

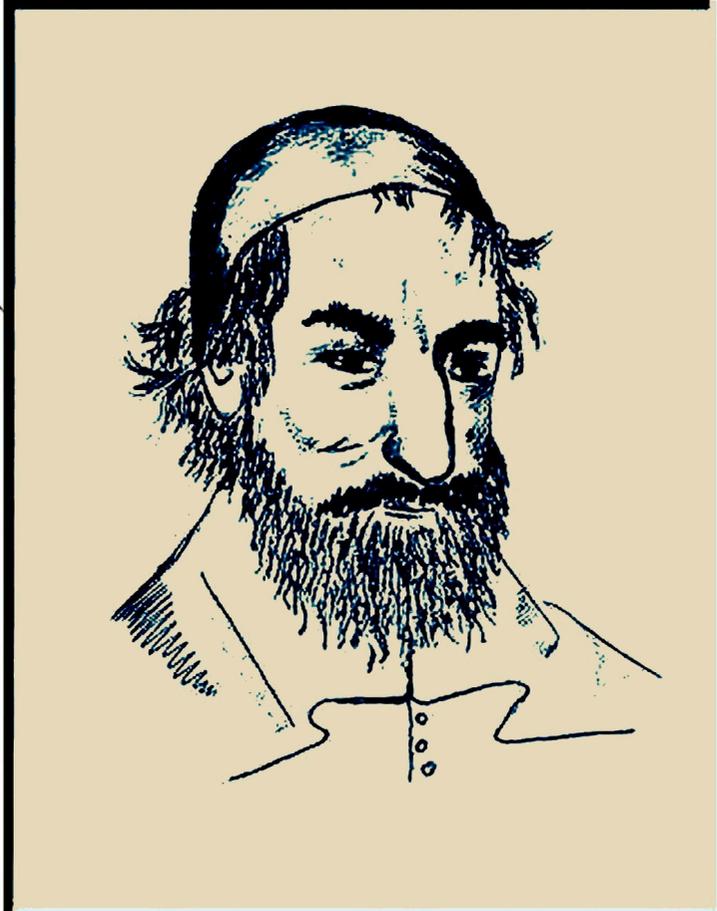
Janvier 2014



numéro 18

Peiresc

Les Cahiers



ISSN 1775-0458

**CYCLE DE CONFÉRENCES PEIRESC**

**1<sup>er</sup> semestre 2014**

**Centre d'Astronomie Clair-Matin**

**166, av. Jean Monnet 13090 Aix**

*Le deuxième jeudi de chaque mois à 19h - Entrée libre*

■ Jeudi 9 janvier 2014

Michel DECONINCK

Ingénieur en sciences nucléaires, ancien président du Cercle  
Astronomique de Bruxelles

**« Les reliefs de notre système solaire »**

■ Jeudi 13 février 2014

Philippe ROESCH

Ancien directeur de l'Innovation d'Eurocopter

**« Hélicoptères à grande vitesse : l'aventure du X3 »**

■ Jeudi 13 mars 2014

Jean-Pierre SIVAN

Astrophysicien, ancien directeur de l'OAMP

**« Une galaxie nommée Voie Lactée »**

■ Jeudi 10 avril 2014

Jacques GISPERT

Universitaire à Marseille

**« Tycho-Brahé, Kepler, Newton :  
naissance de la gravitation universelle »**

■ Jeudi 15 mai 2014

Marie-Jeanne COUTAGNE

Professeuse agrégée de philosophie

**« Quand la peinture fait de l'astronomie »**

■ Jeudi 12 juin 2014

Sébastien VIVES

Ingénieur opticien au LAM

**« Observer le ciel depuis l'espace »**

On comprend pourquoi *Albert  
Einstein* est l'anagramme de *rien  
n'est établi*.

Étienne Klein  
« Discours sur  
l'origine de l'univers »

## **BESOIN DE CULTURE SCIENTIFIQUE**

**A**vec ce numéro 18 des Cahiers Peiresc, c'est l'année 2013 qui s'achève. Année qui s'était voulue prometteuse : nous pensions très sérieusement que les dossiers des équipements du nouveau planétarium (rassemblés dès octobre 2011) seraient suffisamment mûrs pour que la coupole, les fauteuils et le système de projection du ciel viennent prendre leur place dans le beau bâtiment construit par la Ville d'Aix-en-Provence.

Hélas, il n'en est rien !

À la toute fin de l'année, les appels d'offre lancés par la Ville viennent d'être publiés (mais toujours pas celui concernant le simulateur de ciel qui devra encore attendre).

Le chemin parvenant au terme du projet est décidément bien sinueux et complexe ; c'est ce que l'on nous répète à l'envi sans pour autant nous convaincre.

Tentons un vœu, puisque dans quelques jours ce sera d'actualité : que 2014 voie le planétarium nouveau ouvrir ses portes au public aixois et régional.

De notre côté nous nous y sommes déjà préparés :

- Au mois de novembre, nous avons recruté un nouvel animateur (bienvenue à Thomas !) dans la perspective d'un développement de nos activités.
- De plus en plus les locaux de Clair Matin sont opérationnels (merci aux Services Techniques de la Ville pour leur efficacité et leur diligence !) ; ainsi en est-il de la nouvelle salle de conférence.
- Pour mieux répondre aux demandes de la CPA (notamment), un second planétarium mobile, plus grand et plus confortable que le petit, va incessamment accroître nos possibilités d'intervention.

\*\*\*

Dans ce numéro on trouvera des articles faisant écho à la conférence organisée par le planétarium dans le cadre de la Fête de la Science (quatre jours après que le Nobel ait été décerné à deux des inventeurs du boson de Higgs), ainsi qu'à la première conférence faite dans la nouvelle salle ; on constatera que les idées nouvelles ont parfois beaucoup de mal à s'imposer (même si l'on ne brûle plus les hérétiques). Les suites de ces deux articles paraîtront dans le prochain bulletin (nous nous proposons de reprendre le rythme de quatre publications par an). En dernière partie, on continuera le voyage avec Stéphane, notre collectionneur d'éclipses, qui sillonne le monde et en profite pour visiter les observatoires qu'il croise.

\*\*\*

Au nom de tous les « activistes » du planétarium, je tiens à remercier chaleureusement tous ceux qui ont continué à croire que, depuis novembre 1989, ce projet de grand planétarium aixois avait du sens et qu'il apporterait la pierre qui manque à l'équilibre aixois : le besoin de culture scientifique.

**Philippe MALBURET**  
16 décembre 2013

# SOMMAIRE

CYCLE DE CONFÉRENCES PEIRESC	2
ÉDITO	4
LE GRAND COLLISIONNEUR DE HADRONS DU CERN	6
ALFRED WEGENER DE LA DÉRIVE DES CONTINENTS À LA TECTONIQUE DES PLAQUES (1 <sup>re</sup> partie)	16
CARNET DE VOYAGE OBSERVATOIRES D'ARGENTINE (2 <sup>e</sup> partie)	24
4 DÉCEMBRE 2002 - AFRIQUE DU SUD ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL	30

# LE GRAND COLLISIONNEUR DE HADRONS DU CERN : LA MACHINE QUI A DÉCOUVERT LE BOSON DE HIGGS

**Elias METRAL<sup>1</sup>**  
Physicien au CERN

*Une nouvelle particule élémentaire, similaire au boson de Higgs [1,2], a été identifiée dans le grand collisionneur de hadrons du CERN [3], appelé le LHC (Large Hadron Collider en anglais). Cette découverte a été annoncée le 4 juillet 2012 et elle a valu le prix Nobel de physique 2013 (décerné le 08/10/2013) aux deux physiciens F. Englert and P. Higgs pour leurs travaux théoriques sur le boson de Higgs en 1964.*

## BREF HISTORIQUE DU CERN

Le CERN, qui a été créé en 1954, a changé plusieurs fois de nom au cours de son histoire mais a toujours gardé le même acronyme, qui lui vient de son premier nom : *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*. Il se nomme désormais *laboratoire européen pour la physique des particules* et se situe sur la frontière franco-suisse proche de Genève (voir Fig. 1). Le CERN est composé de 20 états membres, environ 2500 personnes et son budget annuel est d'environ un milliard de francs suisses. Les dates clefs du CERN sont les suivantes :

- 1957** : premier accélérateur appelé Synchrocyclotron ;
- 1965** : premières observations d'anti-noyaux (anti-deuteron) ;
- 1968** : G. Charpak développe la « chambre proportionnelle multi-fils » qui lui vaudra le prix Nobel de physique 1992 ;
- 1971** : premières collisions de protons dans les ISR (un des accélérateurs du CERN) ;
- 1981** : premières collisions proton anti-proton dans les ISR ;
- 1983** : découverte des particules W et Z dans le SPS (un autre accélérateur du CERN), qui a valu le prix Nobel de physique 1984 à C. Rubbia et S. Van der Meer ;
- 1990** : T. Berners-Lee définit les concepts de base du « World Wide Web » (adresse URL, protocole http et langage html) ;
- 1995** : premiers anti-atomes produits (anti-hydrogène) dans le LEAR (un autre accélérateur du CERN) ;
- 04/07/2012** : découverte d'une particule similaire au boson de Higgs dans le LHC.

---

<sup>1</sup> Le 12 octobre 2013, Elias Metral, Richard Jacobsson et Stéphane Basa ont donné au planétarium une conférence sur la découverte du boson de Higgs. Nous remercions Elias Matral de nous avoir autorisés à publier le texte de sa présentation. Le lecteur intéressé pourra également consulter les transparents de cette conférence à trois sur [http://www.aix-planetarium.fr/francais/boson\\_Higgs.html](http://www.aix-planetarium.fr/francais/boson_Higgs.html).



*Figure 1 : Grand collisionneur de hadrons du CERN (appelé LHC), proche de Genève. On peut voir aussi le lac Léman ainsi que les Alpes et le Mont-Blanc.*

## LES RECHERCHES DU CERN

Au CERN, nous faisons de la recherche fondamentale et étudions les composants de la matière et les forces qui interagissent entre eux. Après un siècle de découvertes et de mesures, les physiciens des particules ont développé le « modèle standard » pour décrire cela et nos connaissances actuelles nous disent que la matière est composée de 12 quarks (6 quarks et 6 anti-quarks) et 12 leptons (6 leptons et 6 anti-leptons). Les 6 quarks se nomment Haut, Bas, Charme, Étrange, Beauté et Top alors que les 6 leptons se nomment Électron, Muon, Tau, Neutrino Électron, Neutrino Muon et Neutrino Tau. Par définition, une anti-particule a une charge électrique opposée à sa particule correspondante et s'annihile avec cette dernière en produisant de l'énergie pure. Il est important de noter que la matière ordinaire n'est composée que de 2 quarks (Haut et Bas) qui composent le noyau de chaque atome (dans le noyau il y a des protons et des neutrons, composés de 3 quarks) et d'un type de leptons (électrons) qui gravitent autour du noyau. Et il y a 4 forces fondamentales dans l'univers :

- la gravitation,
- la force électromagnétique,
- la force d'interaction forte et
- la force d'interaction faible,

dont les particules messagères sont respectivement le graviton, le photon, le gluon et les particules  $Z^0$ - $W^\pm$ . Enfin, une dernière particule, appelée boson de Higgs, est censée donner la masse à toutes les particules. En assemblant des quarks on crée des hadrons, et les protons (composés de 3 quarks) sont donc des hadrons. Il reste cependant plusieurs mystères non encore élucidés : pourquoi est-ce que l'expansion de l'univers semble s'accélérer ? Où est l'antimatière qui a été créée avec la matière lors du Big-Bang ? (ou pourquoi y a-t-il quelque chose plutôt que rien ?) Qu'est-ce que et où se trouve la matière noire (pour expliquer la rotation des galaxies) et l'énergie noire ? Etc. C'est ce que le CERN essaie de comprendre.



## ACCÉLÉRATEURS OU COLLISIONNEURS

Pour faire toutes ces études, nous créons des particules que nous accélérons et que nous envoyons soit sur des cibles fixes (comme pour l'expérience CNGS ou *CERN Neutrino to Gran Sasso* qui étudie l'oscillation des neutrinos entre le CERN et Gran Sasso situé à environ 730 km, proche de Rome, en envoyant des protons sur une cible fixe et générant des neutrinos) soit sur d'autres particules venant en sens inverse. Ce dernier mode, appelé mode collisionneur, est celui utilisé dans le LHC où des protons (d'où le nom de hadrons) sont mis en collision.

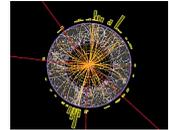
Le LHC est le plus grand accélérateur de particules du CERN, et le plus grand jamais construit au monde, avec une circonférence d'environ 27 km. Cependant, bien que le LHC soit le projet phare du programme expérimental du CERN, il n'en est pas moins qu'un parmi d'autres et seulement 0,018 % des protons produits en 2012 ont été utilisés par le LHC.

Les accélérateurs de particules sont des machines qui manipulent des particules à l'aide de champs électromagnétiques, ce qui s'accompagne de 3 conditions :

- (i) les particules doivent être chargées électriquement ;
- (ii) les particules doivent être stables pendant tout le processus (c'est-à-dire que les particules ne doivent pas se désintégrer) – ces deux conditions limitent les particules qui peuvent être accélérées en pratique aux électrons ( $e^-$ ), protons ( $p^+$ ) et ions ainsi que toutes leurs anti-particules ;
- (iii) enfin, un « vide » suffisant (où les particules circulent) doit être créé pour que les particules ne soient pas perturbées par les molécules de l'air. Le moteur des recherches sur la physique des particules a toujours été la physique des hautes énergies mais celle-ci ne représente en fait de nos jours qu'un très faible pourcentage de cette activité car des milliers d'accélérateurs de particules sont utilisés dans de nombreux pays pour de multiples applications (physique appliquée, médecine, etc.).

Avec un collisionneur de particules, on fait l'opposé de ce qui est fait dans une centrale nucléaire : on crée de la matière (nouvelles particules) à partir de

l'énergie alors que dans des centrales nucléaires on crée de l'énergie à partir de la matière (uranium). Le paramètre clef d'un collisionneur de particules est la luminosité qui est le nombre d'évènements par seconde générés dans les collisions, divisé par la section efficace (liée à la probabilité) de la réaction étudiée. Cette dernière est d'autant plus grande que le nombre de paquets de particules est grand, que le nombre de particules par paquet est grand et que les dimensions transversales des paquets aux points de collision (appelés points d'interaction) sont petites. Le défi expérimental du LHC est de trouver des évènements extrêmement rares, ce qui nécessite une grande statistique et donc une grande luminosité. La luminosité requise par les physiciens des particules (au début des collisions) est de  $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , ce qui a engendré les paramètres suivants : 2 808 paquets de protons ( $p^+$ ) d'une longueur d'environ 30 cm, séparés par environ 7,5 m, comprenant chacun  $1,15 \cdot 10^{11} p^+$  / paquet avec des dimensions de paquets horizontales et verticales d'environ  $17 \mu\text{m}$  (au point d'interaction), c'est-à-dire bien plus petites qu'un cheveu humain, dont la taille est d'environ 50-100  $\mu\text{m}$ . Pour pouvoir valider la découverte d'une nouvelle particule il faut pouvoir atteindre la limite de « 5 sigmas » (dans le jargon des physiciens), qui correspond à un degré de confiance de 99,99994 %.



En physique des particules, l'unité d'énergie couramment utilisée est l'électron-Volt (eV), c'est-à-dire l'énergie acquise par un  $e^-$  accéléré par une différence de potentiel de 1 Volt et qui correspond donc à  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$  (le Joule étant l'unité du système international). Dans le LHC, l'énergie de chaque  $p^+$  est de 7 TeV (c'est-à-dire  $7 \cdot 10^{12} \text{ eV}$ ) et l'énergie disponible dans le centre de masse des deux  $p^+$  qui collisionnent (et qui est donc disponible pour créer de nouvelles particules) est de 14 TeV. Cette énergie est infiniment plus faible que les énergies dont on discute dans la vie de tous les jours. En effet, 1 TeV est environ l'énergie d'un moustique en plein vol, mais ce qui rend le LHC si extraordinaire est qu'il confine cette énergie dans un espace environ un million de fois plus petit que celui d'un moustique. Le second rôle de l'énergie (le premier étant de produire de nouvelles particules) est d'explorer la structure interne de la matière, et plus l'énergie est élevée plus on peut étudier des éléments de petites tailles. Avec son énergie de 14 TeV, le LHC est un super-microscope qui permet d'analyser la structure de la matière à environ  $10^{-19} \text{ m}$ .

Le LHC est le collisionneur à plus haute énergie jamais atteinte mais il y a eu aussi d'autres collisionneurs dans le passé et d'autres collisionneurs sont encore en fonctionnement. Pour ne donner que quelques exemples, le précédent collisionneur du CERN (le LEP) dont le tunnel est actuellement utilisé pour le LHC, faisait des collisions d'électrons ( $e^-$ ) et antiélectrons ( $e^+$ ) à une énergie par particule de 104,5 GeV, qui est la plus haute énergie jamais atteinte pour une machine à leptons (il a fermé en 2000). Le Tevatron aux USA (Fermilab), qui s'est arrêté en 2011, a permis la découverte du quark Top. KEKB au Japon (KEK), qui s'est arrêté en 2010, détient le record de luminosité la plus haute jamais atteinte dans un collisionneur avec  $\sim 2,1 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . PEP-II aux USA (SLAC), qui s'est ar-

rété en 2008, détient le record de courant stocké dans l'accélérateur (c'est-à-dire le nombre de charges / seconde) avec  $\sim 3,2$  A. Enfin, le SLC aux USA (SLAC), qui s'est arrêté en 1998, a été le premier et unique collisionneur linéaire d' $e^- - e^+$ . Les collisionneurs actuellement en fonctionnement sont RHIC (proche de New-York), DAFNE (proche de Rome), BEPC-II (en Chine), VEPP-200 et VEPP-4M (en Russie).

## LES GRANDES DATES DU LHC

À ce jour, les dates clefs du LHC sont les suivantes :

1983 (c'est-à-dire quelques années avant le démarrage du LEP) : premières idées et estimations ;

1994 (déc) : le projet LHC est approuvé par le conseil du CERN ;

1995 (oct) : le rapport de conception du LHC est publié ;

1996 (déc) : le conseil du CERN passe une résolution qui approuve la construction du LHC à 14 TeV en une seule étape (initialement, des contraintes budgétaires imposaient de construire le LHC en deux étapes). Le LHC est la première machine construite au CERN avec une contribution en matériel substantielle d'états non-membres, comme le Canada, l'Inde, le Japon, la Russie et les USA.

2007 : le LHC est terminé en 2007,

2008 : le démarrage avec une inauguration le 10/09/2008.

Le 30/03/2010, le LHC faisait ses premières collisions à 7 TeV dans le centre de masse (c'est-à-dire  $3.5 + 3.5$  TeV).

Enfin, le 04/07/2012, la découverte d'une nouvelle particule élémentaire, similaire au boson de Higgs, est annoncée officiellement. Cela aura été le travail de nombreuses personnes pendant de nombreuses années. Pour ne citer que quelques personnes, Lyn Evans a été le chef du projet LHC, Rolf Heuer est l'actuel directeur général du CERN et Steve Myers est l'actuel directeur des accélérateurs. Le coût du LHC pour la machine seule est d'environ 5 milliards de francs suisses (40 millions d'euros).

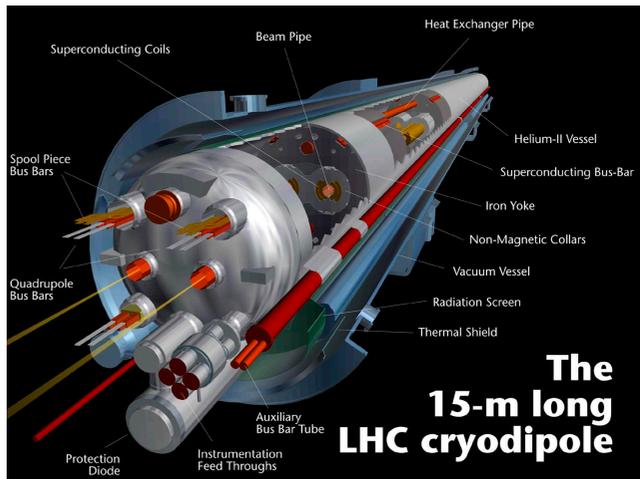


## LE FONCTIONNEMENT DU LHC

Si l'on regarde maintenant plus en détail comment fonctionne le LHC, tout commence avec une bouteille à hydrogène d'où des atomes d'hydrogène gazeux (l'atome d'hydrogène est le plus simple avec un noyau composé d'un seul  $p^+$ ) sont pompés puis ionisés à l'aide d'un champ électrique (en attirant les  $e^-$  d'un côté et les  $p^+$  de l'autre). Ensuite, les  $p^+$  sont guidés et focalisés dans un tuyau autour d'une trajectoire idéale à l'aide de champs magnétiques et ils sont regroupés en paquets et accélérés à l'aide de champs électriques jusqu'à ce qu'ils entrent en collision aux points d'interaction (il y en a 4 dans le LHC). Le LHC est à la fois un accélérateur de particules et un collisionneur et il est appelé un synchrotron

car durant l'accélération des particules la trajectoire reste la même (ce qui est différent par exemple d'un cyclotron, où pendant l'accélération la trajectoire des particules change en décrivant une spirale). Pour pouvoir manipuler les particules, comme mentionné plus haut, il faut dans un premier temps créer un « vide suffisant » dans le tuyau où les particules sont censées se déplacer. La pression atmosphérique ( $\sim 1000$  hPa  $\sim 1$  bar  $\sim 760$  Torr) correspond à  $\sim 3 \cdot 10^{19}$  molécules par  $\text{cm}^3$  et la pression désirée dans le LHC est  $10^{-13}$  fois plus petite, ce qui correspond à un ultravide (avec néanmoins toujours environ 3 millions de molécules par  $\text{cm}^3$ ...). En fait le LHC dispose de 3 systèmes de vide (le premier pour le vide du faisceau, comme vu précédemment, et deux autres vides d'isolation pour les aimants et la ligne de distribution d'hélium dont nous parlerons plus loin). Le plus grand volume à pomper dans le LHC est pour le vide d'isolation des aimants qui correspond à  $\sim 9\,000$  m<sup>3</sup>, ce qui revient à pomper la nef centrale d'une cathédrale. Il faut noter que la forme et le matériau utilisé pour le tuyau de la chambre à vide sont tous les deux importants pour la performance ultime de la machine.

L'astuce des accélérateurs pour manipuler des particules chargées repose sur le fait que la meilleure façon de garder quelque chose sous contrôle (c'est-à-dire stable) est de le faire osciller (comme par exemple les planètes autour du soleil). Et c'est bien ce que l'on fait dans les trois plans (horizontal, vertical et longitudinal) d'un accélérateur de particules où les mouvements des particules sont proches de ceux d'oscillateurs harmoniques dont le meilleur exemple est celui du pendule (à petites oscillations). Des dipôles magnétiques (créant un champ magnétique vertical) sont disposés le long de la trajectoire (circulaire) pour guider les particules et ces dipôles (voir Fig. 2 et 3) ont représenté le défi technologique le plus important pour la construction du LHC car le nombre très élevé des particules requis pour obtenir une haute luminosité a exclu la possibilité d'utiliser des anti-protons ( $\bar{p}$ ) comme cela a été fait par exemple au Tevatron de Fermilab (où des collisions  $p^+ - p^-$  ont été réalisées), ce qui a exclu la possibilité d'utiliser une seule chambre à vide et un seul système d'aimants pour les deux faisceaux circulant en sens contraire.



*Figure 2 : Un dipôle du LHC qui a représenté le défi technologique le plus important pour la construction du LHC.*

Il fallait donc utiliser deux faisceaux de  $p^+$  et comme il n'y avait pas assez de place dans le tunnel (qui a été construit pour le collisionneur précédent, le LEP) pour deux anneaux séparés, ceci a conduit à utiliser pour la première fois la technologie supraconductrice pour des aimants « deux en un » (c'est-à-dire avec les deux tuyaux dans le même aimant). En effet, en plus du concept « deux en un », la technologie supraconductrice a été rendue nécessaire par la haute énergie requise pour les faisceaux, nécessitant un champ magnétique de 8,33 T (c'est-à-dire  $\sim 200\,000$  fois le champ magnétique terrestre), et au-delà d'environ 1,5 – 2 T, des bobines supraconductrices sont nécessaires pour pouvoir générer de tels champs. En tout, 1 232 dipôles sont installés dans le LHC, occupant  $\sim 70\%$  de la circonférence. Chaque dipôle coûte  $\sim 0,5$  million de francs suisses (400 000 €), pèse  $\sim 37$  tonnes et mesure  $\sim 15$  m pour un courant circulant d'environ 12 000 A.



*Figure 3 : Une interconnexion entre deux dipôles*

## LA SUPRACONDUCTIVITÉ

La supraconductivité est un état que la majorité des éléments chimiques atteint au-dessous d'une température critique et qui se caractérise en particulier par l'absence de résistance au passage d'un courant électrique et donc l'absence de dissipation d'énergie par effet Joule. Les dipôles du LHC utilisent des câbles en Niobium-Titane (Nb-Ti) qui devient supraconducteur en dessous de  $10^\circ\text{K}$  (c'est-à-dire  $-263^\circ\text{C}$ ) sachant que le zéro absolu est  $0^\circ\text{K}$  et que  $0^\circ\text{Celsius}$  correspond à  $273^\circ\text{Kelvin}$ . Les câbles sont fabriqués à partir de filaments en Nb-Ti d'une épaisseur de  $6\ \mu\text{m}$  (c'est-à-dire environ dix fois plus petite qu'un cheveu humain). Environ 7600 km de câbles ont été nécessaires, soit 1200 tonnes, et la longueur totale des filaments est astronomique car elle représente environ 5 allers-retours entre la terre et le soleil.

Qui dit supraconductivité dit système cryogénique car il faut maintenir une température très basse dans les aimants du LHC. En fait, il a été décidé de descendre jusqu'à  $1,9^{\circ}\text{K}$  (qui, soit dit en passant, est plus froid que l'espace intergalactique dont la température est d'environ  $2,7^{\circ}\text{K}$ ) en raison des « super propriétés » de l'hélium. En effet, à pression atmosphérique, l'hélium gazeux se liquéfie à  $\sim 4,2^{\circ}\text{K}$  et s'il est refroidi encore plus il subit un deuxième changement de phase à  $\sim 2,17^{\circ}\text{K}$  où il devient superfluide, c'est-à-dire qu'il se comporte comme un fluide sans viscosité (une grande viscosité correspond par exemple au miel). L'hélium superfluide a, entre autre, une très grande conductivité thermique, ce qui en fait un refroidissant de choix pour les grands systèmes supraconducteurs. Il est intéressant de noter que le LHC est le plus grand système cryogénique au monde et un des endroits les plus froids. Au total,  $\sim 120$  tonnes d'hélium sont nécessaires, et le processus de refroidissement complet prend plusieurs semaines et comporte trois phases : la première se déroule en deux temps, un premier refroidissement étant réalisé jusqu'à  $80^{\circ}\text{K}$  grâce à  $\sim 10\,000$  tonnes d'azote liquide, et un second jusqu'à  $4,5^{\circ}\text{K}$  grâce à des turbines de refroidissement ; la deuxième phase consiste à remplir la masse froide des aimants avec de l'hélium liquide ; et la troisième et dernière phase est le refroidissement final jusqu'à  $1,9^{\circ}\text{K}$ . Il est aussi intéressant de noter que les lois de la thermodynamique nous disent que la chaleur dilate et le froid contracte, ce qui appliqué au 27 km du LHC correspond à une dilatation / contraction d'environ 80 m... Heureusement, des soufflets ont été installés pour absorber ces variations.



## L'INSTRUMENTATION DU LHC

Comme nous l'avons vu précédemment, les dipôles guident les particules le long de la trajectoire circulaire. Pour les focaliser autour de cette orbite, d'autres éléments magnétiques, des quadripôles (c'est-à-dire avec quatre pôles magnétiques), sont utilisés. Enfin pour confiner les particules en paquets et les accélérer, 8 cavités accélératrices Radio-Fréquences (RF signifie que la fréquence d'oscillation est comprise entre 9 kHz et 3000 GHz) sont utilisées (par faisceau), chacune délivrant 2 MV (avec un champ accélérateur de 5 MV/m) à une fréquence de 400 MHz. Il est intéressant de noter que seulement environ 2 nanogrammes d'hydrogène sont accélérés chaque jour de fonctionnement et que par conséquent il faudrait environ un million d'années pour accélérer un gramme d'hydrogène. De plus, aucune particule ne peut aller plus vite que la vitesse de la lumière dans le vide (d'environ 300 000 km/s) mais il n'y a pas de limite sur l'énergie qu'une particule peut atteindre et en fait le LHC ne devrait pas être appelé un accélérateur de particules mais un massificateur de particules car la vitesse des particules y est quasiment constante, seule la masse des particules est multipliée par  $\sim 16$  entre l'injection et l'énergie de collision.

L'instrumentation constitue les yeux de l'accélérateur et une bonne instrumentation est nécessaire pour mesurer le nombre de particules par paquet (ainsi

que son évolution dans le temps), la longueur et le profil des paquets de particules, les tailles et profils transversaux, les endroits de perte de particules (ce qui est important aussi pour la protection de la machine), etc.

Un autre système important est le système de collimation, chargé de protéger la machine avec une énergie stockée dans les faisceaux d'environ 360 MJ, ce qui est environ aussi énergétique qu'un train de 400 tonnes comme le TGV lancé à 150 km/h. Une infime partie de l'énergie stockée suffit à faire perdre son état supraconducteur à un aimant ou même à détruire des parties de l'accélérateur :



l'énergie dans les deux faisceaux est suffisante pour faire fondre environ une tonne de cuivre. Pour cette raison, de nombreux collimateurs composés de deux mâchoires en carbone sont positionnés très proches du faisceau, à une distance d'environ 2 mm pour les plus proches.

## POURQUOI LE LHC EST-IL SOUS TERRE ?

Le LHC se situe sous terre car il réutilise le tunnel construit pour le LEP et un tunnel souterrain était la meilleure solution pour deux raisons : c'est plus économique d'excaver un tunnel plutôt que d'acquérir le terrain en surface et cela réduit l'impact sur le paysage ; la croûte terrestre fournit un bon blindage contre les radiations. La profondeur moyenne est d'environ 100 m, avec une légère pente d'environ 1.4 % : la profondeur varie entre 175 m (sous le Jura) et 50 m (en direction du lac Léman). Des considérations géologiques imposaient d'avoir une profondeur d'au moins 5 m sous la couche de molasse. Il est intéressant de noter que lorsque le tunnel a été excavé, les deux bouts étaient alignés à 1 cm près.

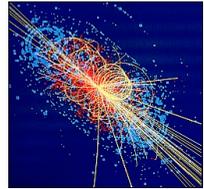
En passant des  $e^-$  aux  $p^+$ , la radioactivité a évolué au CERN. Les pertes de particules dans les accélérateurs de particules induisent des transmutations nucléaires et les différents éléments de la machine (chambre à vide, aimants, etc.) deviennent radioactifs, ce qui engendre des rayonnements électromagnétiques même lorsque l'accélérateur est arrêté.

La consommation électrique du LHC est de l'ordre de 120 MW (celle du CERN en entier est d'environ 230 MW) et elle correspond à la consommation électrique des ménages dans le canton de Genève. Le CERN est fourni en électricité par le réseau français EDF (400 kV) et uniquement en cas de problème des compagnies suisses prennent le relais. Une large fraction de la consommation électrique du LHC est utilisée pour maintenir les basses températures nécessaires au bon fonctionnement des aimants supraconducteurs.

Enfin, la performance du LHC est limitée par plusieurs effets : le champ magnétique dipolaire maximum, l'énergie stockée dans les faisceaux circulants, l'ouverture mécanique, etc., ainsi que par les effets collectifs, c'est-à-dire l'interaction entre : les  $p^+$  eux-mêmes, les  $p^+$  et leur environnement (la chambre à vide, etc.), les deux faisceaux de  $p^+$  en sens inverse se croisant aux points d'interaction et les  $p^+$  et un nuage d' $e^-$  qui peut être créé dans la chambre à vide sous certaines conditions.

## L'AVENIR

En conclusion, le LHC a déjà permis la découverte d'une nouvelle particule (qui ressemble au boson de Higgs), ce qui est un magnifique départ. Mais ce n'est que le début et la luminosité nominale n'a pas encore été atteinte, uniquement  $\sim 77\%$  ont été atteints en 2012. De plus, exactement neuf jours après le démarrage du LHC, lors de tests de puissance le 19/09/2008, une faute électrique dans une interconnexion supraconductrice entre un dipôle et un quadripôle a libéré accidentellement 600 MJ stockés dans un secteur du LHC, ce qui a engendré des dommages mécaniques. Cet incident a retardé le LHC d'environ un an, et c'est aussi la raison pour laquelle les premières collisions ont eu lieu à 7 TeV dans le centre de masse (3.5 + 3.5) et qu'en 2012 l'énergie n'a été augmentée que jusqu'à 8 TeV (4 + 4). Le LHC est maintenant en arrêt (pendant 2013-2014) pour, en particulier, implémenter des mesures de sécurité pour pouvoir augmenter l'énergie jusqu'à 13-14 TeV, en plus des autres tâches de maintenance. Il y a environ 10 000 connexions supraconductrices entre les aimants du LHC. Le but est d'ajouter une pièce – un « shunt » – aux connexions supraconductrices. Ce « shunt » est une connexion à basse résistance qui forme un chemin alternatif pour une portion du courant dans le cas où la connexion supraconductrice perdrait son état supraconducteur. Un total de 27 000 « shunts » doit être installé. En ce qui concerne le futur, le but est de redémarrer en 2015 pour 3 ans à 13-14 TeV avec une luminosité supérieure à la luminosité nominale ( $\sim 1\text{-}2 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).



Pour le moyen terme, un programme a été mis en place pour les 20 prochaines années. Enfin, pour le long terme, depuis la découverte d'un boson à une énergie relativement faible ( $\sim 125 \text{ GeV} / c^2$ ), il y a beaucoup de discussions sur un nouveau tunnel de 80 ou 100 km qui pourrait servir de collisionneur de leptons avec une énergie de collision jusqu'à 350 GeV, puis de collisionneur de  $p^+$  avec une énergie de collision d'environ 100 TeV ! Les idées ne manquent pas...

**Elias METRAL**

### Références

[1] P.W. Higgs, Broken symmetries and the masses of gauge bosons, Physical Review Letters, Vol. 13, n. 16, 19 October 1964.

[2] F. Englert and R. Brout, Broken symmetry and the mass of gauge vector mesons, Physical Review Letters, Vol. 13, n. 9, 31 August 1964.

[3] CERN : <http://home.web.cern.ch/about>.

Crédit photos : CERN/LHC

# ALFRED WEGENER

## DE LA DÉRIVE DES CONTINENTS À LA TECTONIQUE DES PLAQUES

par **Daniel BRACHET**  
Professeur honoraire de SVT

### PREMIÈRE PARTIE

*On trouvera ci-dessous la première partie d'une conférence faite par Daniel Brachet le 21 septembre dernier, à la suite de l'inauguration de la nouvelle salle de conférence de la villa Clair Matin.*

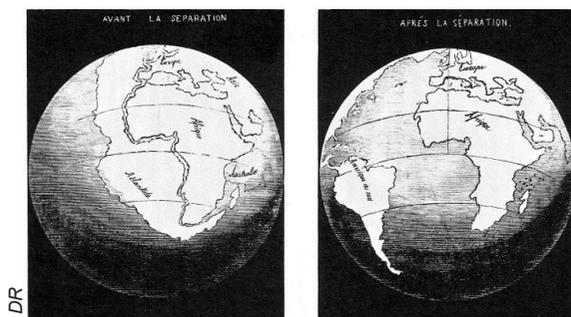
*La seconde partie sera publiée dans notre prochain bulletin (en principe en mars 2014).*

C'est en 1915 qu'Alfred WEGENER a publié dans « *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane* » sa théorie de la dérive des continents.

Appréciée par certains, vertement critiquée (voire combattue) par d'autres, cette conception mobiliste du monde n'a été comprise et expliquée que dans les années 1960, grâce aux connaissances acquises en sismologie et en océanographie.

Tout part d'un constat devenu classique : les côtes atlantiques de l'Amérique du Sud et de l'Afrique s'emboîtent comme le feraient les pièces d'un gigantesque puzzle.

Cette observation avait d'ailleurs déjà été faite par différents auteurs et notamment au XVII<sup>e</sup> siècle par Francis BACON, le père de l'empirisme. Plus tard, en 1858, le géographe Antonio SNIDER-PELLEGRINI, dans son ouvrage « *Le Monde et ses mythes dévoilés* », avait même suggéré une première esquisse d'un déplacement continental, attribuant au Déluge la cause de la séparation des deux continents.



**Fig. 1** – Illustrations proposées par Snider-Pelligrini.  
À gauche : le monde au Carbonifère ; à droite : le monde après la séparation.

## QUELQUES REPÈRES

- **1855** – Le géophysicien et astronome britannique AIRY assimile les continents à d'immenses radeaux flottant sur un magma plus ou moins visqueux.
- **1869** – PRATT formule l'hypothèse de l'isostasie (compensation en profondeur des inégalités superficielles de masse terrestre).
- **1910** – TAYLOR pense que les Rocheuses et les Andes, chaînes formant les marges continentales opposées aux rives de l'Atlantique, sont dues au fronnement des continents au cours de leur déplacement vers l'ouest.
- **1915** – WEGENER publie sa théorie sur la genèse des continents et des océans.
- **1927** – Premières mesures géodésiques établissant la dérive de l'Amérique du Nord.

## QUI ÉTAIT ALFRED WEGENER ?

Climatologue et astronome allemand né en 1880 à Berlin ; études secondaires au lycée de Berlin ; études universitaires à Heidelberg, Innsbruck, Berlin. Astronome à Urania (Berlin) et Tegel (Prusse).

- **1906** – Première expédition climatologique au Groenland.
- **1908** – Thèse d'astronomie sur les Tables Alphonsines.
- **1912** – Seconde expédition climatologique au Groenland.
- **1915** – Publication de sa théorie sur la dérive des continents.

Capitaine météorologiste durant la Première Guerre Mondiale.

- **1924** – Professeur de météorologie et de géophysique à Graz (Autriche).
- **1930** – Troisième expédition au Groenland. Il y décède en novembre de la même année.



*Fig. 2 - Alfred Wegener (1880-1930)*

## UNE REMARQUE D'ORDRE PALÉONTOLOGIQUE

Concernant la flore et la faune du Secondaire, des similitudes existent entre l'Amérique du Sud, l'Afrique, Madagascar et l'Inde. En 1915, la communauté scientifique les expliquait en imaginant l'existence d'anciennes liaisons terrestres intercontinentales (*passerelles*) par lesquelles les êtres vivants auraient pu coloniser de nouveaux territoires. C'est la théorie des *ponts continentaux*, structures dont on n'a d'ailleurs jamais retrouvé la moindre trace par la suite.

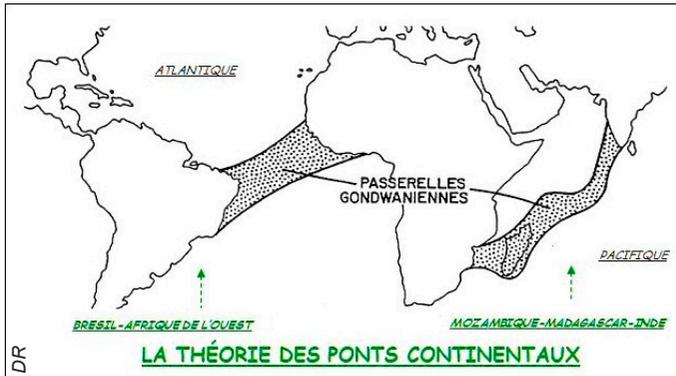


Fig. 3 – Positions hypothétiques des passerelles.

Ainsi, la séparation entre l'Amérique du Sud et l'Afrique aurait été la conséquence d'un effondrement de ces isthmes, suivi d'une invasion marine à l'origine de l'Atlantique actuel, sans qu'il y ait eu le moindre déplacement horizontal.

C'est la conception *fixiste* de la répartition des masses continentales.

## LA DÉMARCHE DE WEGENER

*« La première idée de translation continentale me vint à l'esprit dès 1910. En considérant la carte du globe, je fus subitement frappé de la concordance des côtes de l'Atlantique, mais je ne m'y arrêtai point tout d'abord, parce que j'estimai pareille translation invraisemblable. »*

*« En automne 1911, j'eus connaissance [...] de conclusions paléontologiques admettant l'existence d'une liaison entre le Brésil et l'Afrique. Cela m'engagea à faire un examen préalable et sommaire des résultats connexes au problème des translations, tant en géologie qu'en paléontologie.*

*J'obtins tout de suite des confirmations assez importantes pour commencer à être convaincu de l'exactitude systématique de la théorie. »*

L'analyse de ces deux citations montre que Wegener était un observateur sensé et réfléchi, très éloigné de l'image peu flatteuse qui lui a été attribuée lorsqu'il a énoncé sa théorie. Ses recherches en géologie et en paléontologie attestent d'autre part de son intérêt pour d'autres sources d'information, marquant du même coup son ouverture d'esprit remarquable. Voilà des qualités qui ont probablement fait défaut à bon nombre de ses détracteurs.

## LES ARGUMENTS DE WEGENER

### 1) ARGUMENTS GÉOMORPHOLOGIQUES

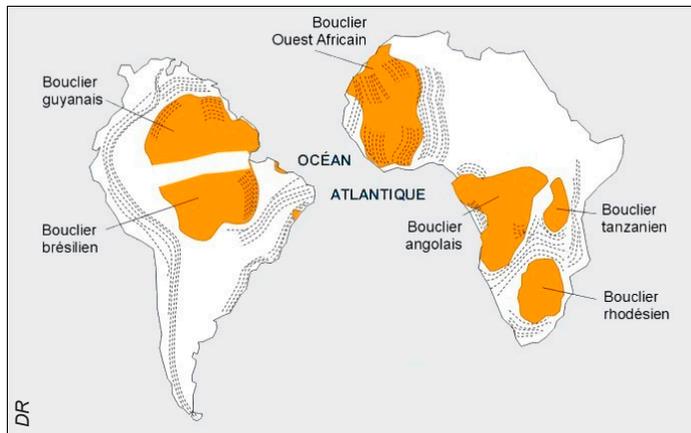


Fig. 4a

*Sur le plan cartographique*, les contours côtiers de l'océan Atlantique sont emboîtables comme le sont les deux lèvres opposées d'une déchirure.

*Sur le plan géologique*, les grandes unités structurales (boucliers et plissements) ont des dispositions symétriques intercontinentales suggérant une continuité originelle. Qui plus est, les lambeaux de Sao Luis et de Salvador apparaissent comme les prolongements en Amérique du Sud des boucliers ouest-africain et angolais.

*Sur le plan pétrographique*, les roches grenues ou métamorphiques constituant ces grandes unités sont de nature identique : granite et gneiss.

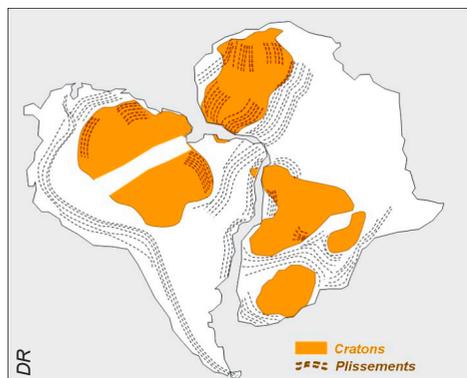


Fig. 4b

**Sur le plan chronologique**, les roches concernées sont de même âge :

- boucliers (ou cratons) : -1,6 Ga ;
- plissements : de -0,6 Ga à -0,4 Ga.

D'où ce premier constat : il y a correspondance des ensembles géologiques situés de part et d'autre de l'Atlantique dans trois domaines :

- disposition des déformations ;
- nature des roches concernées ;
- âge des structures.

## 2) ARGUMENTS PALÉONTOLOGIQUES

La faune et la flore mésozoïques d'Amérique du Sud et d'Afrique renferment des fossiles identiques. On y rencontre en particulier des grands reptiles (fig. 5, 6, 7) ainsi que des frondes d'une fougère arborescente (fig. 8) :



**Fig. 5 - CYNOGNATHUS**  
(Trias inférieur)



**Fig. 6 - MESOSAURUS**  
(Permien inférieur)

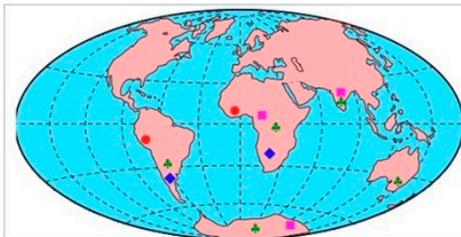


**Fig. 7 - LYSTROSAURUS**  
(Permo-Trias)

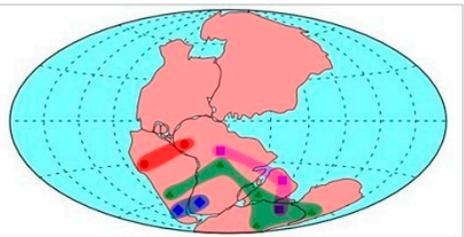


**Fig. 8 - GLOSSOPTERIS** (Trias)

Ces genres sont typiquement terrestres (voire lacustre pour ce qui concerne Mesosaurus). Ils ne peuvent pas avoir traversé sur plusieurs milliers de kilomètres l'océan Atlantique, pour s'implanter sur un autre continent que celui dont ils étaient originaires. Leurs aires de répartition devaient être continues. Ce qui conduit à admettre le rattachement de l'Amérique du Sud avec l'Afrique, l'Antarctique et l'Inde.



**Fig. 9 – Distribution actuelle des fossiles du Secondaire.**  
 ◆ **MESOSAURUS**. Reptile lacustre du Permien inférieur (-270 Ma),  
 ● **CYNOGNATHUS**. Reptile lacustre du Trias inférieur (-240 Ma),  
 ■ **LYSTROSAURUS**. Reptile terrestre du Trias (-240 Ma),  
 ✕ **GLOSSOPTERIS**. Fougère arborescente du Trias (-240 Ma).



**Fig. 10 – L'explication donnée par Wegener**

DR

### 3) ARGUMENTS PALÉOCLIMATIQUES

C'est un domaine dans lequel Wegener excellait.

On sait que les glaciers, lorsqu'ils se retirent, laissent sur place de nombreux indices marquant de façon caractéristique les emplacements sur lesquels ils ont progressé. Cela va des différents types de moraines (dont la conformation permet de retrouver le sens de déplacement des langues glaciaires) aux matériaux charriés puis abandonnés au moment de la fonte, tels que les blocs erratiques, les galets striés et les *tillites* (conglomérats glaciaires grossiers).



Fig. 11 – Tillite de Dwyka

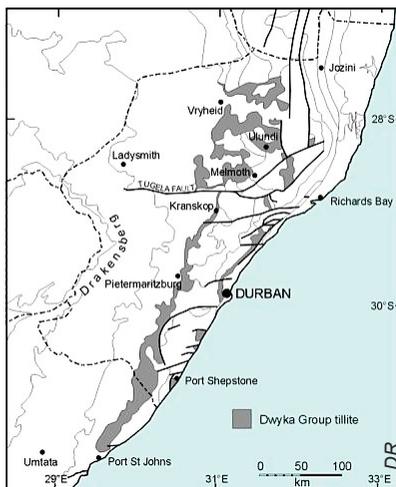


Fig. 12  
Affleurements de Tillite  
(côte Est de l'Afrique)

La répartition de ces empreintes au Carbonifère donne à penser qu'à cette époque, Amérique du Sud, Afrique, Australie et Inde, continents actuellement très éloignés, devaient être reliés les uns aux autres.

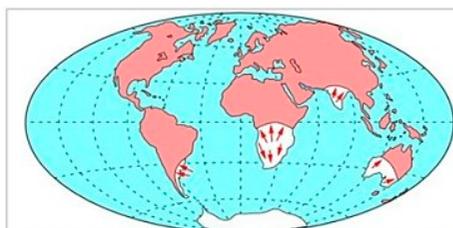


Fig. 13 – Les empreintes glaciaires sur les continents.  
→ Sens de progression de la glace au Carbonifère.

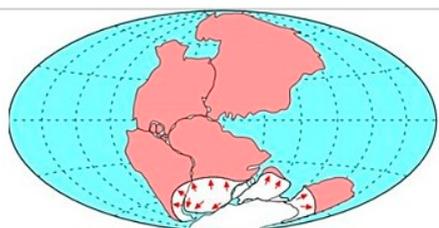


Fig. 14 – L'explication donnée par Wegener.

Au regard de tous ces indices concordants, Wegener émet l'hypothèse selon laquelle il y a 250 Ma, les continents aujourd'hui séparés ne formaient qu'un seul et même supercontinent (la *Pangée*) entouré d'un océan unique (la *Panthalassa*).

Pour comprendre cette conception dynamique de l'histoire de la Terre, il faut se référer à l'idée que l'on se faisait, à l'époque, de la structure du globe. Trois zones se succédaient de la surface vers le centre de la planète :

- le **Sial**, constitué essentiellement de silicium et d'aluminium (densité 2,7)

;

- le *Sima*, constitué de silicium et de magnésium (densité 3) ;
- le *Nife*, constitué de nickel et de fer (densité 10).

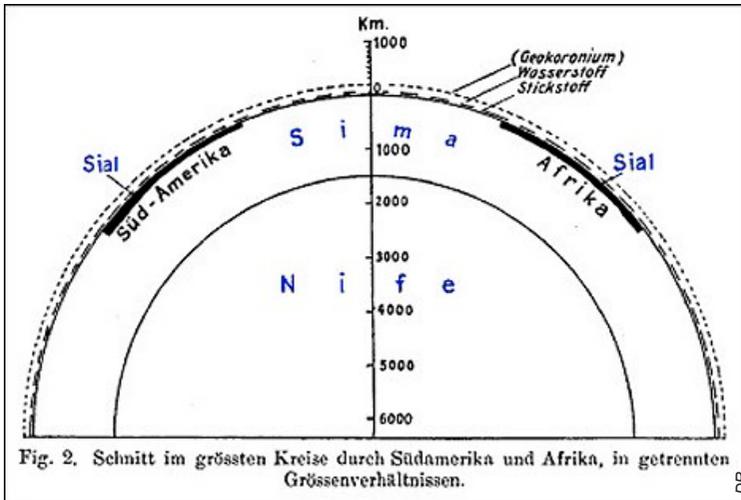


Fig. 15

Ainsi, les continents (Sial), plus légers, étaient censés flotter sur le Sima. Ils dérivèrent en s'écartant comme le feraient des icebergs sur l'océan (idée déjà émise par Airy en 1855).

S'il était relativement aisé d'imaginer les contours supposés de la Pangée, il était beaucoup plus difficile de concevoir la cause de la mobilité des continents.

Pour Wegener, le moteur principal de la dérive devait être recherché dans l'attraction exercée par la Lune sur la Terre. Il évoquait aussi, mais de façon plus nuancée, les forces liées aux mouvements de rotation de la planète (force d'Etvös, accélération de Coriolis).

## LA COMMUNAUTÉ SCIENTIFIQUE ET LA DÉRIVE

À la parution de la théorie de Wegener, le monde scientifique est globalement défavorable aux idées mobilistes, et ce pour plusieurs raisons :

- la théorie des ponts continentaux a la faveur de la majorité des spécialistes. La dérive continentale est qualifiée d'utopie, de délire (« C'est un beau rêve, le rêve d'un grand poète. » selon Pierre Termier) ;
- la complémentarité des contours des côtes opposées est parfois peu évidente, voire discutable (en Amérique du Nord notamment), mais surtout,
- le moteur de la dérive proposé par Wegener est peu crédible :

- Les calculs du physicien H. JEFFREY tendent à prouver que les forces évoquées pour entraîner les mouvements des continents sont très insuffisantes pour déplacer des masses aussi considérables.
- Comment expliquer le sens parfois contraire du déplacement de certains continents ?
- Enfin, Wegener est météorologiste et astronome de formation...

Quelques géologues de renom (ARGAND, HOLMES, DUTOIT,...) sont cependant favorables à la conception wegenerienne de la dynamique continentale.

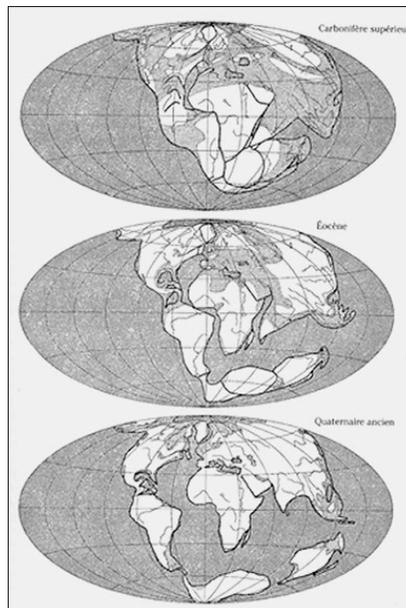
Enfin, notons que, d'une façon générale, les biologistes manifestent un intérêt certain pour cette nouvelle théorie mobiliste.

Sans entrer dans la polémique qui a divisé le monde scientifique à l'époque, il est bon de remarquer que cette hypothèse, qui concerne la planète entière, est élaborée à partir d'arguments exclusivement continentaux. Or, les deux tiers de la surface de la Terre sont recouverts par des océans et, comme le dira en 1930 Richard FIELH : « on ne comprendra rien à la Terre tant que l'on n'en étudiera que le tiers émergé ».

De fait en 1930, la théorie de Wegener n'intéresse plus grand monde et ce n'est que dans les années 1960 qu'un nouvel élan va lui être donné grâce aux progrès remarquables de la sismologie et de l'océanographie.

(À suivre)

**Daniel BRACHET**



*La dérive des continents selon Wegener*  
DR – © 1912 Alfred Wegener

## Carnet de Voyage

# OBSERVATOIRES D'ARGENTINE

## CÓRDOBA

par Stéphane THOMAS,  
« collectionneur d'éclipses »

*Les observatoires internationaux du Chili sont mondialement renommés. Ils sont situés dans le nord du pays où le climat est très propice aux observations. Mais de l'autre côté de la frontière, par delà la Cordillère des Andes, en Argentine, des observatoires moins connus regardent le même ciel. Après ceux du Leoncito, partons visiter ceux de la Province de Córdoba<sup>1</sup>.*

### L'OBSERVATOIRE DE CÓRDOBA

Lundi 7 novembre 2011. J'arrive devant l'observatoire de Córdoba, la deuxième ville d'Argentine avec 1,2 millions d'habitants. Malheureusement, les visites pour le public ont lieu seulement le vendredi soir de 21h à 23h. Je décide néanmoins de tenter ma chance, je traverse le jardin et j'entre dans le bâtiment principal. Dans le hall désert, des vitrines présentent de nombreux instruments anciens. Un astronome passe et il part se renseigner pour moi. Finalement, pour que je ne reparte pas déçu, il va chercher la clef de la coupole où trône le « grand équatorial » qui sert à faire des observations publiques.

Le 24 octobre 1871, le Président Sarmiento inaugurerait l'Observatoire National Argentin (ONA) situé à Córdoba. Ce site avait été préféré par l'astronome américain Benjamin Gould, premier Directeur de l'observatoire, à ceux de Buenos Aires et Rosario qui présentaient un trop fort taux d'humidité. Sous l'une des coupoles de l'édifice principal, avait été monté à l'époque un cercle méridien construit en 1868 par la firme Repsold & Fils de Hambourg en Allemagne. Cette lunette de 122 mm de diamètre et de 1463 mm de focale avait eu pour but de faire un relevé précis des étoiles de l'hémisphère Sud. Le cercle méridien a été remplacé le 1<sup>er</sup> mai 1910 par un autre cercle méridien Repsold de plus grandes dimensions (diamètre 190 mm, focale 2250 mm).

---

<sup>1</sup> Cet article constitue la suite du « carnet de voyage » de Stéphane en Argentine dont la première partie a été publiée dans le Bulletin n° 15.



*L'Observatoire de Córdoba*

Pour compléter cette installation, Gould acheta à New York une lunette de 28,6 cm de diamètre et de 363 cm de distance focale qui fut dédiée à l'astrophotographie naissante et qui fut appelée le « grand équatorial ». Dans ce but, elle fut équipée de deux objectifs interchangeables performants, un pour le visuel et un pour la photographie. Cet instrument a été monté sous une des deux coupoles de 6 m de diamètre et a vu sa première lumière le 28 novembre 1871.

En 1901, l'ONA acheta à Paris un astrographe construit par Henry pour les optiques et par Gautier pour la monture. L'objectif photographique possède un diamètre de 33 cm et une focale de 347 cm, la lunette guide ayant un diamètre de 19 cm pour une focale de 363 cm. Cet astrographe a été installé sous l'autre coupole de 6 m.

Les instruments de l'Observatoire, à la pointe de la technique de l'époque, ont permis d'établir différents catalogues du ciel austral qui font encore référence aujourd'hui et ont participé à la détermination de l'orbite de l'astéroïde Éros.

Un télescope dont le miroir de 76 cm a été fabriqué à l'Observatoire de Córdoba est mis en service à la fin de 1917. Entre 1923 et 1930, de nouvelles coupoles plus fonctionnelles sont construites et les anciennes sont démolies. Pendant ce laps de temps, le télescope de 76 cm reste inactif. En 1938, il reçoit un miroir secondaire en Pyrex de 15 cm de diamètre qui lui permet de fonctionner avec une configuration Cassegrain en plus de son foyer Newton. À la fin des années 1970, le télescope de 76 cm muni d'une nouvelle armature est envoyé à la Station Astronomique Carlos U. Cesco (voir Cahiers Peiresec n°15) et est alors baptisé

« télescope Perrine » tandis que sa monture prévue pour recevoir une table équatoriale part sous une coupole secondaire de la Station d'Astrophysique de Bosque Alegre.



*Le grand équatorial de l'Observatoire de Córdoba*

## L'OBSERVATOIRE DE BOSQUE ALEGRE

Mardi 8 novembre 2011. Le jeune couple qui m'a pris en stop me dépose au bord de la route, à l'entrée de l'observatoire de Bosque Alegre dans les Sierras Chicas dans la Province de Córdoba. Un panneau indique que les visites sont suspendues. Je passe outre et je m'engage sur la piste qui conduit à la grande coupole que l'on aperçoit au loin. Je suis presque arrivé lorsque j'entends des techniciens travailler dans une petite coupole. Je vais à leur rencontre et un jeune astronome, Mariano Dominguez, accepte de m'ouvrir la porte de la grande coupole.

La Station d'As-trophysique de Bosque Alegre est situé à 1250 m d'altitude. Elle a été inaugurée le 5 juillet 1942. Ce site a été choisi après que, sous la direction de Charles Perrine, l'ONA eut fait l'acquisition en 1910 d'un télescope de 1,54 m et eut décidé de le mettre en service sous un ciel de meilleure qualité.



*Le site de l'Observatoire de Bosque Alegre*

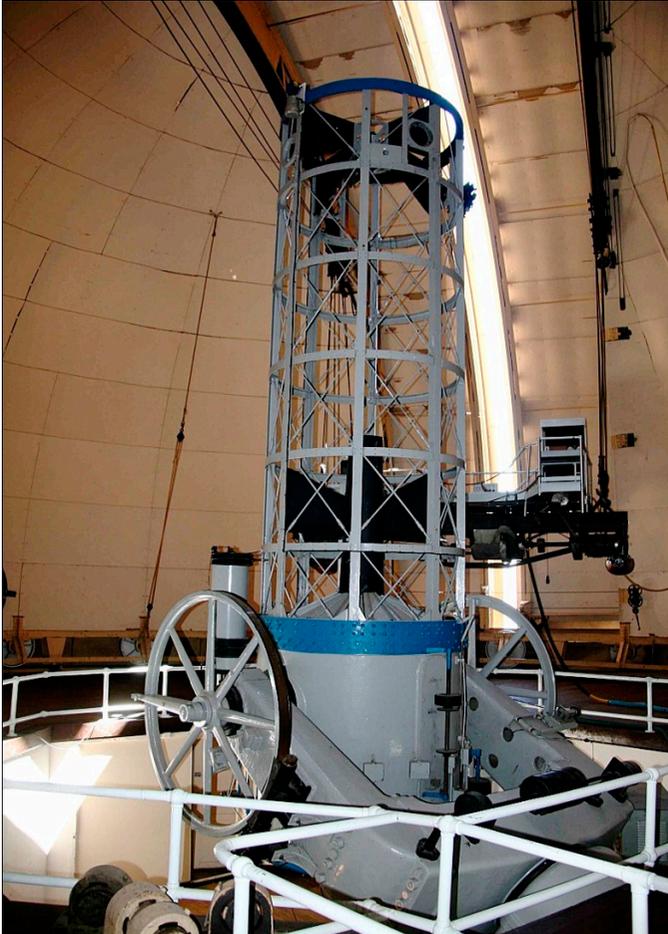


*La grande coupole de Bosque Alegre*

Une coupole de 18 mètres et de 80 tonnes achetée en 1914 aux États-Unis et montée sur son bâti en 1931 abrite ce télescope qui fut le plus grand de l'hémisphère Sud pendant quelques décennies. Il dispose d'un foyer Newton et d'un foyer Cassegrain et est équipé d'un spectrographe.

Depuis 1955, l'ONA et sa station d'astrophysique de Bosque Alegre dépendent de l'Université Nationale de Córdoba.

**Stéphane THOMAS**

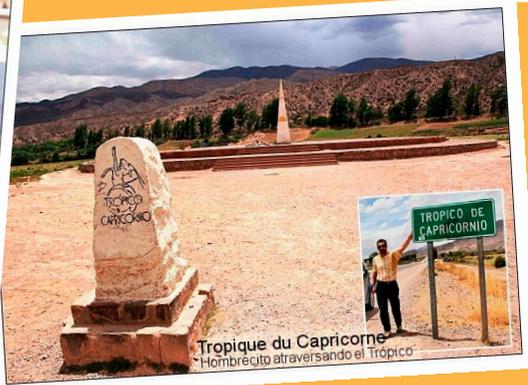
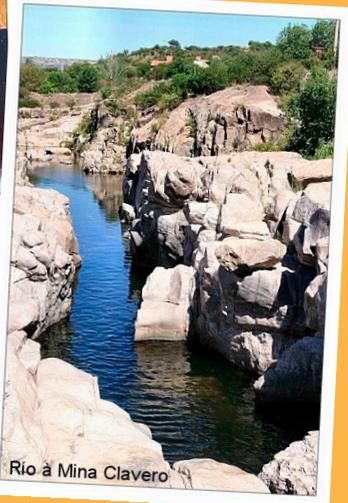
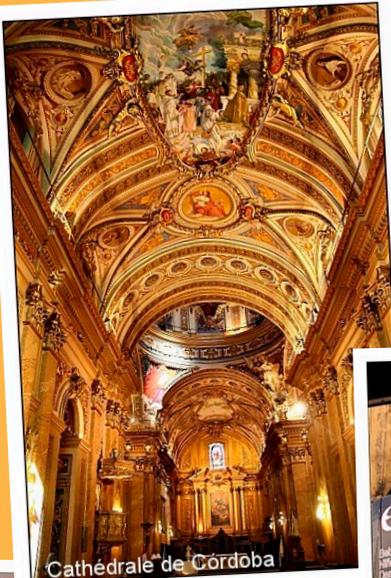


*Le télescope de 1,54 m de Bosque Alegre*

Avec tous mes remerciements aux astronomes argentins qui m'ont ouvert généreusement les portes de leurs coupoles. S.T.

Toutes les photographies de ce carnet de voyage sont de l'auteur.

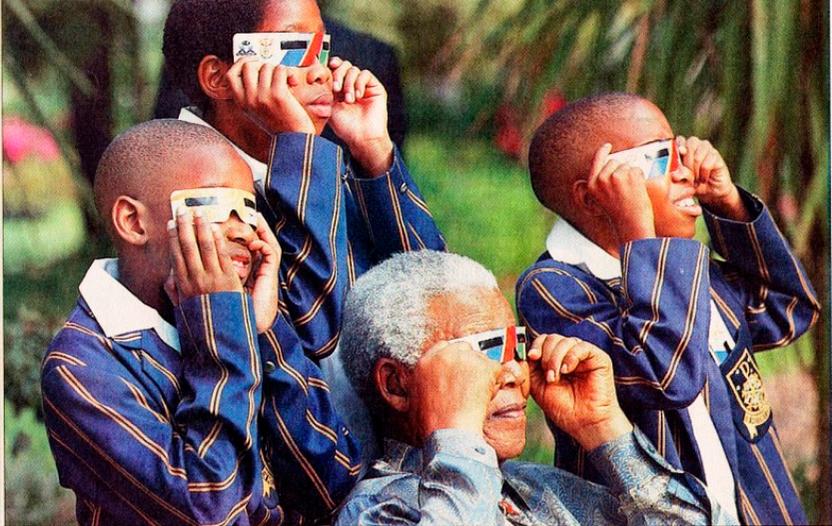
CARTES POSTALES D'ARGENTINE



## 4 DÉCEMBRE 2002 - AFRIQUE DU SUD ÉCLIPSE TOTALE DE SOLEIL

Nelson Mandela et ses trois petits-fils observent l'éclipse.

**ECLIPSE** The Star ... Thursday, December 5, 2002 DEBBIE YAZBEK



**Family affair ...** Nelson Mandela and his grandsons view the eclipse. From left are Zuko Dlamini, Mibuso Mandela and Andile Mandela.

**Dark is a bright spot in Mandela's day**

BY **BUHLE KHUMALO**

Awaiting the solar eclipse, Nelson Mandela and his grandchildren gazed up as the sky darkened in the garden at his home in Johannesburg.

But the wait stopped when Andile Mandela (9) spotted a fraction of the sun disappear.

"Look, it is getting dark," he called, urging his cousins to look at the sun.

Grandpa Mandela - who spends little time with his grandchildren - warned them not to look at the sun without special glasses.

Asked what he was expecting the eclipse to look like,

Andile paused. "I expect it to be very, very dark," he said.

He explained: "It happens once after a long time, and I think the next one will be in 2030."

While the grandchildren waited for the complete eclipse of the sun, they asked grandpa if they could skip school, but he wouldn't allow them to have the

day off without the permission of their school principal.

As soon as they arrived at school, they scurried off to watch the completion of the eclipse with their classmates.

An excited Zenani Mandela (5) called to her friends: "Come quickly, let's go look: it is going to be night."

**FREE ladies denim bag solar bag worth R140. Purchase any handset over or take out a contract**

Cette magnifique photographie<sup>1</sup> a été publiée dans le quotidien *The Star* daté du 5 décembre 2002 (le lendemain de l'éclipse).

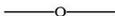
Coïncidence, c'est aussi un 5 décembre, au moment où nous préparons ce numéro 18 des Cahiers Peiresc, que Nelson Mandela s'est éteint.

Nous avons choisi de reproduire cette photo, qui a toute sa place dans notre revue, en hommage à l'homme de grande humanité et symbole du combat contre l'apartheid que fut Nelson Mandela.

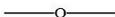
<sup>1</sup> La photo (Debbie Yazbek / The Star) nous a été aimablement transmise par notre « collectionneur d'éclipses » S. Thomas qui l'avait conservée dans ses archives de voyages.

L'association des Amis du Planétarium d'Aix en Provence,  
(A.P.A.P.),  
a été fondée en novembre 1989 avec pour objectif :

**« la diffusion, en milieu scolaire et auprès du public en général,  
des théories scientifiques qui constituent  
l'Astronomie, l'Astrophysique et les sciences de la Terre,  
en utilisant comme outil pédagogique privilégié  
un planétarium fixe. »**  
*(article 2 des statuts)*



*Informations : <http://www.aix-planetarium.fr>  
Contacts, réservations : 04 42 20 43 66 ou 06 88 46 29 99  
E-mail : [contact@aix-planetarium.fr](mailto:contact@aix-planetarium.fr)*



L'A.P.A.P. est membre de

***L'Association des Planétariums de Langue Française,  
(A.P.L.F.),***

dont le siège est :  
MJC La Belle Étoile  
rue Dom de Pothier  
88000 ÉPINAL  
Tél : 03 29 35 08 02

*<http://www.aplf-planetarium.org>*



Association des Planétariums  
de Langue Française

Le planétarium Peiresc est une réalisation de  
l'association des Amis du Planétarium  
d'Aix-en-Provence,

*avec le soutien de :*



*et la participation de :*



*Le planétarium Peiresc est partenaire de :*



Directeur de la publication : Philippe Malburet  
Planétarium Peiresc - Centre d'Astronomie « Villa Clair-Matin »  
166, avenue Jean Monnet 13090 Aix-en-Provence  
Tél. 04 42 20 43 66 - E-mail : [contact@aix-planetarium.fr](mailto:contact@aix-planetarium.fr)  
<http://www.aix-planetarium.fr>

