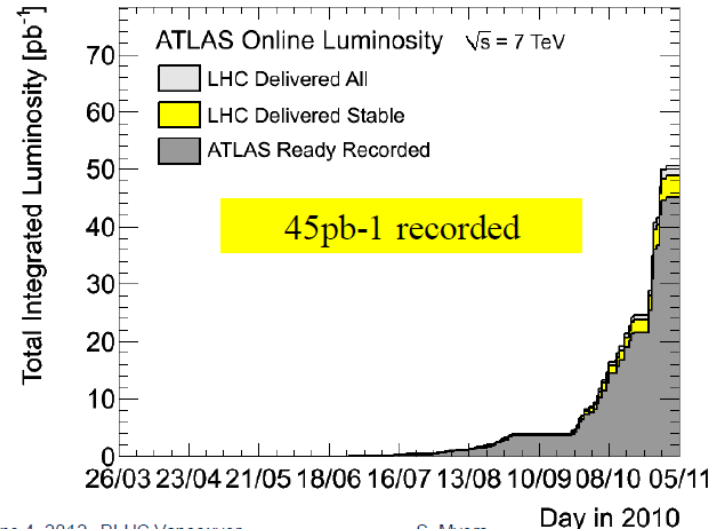
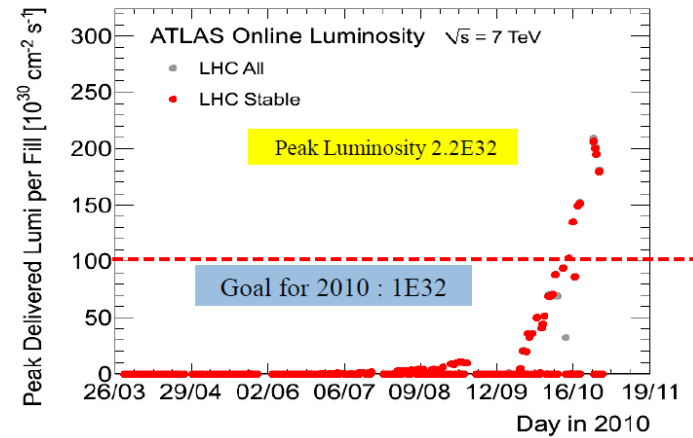
- **Luminosité**

$$L = \frac{n_b \cdot N_{bunch1} \cdot N_{bunch2} \cdot f_{rev}}{4\pi \cdot \beta^* \cdot \varepsilon_n} \cdot R(\phi, \beta^*, \varepsilon_n, \sigma_s)$$

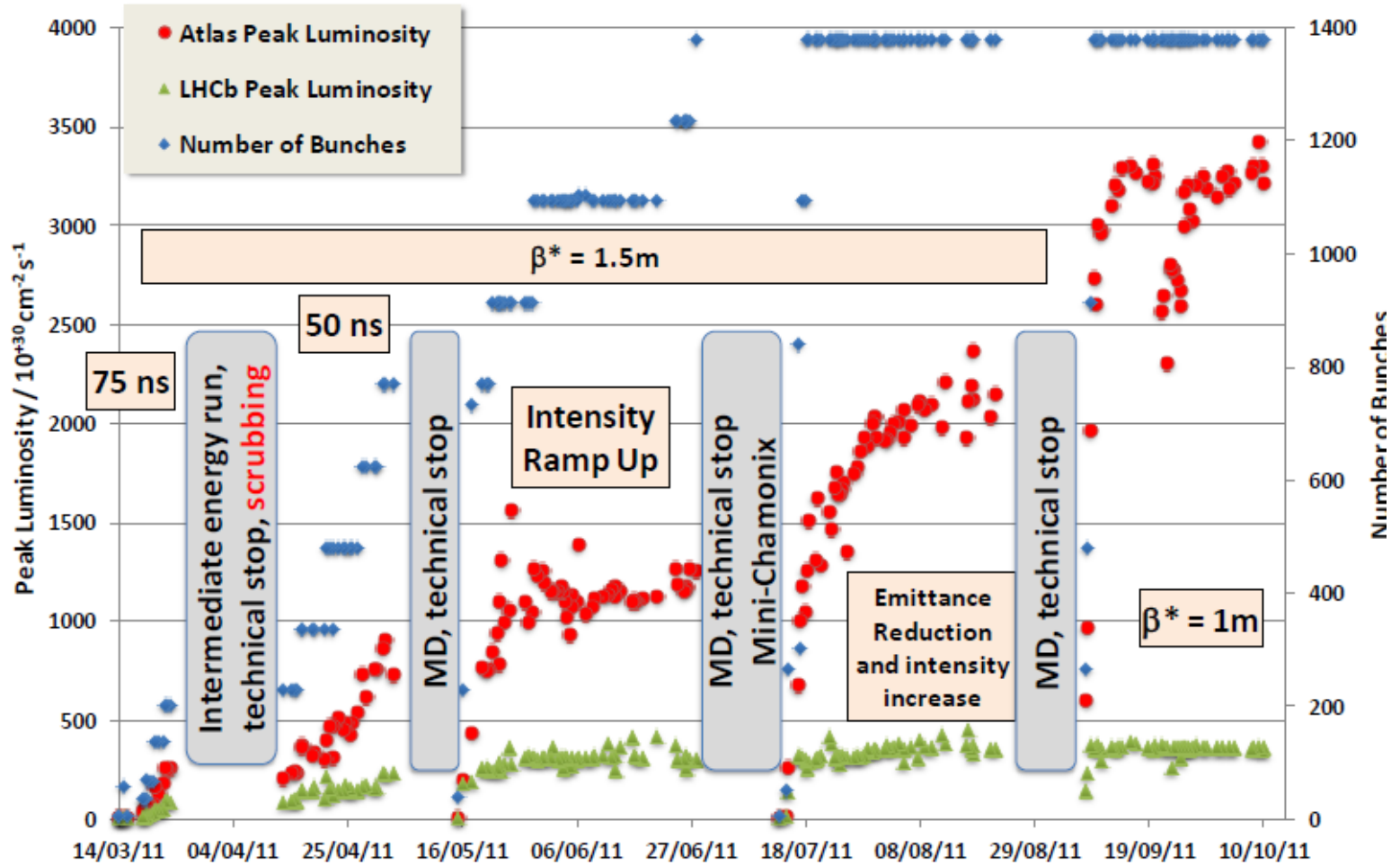
- **↑ Brillance faisceaux ( $N_{bunch}/\varepsilon$ ) : beam-beam limit, performance injecteurs**
- **↓ Taille faisceaux ( $\beta^*$ ) (puissance faisceaux constante)**
- **↑ Nombre de paquets (limite puissance faisceaux)**
- **Compenser R (perte au croisement à angle)**

# 2010

- 7 TeV
- Jusqu'à 348+348 bunches
- $L \Rightarrow 2 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



# 2011



- 2011: 7 TeV,

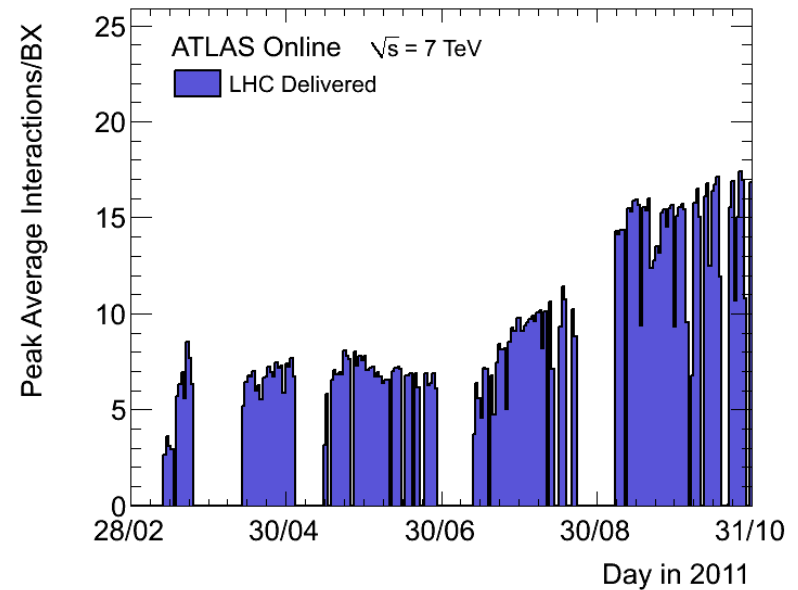
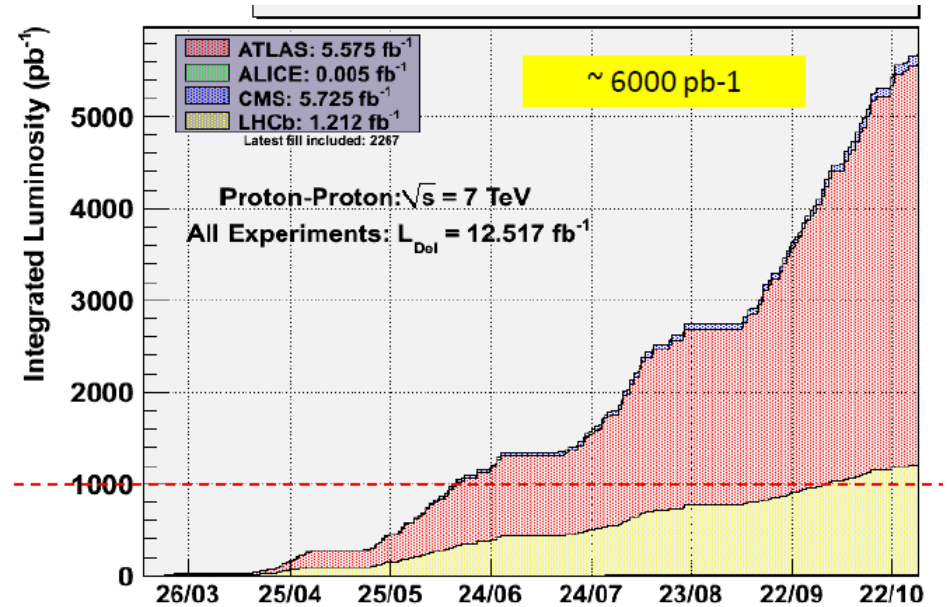
## ATLAS

- Délivré:  $5.6 \text{ fb}^{-1}$
- Enregistré:  $5.25 \text{ fb}^{-1}$
- Utilisé analyses:  $4.8\text{-}4.9 \text{ fb}^{-1}$

Nombre de vertex moyen:

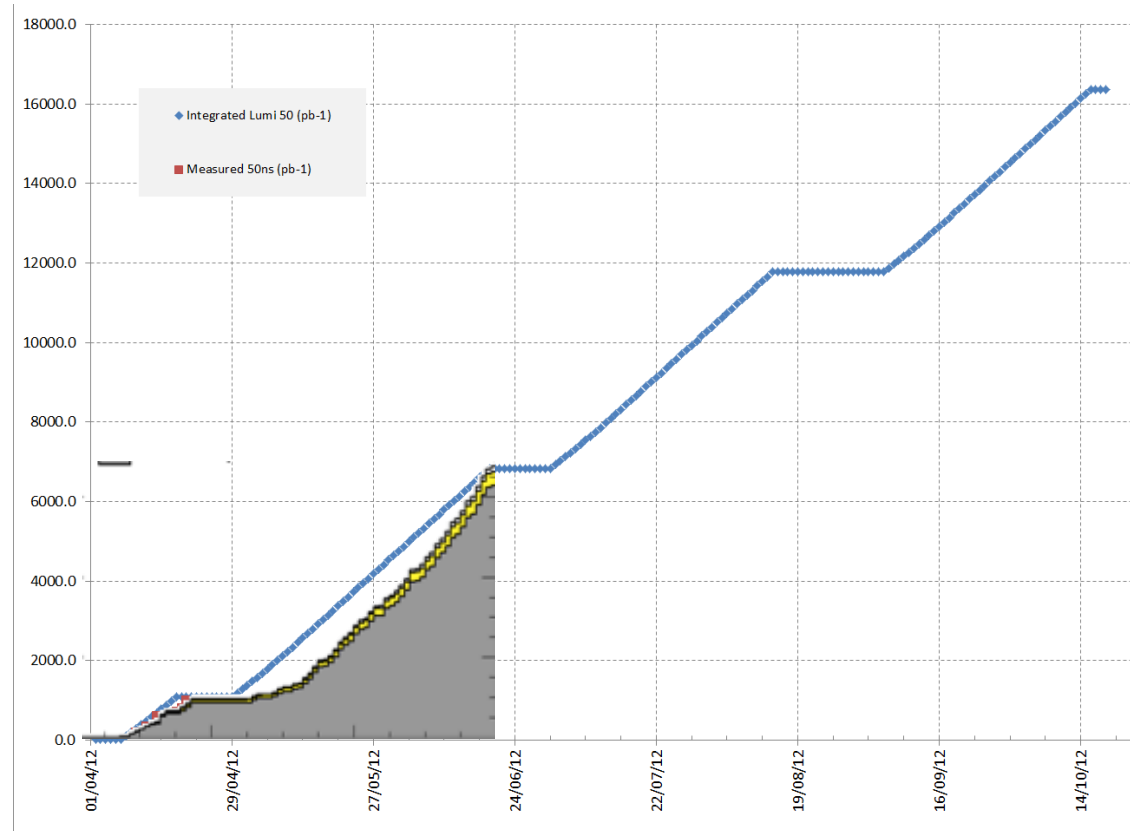
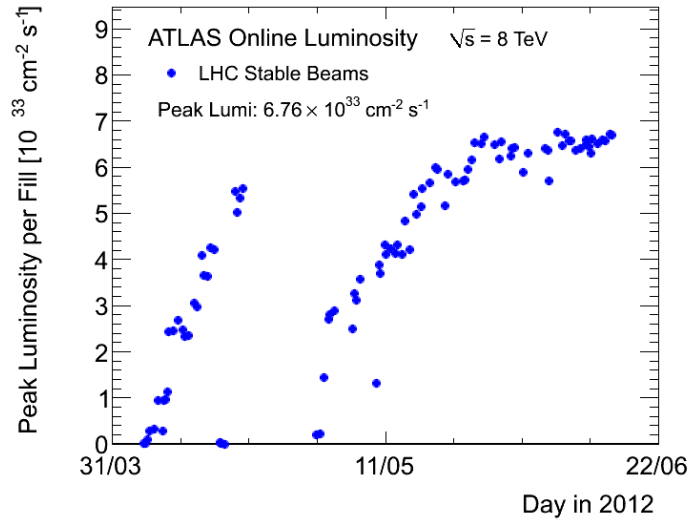
Avant l'été:  $\langle \mu \rangle \sim 6$

Après l'été:  $\langle \mu \rangle \sim 15$



# 2012

- **8 TeV, bunch spacing 50 ns,  $\beta^* = 60$  cm**



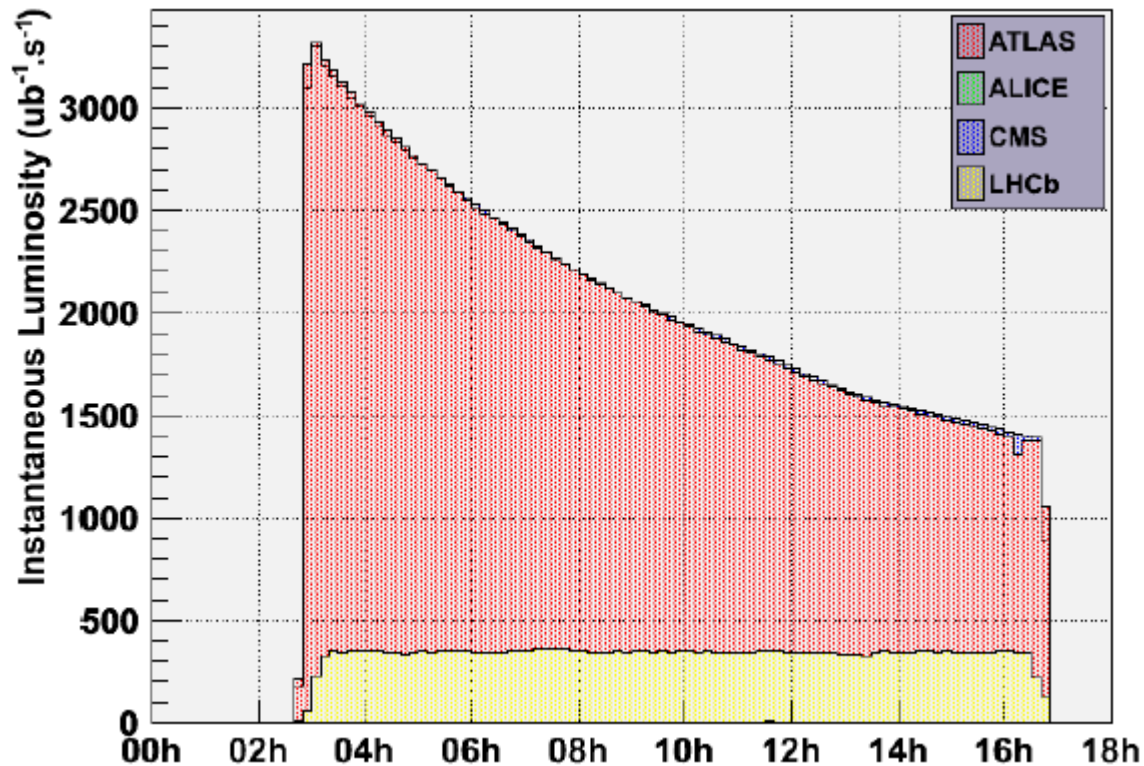
— à  $6.5 \cdot 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$   $\langle \mu \rangle \sim 30$

- **Aujourd'hui plus de  $6 \text{ fb}^{-1}$  · Fin 2012:  $20 \text{ fb}^{-1}$**



# LHCb: « Lumi-levelling »

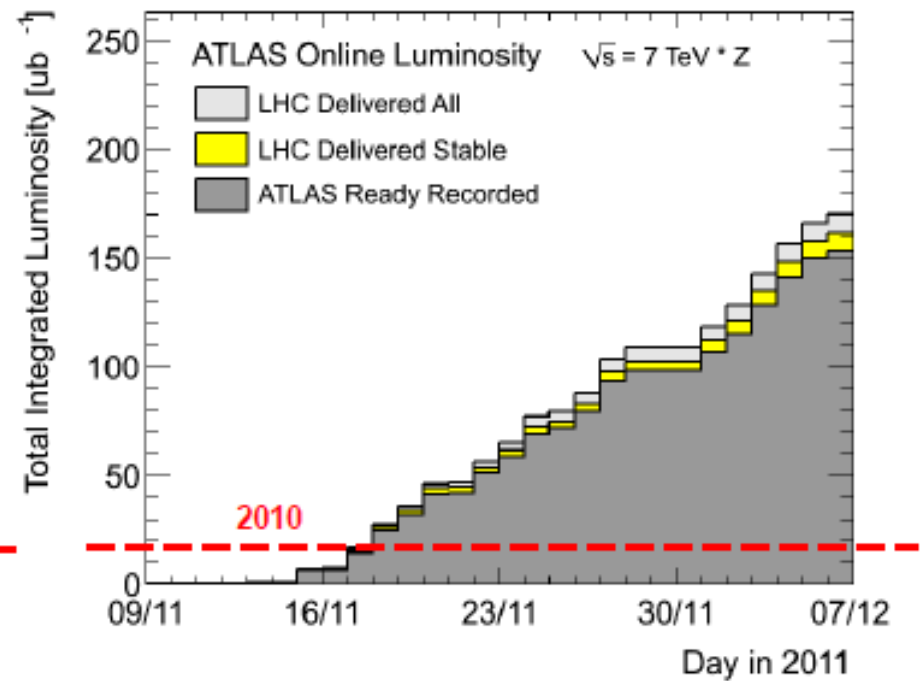
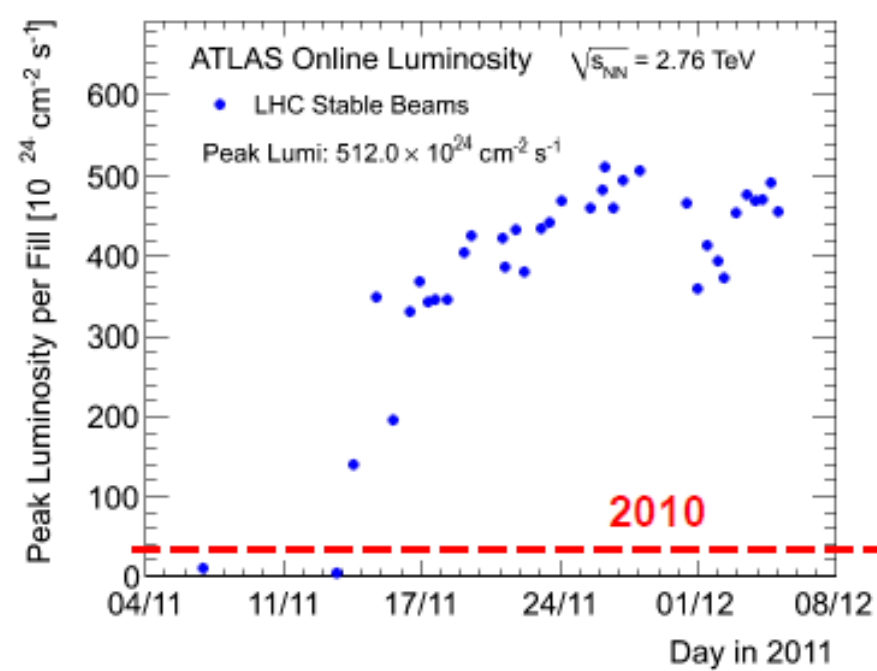
- LHCb: L constante 3-3.5  $10^{32}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ,  $\langle\mu\rangle = 1.5$





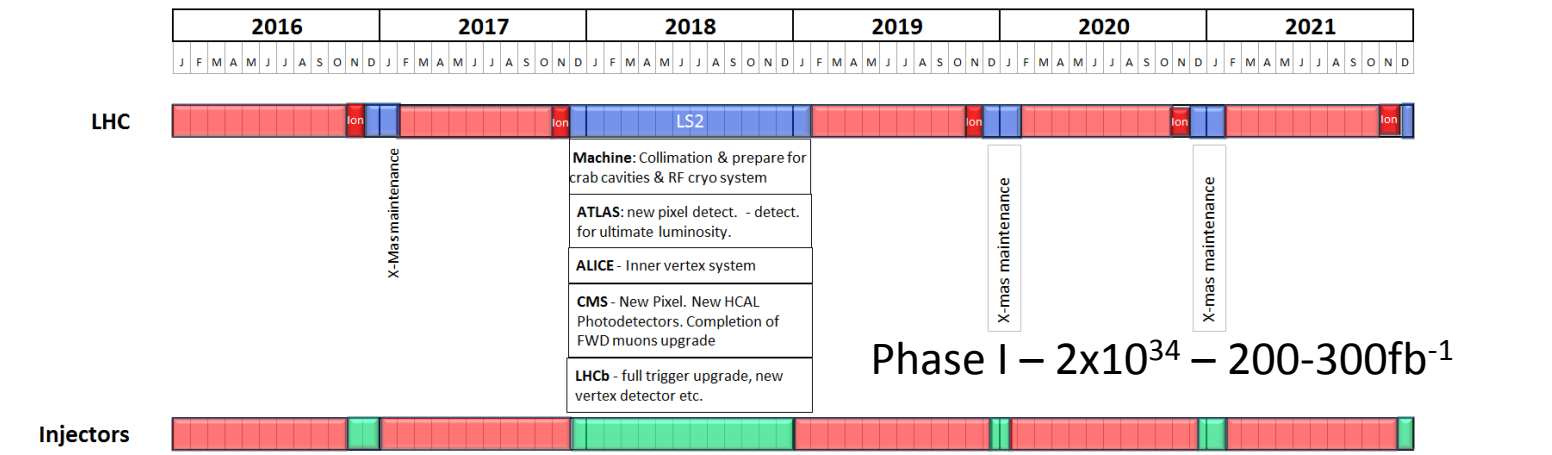
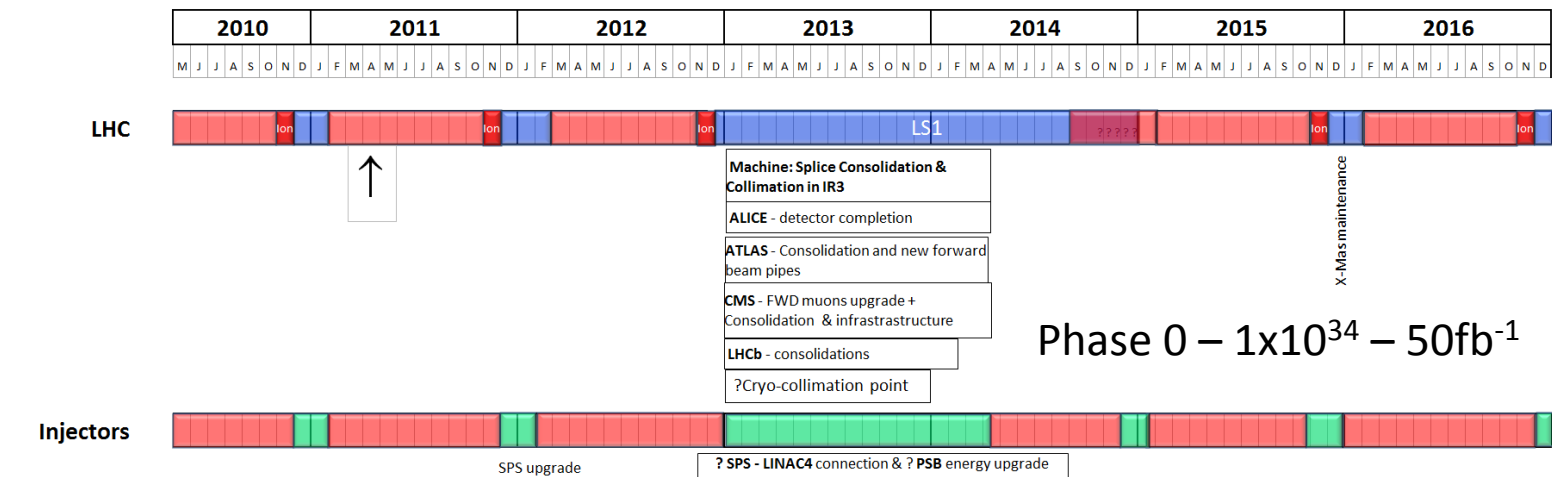
# Ions lourds

- 2011: 3 semaines de run Nov-Dec



- 356 bunches

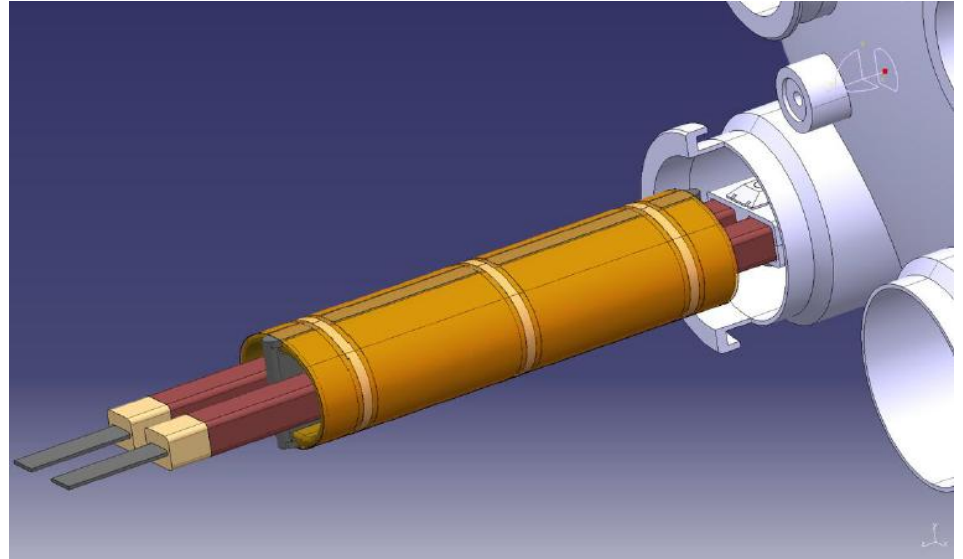
# Phases Upgrade LHC



Phase II after 2022 long shutdown:  
 $5 \times 10^{34}$  +levelling –  $2 \text{ab}^{-1}$

# 2013-2014: Long-Shutdown 1

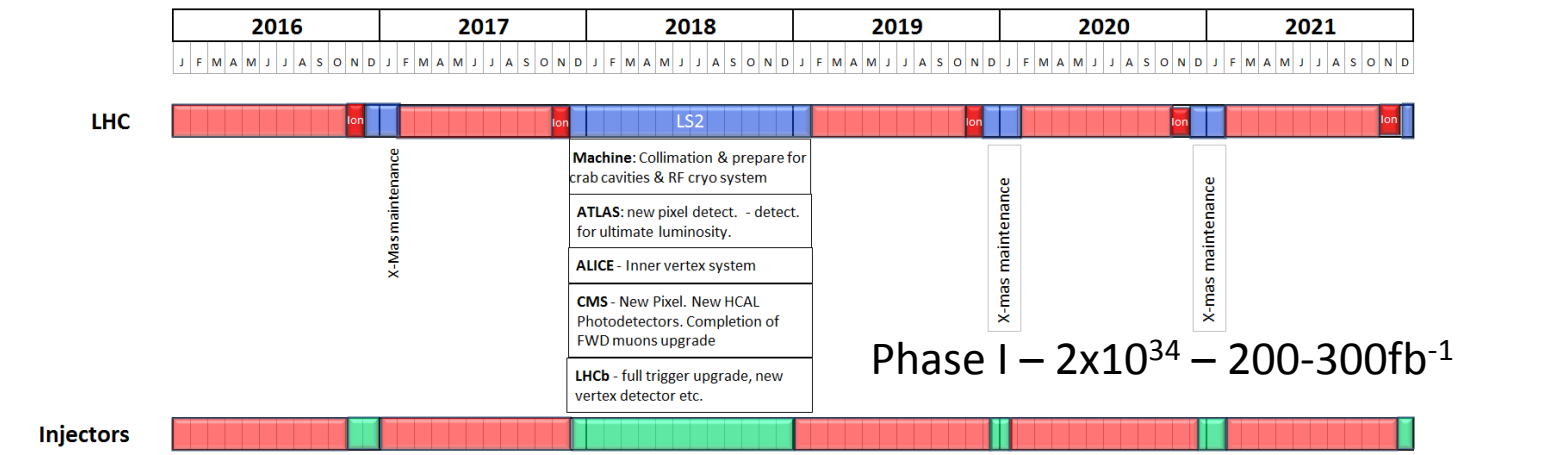
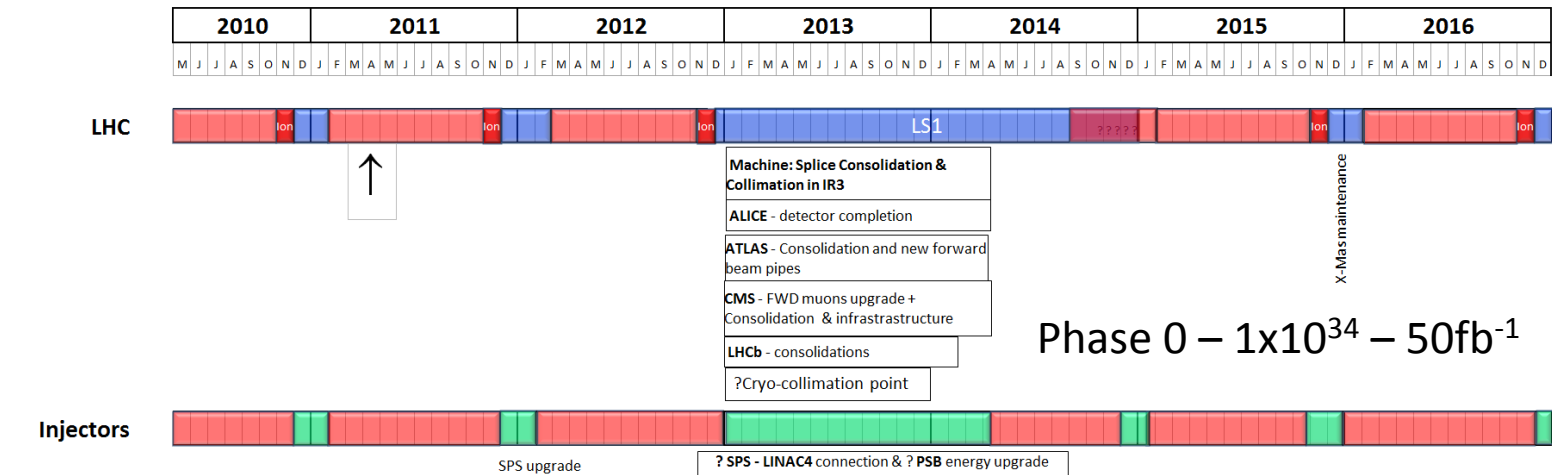
- **Réparation des jonctions défectueuses**
- **Consolidation de toutes les jonctions**
- **Terminer mise en place des soupapes  $\phi$  200**
- **Préparation de tous les équipements pour 7 TeV/faisceau**
- **Upgrades mineurs détecteurs**



# 2015-2017: LHC nominal (phase 0)

- **E = 6.5 TeV/ faisceau ,  $\beta^* = 0.5$  m**
- **Autres conditions: inchangées (injecteurs etc..)**
- **Choix bunch-spacing**
  - **50ns Luminosité pic:  $1. 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  , intégrée  $30 \text{ fb}^{-1}$  ,  $\langle m \rangle \sim 50$**
  - **25 ns Luminosité pic:  $1. 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$  , intégrée  $22 \text{ fb}^{-1}$  ,  $\langle m \rangle \sim 17$**

# Phases Upgrade LHC

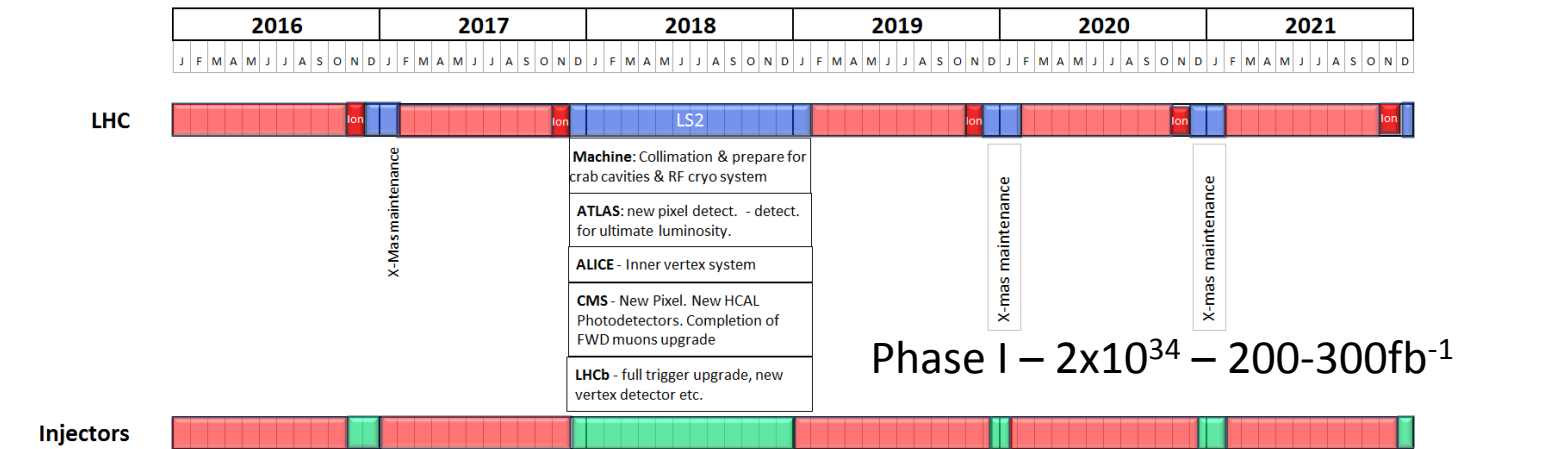
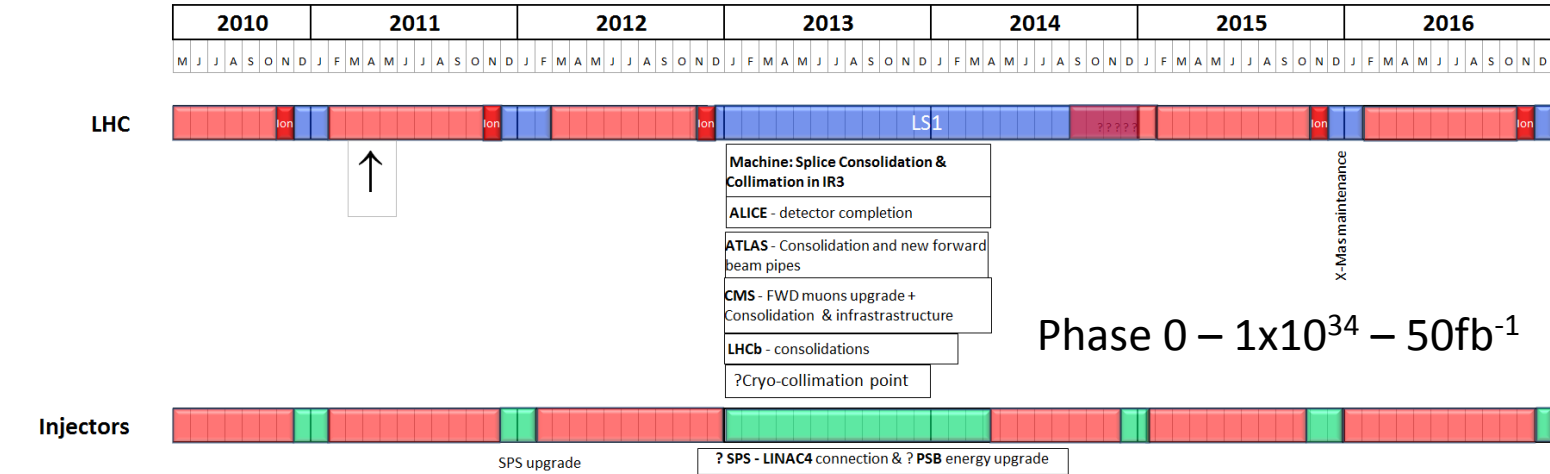


Phase II after 2022 long shutdown:  
 $5 \times 10^{34}$  +levelling –  $2 \text{ab}^{-1}$

# 2018-2021

- **2018 : LS 2 :**
  - **Upgrade injecteurs LHC**
    - Intégration Linac4
    - Upgrade Booster 1.4 GeV -> 2 GeV
      - **RF, lignes de transfert, instrumentation**
    - Upgrades PS
      - Injection, RF, instrumentation
    - Upgrades SPS
      - Electron cloud etc., RF
  - **Upgrade majeurs détecteurs**
- **2019-2021 : Phase I**
  - **Run 13 TeV,  $L = 1 \text{ à } 3 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1} \Rightarrow 200 - 300 \text{ fb}^{-1}$**

# Phases Upgrade LHC



Phase II after 2022 long shutdown:  
 $5 \times 10^{34}$  +levelling –  $2 \text{ab}^{-1}$



# 2022 - ...

- **2022: LS3**

- But :  $L = 5 \cdot 10^{34}$  avec « levelling » (potentiel  $210^{35}$ )
- Nouvelles insertions (focalisation, haut champ) à Atlas et CMS:  $\beta^* 10\text{-}20$  cm
- Cavités « crabe »
- Collimation dans les arcs

- **2023: Opération HL-LHC , « phase II »**

= >  $3000 \text{ fb}^{-1}$  (10 ans?)

- **HE- LHC (High-Energy) 2030??**

- R&D aimants haut champ 20 T => Faisceau 16.5 TeV
- SPS + : 1.3 TeV, supra , fast-cycling
- etc.

