

Angle	Variable	radian (rad)	degrés (°)
Azimut	θ	1.7677 ± 0.0001	101.2790 ± 0.0001
Latitude	λ	0.8082 ± 0.0001	46.309 ± 0.003
Longitude	ℓ	0.1061 ± 0.0001	6.0766 ± 0.0001

Tab. 2.5: Angles paramètres de la matrice de changement de base [50].

En guise d'application numérique, on déduit pour l'année 2017 que le temps sidéral est donné par :

$$\begin{aligned}
 t_{\text{sidéral}} &= \frac{\Omega_{\text{UT1}}(t_{\text{CMS}} - t_0) + \phi_{\text{Unix}} + \phi_{\text{long}}}{\Omega_{\text{GMST}}} \\
 &= \frac{7.2921 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}(\text{UT1}) \times (t_{\text{CMS}} - 1\,483\,228\,800) + 3.2830 \text{ rad}}{7.2722 \times 10^{-5} \text{ rad s}^{-1}(\text{GMST})}
 \end{aligned}$$

2.3.2 ROTATION SCF \rightarrow CMS

Pour caractériser la rotation de la terre sur elle-même il faut faire appel à deux angles en plus de la vitesse angulaire de la Terre. Le premier angle est la latitude λ , vieille coordonnée marine qui commence à l'équateur ($\lambda = 0^\circ$) et qui finit aux pôles ($\lambda = \pm 90^\circ$). Le deuxième angle est l'azimut θ au LHC [50]. L'azimut mesure l'angle entre un vecteur tangent à l'anneau (dans le sens horaire) et le vecteur colinéaire au méridien de Greenwich (orienté Nord).

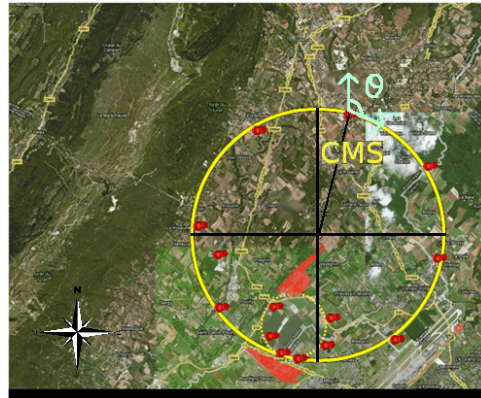


FIG. 2.9: Image Google Earth de l'anneau du LHC

Un résumé des angles est montré dans le tableau Tab.2.5.

On rappelle que le but est de passer par rotation du référentiel SCF au référentiel de CMS. La première étape est de définir une base au point 5 du LHC (CMS). Par

convention, on a l'axe z suivant le faisceau dans le sens des aiguilles d'une montre et l'axe x perpendiculaire à z pointant vers le centre de l'anneau. On construit ensuite notre axe y qui pointe vers la surface de sorte à obtenir un repère orthonormé direct. La seconde étape est de construire la matrice de rotation R dépendante du temps qui nous permet la transition entre le SCF et le référentiel de CMS :

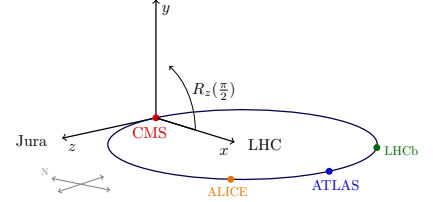
$$\mathcal{B}_{\text{CMS}}(x, y, z) \xrightarrow{R(t)} \mathcal{B}_{\text{SCF}}(X, Y, Z)$$

où \mathcal{B} représente les bases des référentiels. Dans la suite, toutes les rotations seront dans le sens trigonométrique.

2.3.2.1 Matrices de rotation

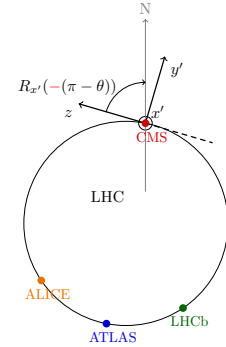
PREMIÈRE ROTATION $R_z(\frac{\pi}{2})$. C'est une rotation autour de l'axe z qui rend l'axe x normal au plan du LHC. Cela permet d'avoir l'axe x normal au plan tangent de la Terre, à la localisation du LHC. La nouvelle base donnée par $\mathcal{B}_{\text{CMS}}(x', y', z)$.

$$R_z\left(\frac{\pi}{2}\right) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$



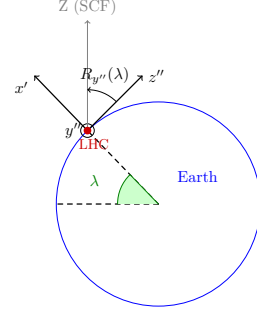
DEUXIÈME ROTATION $R_{x'}(\pi - \theta)$. On veut orienter l'axe z en direction du Nord. On tourne dans le sens trigonométrique autour de l'axe x' avec un angle $\pi - \theta$ (co-azimuth). La nouvelle base donnée par $\mathcal{B}_{\text{CMS}}(x', y'', z'')$.

$$R_{x'}(-(\pi - \theta)) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\cos(\theta) & \sin(\theta) \\ 0 & 0 & -\sin(\theta) & -\cos(\theta) \end{pmatrix}$$



TROISIÈME ROTATION $R_{y''}(\lambda)$. Rotation autour de l'axe y'' pour faire coïncider l'axe z avec l'axe Z du SCF. La nouvelle base donnée par $\mathcal{B}_{\text{CMS}}(x'', y'', Z)$.

$$R_{y''}(\lambda) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\lambda) & 0 & \sin(\lambda) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -\sin(\lambda) & 0 & \cos(\lambda) \end{pmatrix}$$



QUATRIÈME ROTATION $R_Z(\Omega t)$. Une dernière rotation autour de l'axe Z a deux buts : suivre la rotation de la Terre au cours du temps et se synchroniser avec le SCF : $\{x'', y''\} \Rightarrow \{X, Y\}$.

$$R_Z(\Omega t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\Omega t) & -\sin(\Omega t) & 0 \\ 0 & \sin(\Omega t) & \cos(\Omega t) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Avec $\Omega t = \Omega_{\text{UTC}} t_{\text{CMS}} + \phi_{\text{Unix}} + \phi_{\text{longitude}}$

La matrice de rotation SCF \rightarrow CMS

En résumé :

$$R(\lambda, \theta) = R_{y''}(\lambda) R_{x'}(-(\pi - \theta)) R_z\left(\frac{\pi}{2}\right) R_Z(\Omega t) \quad (2.35)$$

$$R(\lambda, \theta, t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\cos(\Omega t) s_\lambda c_\theta + \sin(\Omega t) c_\theta & -\cos(\Omega t) c_\lambda & -\cos(\Omega t) s_\lambda c_\theta - \sin(\Omega t) s_\theta \\ 0 & -\sin(\Omega t) s_\lambda c_\theta - \cos(\Omega t) c_\theta & -\sin(\Omega t) c_\lambda & -\sin(\Omega t) s_\lambda c_\theta + \cos(\Omega t) s_\theta \\ 0 & -c_\lambda s_\theta & -s_\lambda & -c_\lambda c_\theta \end{pmatrix} \quad (2.36)$$

2.3.3 LES QUANTITÉS $A^{\mu\nu}$

Pour calculer les quantités $A^{\mu\nu}$ introduites dans (2.17), dans le référentiel de CMS, des simulations pour le processus $t\bar{t} \rightarrow b\ell^+\nu_\ell + \bar{b}\ell^-\bar{\nu}_\ell$ ont été réalisées en générant des événements au niveau partonique avec MadGraph_aMC@NLO [51] au premier ordre avec le PDF NNPDF2.3 LO [52] dans le Modèle Standard.