

OPTIMISATION DE LA MESURE DE L'ANNEAU DE STOCKAGE DE L'ESRF AVEC UN LASER TRACKER AT401 LEICA

Entreprise d'accueil : European Synchrotron Radiation Facility
PFE présenté par : Rémi CHAURAND
Directeur du PFE : David MARTIN
Correcteurs : Jacques LEDIG & Jean-Claude FISCHER



1. Introduction

L'ESRF, situé aux abords de la ville de Grenoble, est un institut de recherche financé par dix neuf pays. Depuis son ouverture en 1994, celui-ci offre aux scientifiques les rayons X les plus brillants. L'anneau de stockage, élément essentiel de l'accélérateur de particules, correspond à une suite d'aimants qui guide le faisceau d'électrons circulant à une vitesse proche de celle de la lumière. L'ensemble de ces éléments doit garder une place théorique la plus régulière possible afin d'éviter toutes pertes d'énergie et permettre d'arriver à un faisceau le plus puissant possible. Ainsi, la position de chaque élément doit être définie au dixième de millimètre près. Les levés planimétriques et altimétriques sont, à ce jour, distincts mais l'acquisition du laser tracker AT401 aurait pour objectif de n'avoir plus que recours au nivellement indirect pour permettre un gain de temps et remplacer le nivellement direct fait aux niveaux digitaux.



Photo 1 : succession des différents aimants constituant le tunnel du Storage Ring

Le groupe ALGE, *ALignment and GEodesy*, constitue un des nombreux services présents au sein de l'ESRF. Son principal rôle consiste à assurer l'alignement des différents éléments pour le bon fonctionnement de la machine. Des campagnes de mesures sont réalisées de façon périodique durant les arrêts machine, que l'on nomme *shutdown*.

Depuis la création du site, des progrès considérables ont été faits sur les systèmes de mesures. Le groupe ALGE a su s'adapter avec de nouvelles méthodes et de nouveaux moyens de levé. Les progrès n'ont pas vu le jour uniquement sur l'aspect matériel, l'aspect informatique a permis aussi une automatisation des calculs et de ce fait un gain de temps considérable. Après avoir utilisé des distinsvars et des écartomètres, les appareils topographiques robotisés ont fait leurs apparitions. Désormais, ces appareils déjà très performants sembleraient être dépassés par une génération de laser tracker aux précisions jamais égalées.

2. Objectifs de l'étude

L'acquisition récente du laser tracker AT401 Leica, va permettre d'étudier les améliorations que celui-ci peut apporter sur la détermination du réseau de points. Par la même occasion, on

s'intéressera à une optimisation du système de levé et notamment à la disposition des différentes stations permettant de réaliser celui-ci.

Utiliser un tel appareil nécessite aussi de connaître ses caractéristiques instrumentales, c'est pourquoi un ensemble de tests a été fait avec ce laser tracker afin de mieux comprendre son fonctionnement et ses spécificités.

3. Etat de l'art : le réseau de points du Storage Ring

L'anneau de stockage, encore appelé *Storage Ring*, est constitué de trente deux cellules identiques dans lesquelles se repartissent les différents éléments que sont les aimants de focalisations, les aimants de courbure et les onduleurs. La disposition des points est semblable pour chaque cellule. Chaque point possède un matricule unique au sein du site et est matérialisé par un alésage que l'on nomme *survey monument*.

Les différents aimants dipôles, quadripôles et sextupôles sont fixés pour chaque cellule sur cinq poutres. Ainsi lors de chaque levé seules les entrées et les sorties de ces poutres sont déterminées permettant ainsi d'avoir dix points par cellule soit 320 points pour l'ensemble de l'anneau de stockage.

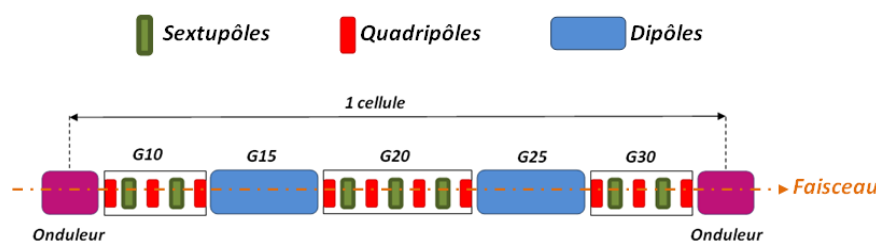


Figure 1 : éléments constituant une cellule du Storage Ring

Le but de chaque campagne de mesure consiste à déterminer la position de chaque aimant par rapport à sa place théorique. Il faut savoir que seuls les éléments qui ont subi un déplacement supérieur à un dixième de millimètre font l'objet d'un réalignement. De plus, deux types de déplacements sont étudiés lors de ces campagnes : le premier au niveau radial qui est le plus important pour les scientifiques qui souhaitent conserver au mieux la forme théorique de la machine, le second au niveau longitudinal auquel on porte moins d'importance.

4. Concepts nouveaux : une optimisation du réseau de points

Chaque milieu de cellule est doté d'une potence permettant de réaliser une station. Lors de chaque levé planimétrique, chacune de ces potences est stationnée une fois. Les mesures sont alors complétées par deux stations machines, la première sur l'entrée de la poutre G10 et la seconde sur la sortie de la poutre G30. Cette configuration présente cependant plusieurs inconvénients, qui doivent être pris en compte pour les prochaines simulations du réseau. Ces stations machines sont difficiles à réaliser puisqu'il faut monter sur les chemins de câble pour faire les mesures et représentent un danger potentiel étant donné que les aimants sous la station peuvent être parfois encore actifs. L'aspect sécurité ne doit pas être négligé et une nouvelle configuration du réseau de points doit voir le jour prochainement suite à cette étude.

Les potences actuelles occasionnent un certain encombrement pour l'ensemble du personnel travaillant dans le tunnel. Ainsi nous avons alors envisagé de créer une potence amovible qui permettrait de résoudre ces problèmes. Des plaques seraient fixées au mur de manière définitive, seul la potence viendrait se fixer lors des levés par des vis ou un serrage particulier. Une étude de stabilité a alors été effectuée sur celle-ci, ainsi qu'une étude sur l'orientation des prismes par rapport à la hauteur de cette potence.

La configuration du tunnel n'offre cependant pas des centaines de possibilités. Sa faible hauteur et largeur restreinte ainsi que son aspect circulaire et la surabondance des divers éléments limitent

assez rapidement les possibilités. La configuration actuelle, en plus de ses inconvénients pratiques, a plusieurs failles quant à la répartition des visées sur les différents points du réseau. Les entrées et les sorties de cellules sont visées deux fois alors que les entrées et sorties du G20 sont visées sept fois. Ainsi par de nouvelles configurations, il paraît important de venir équilibrer le nombre de visées sur chacun des points de manière à avoir une détermination des points la plus homogène possible. Il ne faut cependant pas s'attendre à une amélioration considérable des résultats étant donné que l'on arrive déjà à des précisions excellentes, quasi identiques aux données du constructeur.

5. Expérimentations sur le laser tracker AT401 Leica

Afin de limiter les pertes de précision lors des levés dans le tunnel, il est primordial de connaître le comportement et les caractéristiques de cet appareil acquis récemment par le groupe. La principale différence avec le TDA5005 est la précision du distancemètre, à savoir +/-10 microns. L'ESRF a mis en place, depuis sa création, une base d'étalonnage pour les AEMD (Appareil Electronique de Mesure de Distance). Pour vérifier cette information constructeur, plusieurs étalonnages ont donc été faits, l'écart-type sur les écarts entre distance interférométrique et distance appareil est de 0.010 mm en moyenne, soit environ dix fois moins que pour le TDA5005.

Comme pour tout appareil de topographie, et notamment le TDA5005, l'AT401 nécessite un certain temps de chauffe avant de pouvoir atteindre les précisions annoncées par le constructeur. Le test de chauffe réalisé, a montré que les angles verticaux et horizontaux mettaient plus de trois heures pour se stabiliser. L'objectif du groupe était, au début de cette étude, de pouvoir réaliser un seul et même levé du SR pour ainsi éliminer le nivellement direct et permettre un gain de temps lors de chaque shutdown. Si l'on souhaite atteindre des précisions inférieures au dixième de millimètre sur les dénivelées, il paraît donc primordial de prendre en compte ce temps de chauffe. En effet, une variation sur l'angle vertical comme celle observée de plus de 0.004 mgon en neuf heures, représente 0.6 mm à 10 m.

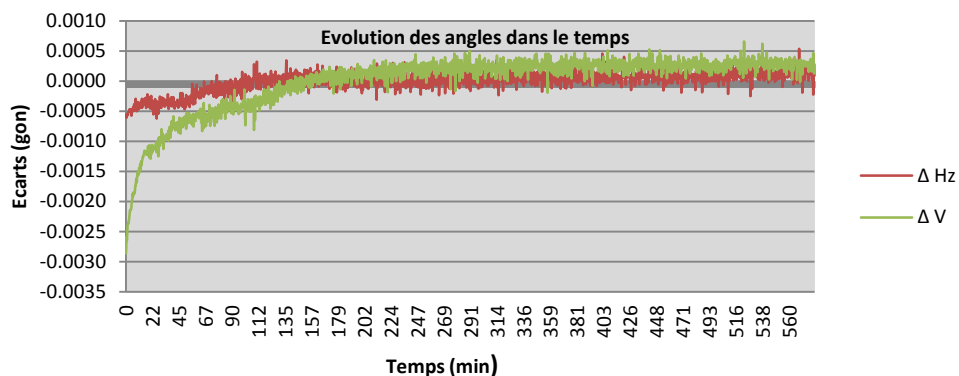


Figure 2 : évolution des angles au cours du temps, par rapport à une moyenne faite sur 9h

6. Résultats sur la détermination du réseau

Le levé de l'anneau de stockage, qui se fait sur une circonférence de plus de 800 mètres, a été réalisé de façon à comparer les deux appareils. Pour cette comparaison, les deux levés ont été effectués en même temps et en utilisant les mêmes configurations et méthodes de levé. Les écarts-types sur les résidus sont de 1.5 dmgon en angles et de 0.10 mm en distances pour le TDA5005 contre 1.9 dmgon et 0.010 mm pour l'AT401. Les ellipses d'incertitude sur les points ont des demis grands axes moyens de 0.10 mm et des demis petits axes de 0.08 mm pour le TDA5005 contre 0.08 mm et 0.04 mm pour l'AT401. Le demi grand axe des ellipses d'incertitude se trouve toujours plus ou moins perpendiculaire à l'axe du faisceau, c'est-à-dire sur l'axe radial. L'efficacité du distancemètre, dont est doté ce laser tracker, influe donc essentiellement sur la détermination longitudinale au sein du tunnel.

Des levés ont ensuite été faits en utilisant des configurations différentes de celle actuelle pour permettre ainsi de choisir celle qui serait la plus intéressante à mettre en place par la suite. Il faut cependant ne pas oublier qu'un tour du Storage Ring est fait en une journée par une équipe de deux personnes. Durant le déroulement de PFE, seulement deux shutdowns ont eu lieu, ce qui explique le fait que seules quelques simulations du réseau ont pu être mises en application.

Un des objectifs de ce PFE comme il a été dit précédemment, serait de supprimer le nivellement direct. La détermination altimétrique, aujourd'hui, se fait avec des niveaux digitaux Dini de chez Trimble. Cette opération demande un jour de travail avec trois équipes de deux personnes. La précision exigée doit être inférieure au dixième de millimètre. Les premières campagnes de mesure en nivellement indirect ont permis de voir que l'AT401 était très sensible aux opérations d'étuvage dans le tunnel (opérations qui consistent à soumettre les chambres à vide, dans lesquelles passent le faisceau de lumière synchrotron, à la chaleur). Après avoir étudié les résultats et la répartition des résidus, on peut dire que les étuvages affectent principalement les angles verticaux et donc ce qui touche à la détermination altimétrique du réseau. Il sera important, pour la suite, de pouvoir réaliser les levés au début de chaque shutdown, étant donné que les étuvages débutent à partir des deuxièmes ou troisièmes jours. Afin de comparer les deux types de détermination, les altitudes obtenues avec le TDA et l'AT401 ont été comparées à celles obtenues avec le niveau :

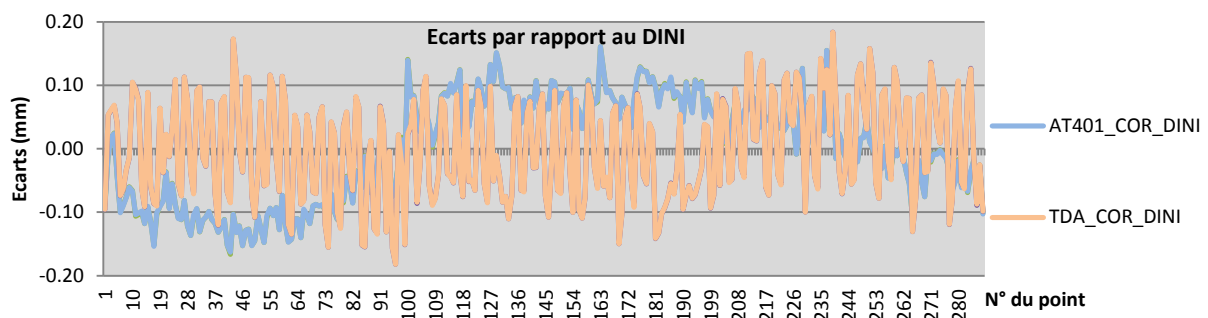


Figure 3 : écarts entre le nivellement direct et indirect du SYTU

Ce graphique montre qu'il serait possible de déterminer les altitudes des points du réseau à +/- 0.15 mm pour le TDA comme pour l'AT401. Après plusieurs comparaisons de ce type, que ce soit pour le réseau du SR ou du SYTU (*SYnchrotron Tunnel*), déterminer le réseau de point avec une précision inférieure au dixième de millimètre semble impossible avec cet appareil.

Par cette étude, on peut voir et confirmer la précision stupéfiante de l'AT401 en distance. Les précisions en angles pour ces deux appareils sont comparables. Il ne faut pas oublier que la précision sur la détermination du réseau est directement liée à la configuration générale de l'anneau de stockage. En effet, l'aspect circulaire du réseau fait que la direction orthogonale au faisceau de lumière est beaucoup plus sensible à la mesure d'angle que de distance. Les intersections entre chaque visée ne sont pas toujours idéales et pourraient être apparentées à des intersections en sifflet. Pour percevoir au mieux les qualités de cet appareil, une étude a donc été réalisée sur un réseau de point plus homogène avec des intersections multiples et bien réparties pour chaque point.

7. Conclusion

Cette étude a permis de découvrir une nouvelle génération d'appareils aux caractéristiques révolutionnaires. L'utilisation de l'AT401 couplée à une nouvelle configuration du réseau dans les mois à venir, permettra ainsi une meilleure détermination de la position de chaque aimant au sein de l'anneau de stockage de l'ESRF. L'AT401 possède de multiples avantages sur son prédécesseur l'AT901, notamment sa portabilité et sa légèreté, qui est déjà utilisé à ce jour par les membres du groupe ALGE. Les travaux du groupe seront ainsi simplifiés et les méthodes de mesures et d'alignement sur l'ensemble des lignes de lumière pourront être modifiées prochainement.