

Détermination d'un référentiel GPS optimal dédié aux travaux topographiques du RER de la ligne INFRABEL L161 entre Watermael et Ottignies

Ing. Thibaud CLERBOIS
Ir. Michel GILMARD
ECAM-Bruxelles
Géomètre Pierre DETRY
s.a. TUC RAIL

En 2002, la société TUC RAIL a mis en place un référentiel de points topographiques le long de la ligne ferroviaire L161. Etablis pour une zone locale comprise entre Watermael et Ottignies, des paramètres de transformations ont été calculés afin de passer des coordonnées globales, observées au GPS, vers un système local, lu sur plans. Avec l'apparition des réseaux permanents et l'évolution des technologies GPS, une mesure d'un point du référentiel TUC RAIL aujourd'hui ne donnera plus exactement la même coordonnée. Différentes transformations devraient être calculées et comparées, après un re-mesurage de l'ensemble des points, afin de trouver celle qui permettrait d'approcher au plus les valeurs connues chez TUC RAIL.

Mots-clefs : TUC RAIL, RER, GPS, topographie, systèmes de coordonnées

In 2002 the company TUC RAIL implemented an axis system for survey points along the railway line L161. The parameters were set up in a local area between Watermael and Ottignies. They were calculated to transform global coordinates (observed with GPS) into a local system based on maps. Because of the emergence of permanent networks and of the evolution of GPS technologies, a measurement of a survey point with the TUC RAIL axis system today will no longer result in the same coordinate. Different transformations should be calculated and compared after a re-measurement of all the survey points. So the best transformation could be found, allowing to come nearer the TUC RAIL values.

Keywords : TUC RAIL, RER, GPS, topography, frame of reference

1. Introduction

Il y quelques mois, le vaste projet du RER a démarré. Celui-ci a été créé afin de permettre au public des déplacements plus aisés vers et dans Bruxelles aux heures de pointe, de constituer une alternative crédible et efficace à l'utilisation de la voiture et donc contribuer à répondre efficacement aux problèmes de mobilité.

Pour atteindre cet objectif, l'ensemble du réseau ferroviaire en partance de la capitale va être bousculé. En effet, pour permettre une augmentation du trafic effectué par les trains de la SNCB, plusieurs lignes vont passer de deux à quatre voies. C'est la société TUC RAIL, filiale d'INFRABEL, qui assure l'étude et le suivi de ce projet.

Le passage à 4 voies de la ligne 161 Bruxelles-Namur va s'effectuer sur une longueur de 22 kilomètres, entre Watermael et Ottignies et les travaux devraient se terminer fin 2011.

La ligne a été divisée en plusieurs marchés d'exécutions sur lesquels différents chantiers vont être mis en route.

Sur des chantiers de génie civil, il n'est pas rare que les géomètres emploient le système GPS pour effectuer des travaux topographiques. L'utilisation de ce dernier se fait essentiellement pour les travaux d'implantations des terrassements et les levés as-built qui peuvent représenter jusque 60% des activités topographiques sur chantier. Par contre, il est très peu utilisé pour les implantations et contrôles des ouvrages d'art vu son manque de précision.

TUC RAIL (TR) a mis en place, il y a quelques années, un référentiel de points topographiques mesurés au GPS, le long de la ligne ferroviaire L161. L'opération a été effectuée avec les techniques que l'on connaissait à l'époque mais au fil des ans, les technologies ont évolué et les réseaux GPS permanents ont vu le jour. Cela veut dire que la mesure d'un point topographique avec les techniques GPS actuelles ne donnera pas exactement les mêmes coordonnées que celles qu'on lui connaît chez TUC RAIL. En effet, le système local créé (appelé *Lambert TUC RAIL*) est proche mais pas identique du véritable système Lambert de 72.

Pour une lecture plus aisée des plans de TR, le géomètre travaillant pour un entrepreneur en charge d'un tronçon le long de la L161, devrait pouvoir

appliquer une transformation aux valeurs de ses observations (qu'il obtient avec son matériel et les techniques actuelles de mesurage) pour se retrouver dans le système propre à TUC RAIL.

2. But du travail

Le but de ce travail a été de re-mesurer au GPS la plupart des points topographiques situés le long de la ligne Infrabel L161 entre Watermael et Ottignies, afin de les fixer dans le système de coordonnées globales *WGS84*. Les mesures ont été effectuées avec les technologies GPS actuelles (réseaux permanents, appareils récents, etc).

Connaissant ainsi pour chacun des points topographiques ses coordonnées globales (après re-mesurage via réseaux permanents) et locales (*Lambert TUC RAIL*), les deux jeux de coordonnées ont été mis en parallèle et des transformations ont été calculées afin de passer d'un système à l'autre. Les transformations sont applicables soit sur l'entièreté de la ligne, soit sur des tronçons de ligne de plus en plus petits (moitiés et quarts de ligne).

Les résultats offerts après application des différentes transformations, selon les tronçons étudiés de la ligne 161, ont été comparés et la transformation idéale, celle qui offrira les résultats les plus proches du *Lambert TUC RAIL* sera celle à proposer à l'entrepreneur responsable d'un tronçon de la ligne

3. Mesures avec GPS

Le principe consiste à mesurer le temps de propagation d'une onde dans l'espace entre un satellite et un récepteur. La détermination d'un lieu géométrique est basée sur l'intersection de trois sphères dans l'espace. Chaque sphère est définie par son centre correspondant à la position d'un satellite, et par son rayon qui est la distance entre le centre et le récepteur GPS de l'utilisateur. Ainsi la mesure correspond à une distance entre un satellite et un récepteur. Les éphémérides du satellite transmises par le message permettent de calculer la position du satellite dans un repère terrestre à l'instant de l'observation.

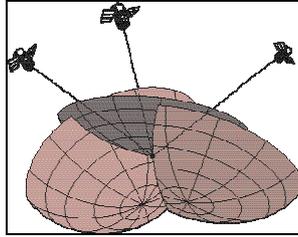


Figure 1 : Positionnement tridimensionnel à partir de 3 satellites

Remarque: En réalité, quatre satellites sont indispensables afin de tenir compte de l'imperfection de synchronisation du récepteur et des horloges des satellites. La détermination des distances entre satellites et récepteur peut se faire soit par mesure de codes soit par mesure de phases.

3.1 Les modes de positionnement

On distingue deux modes de positionnement qui se différencient par la manière de lier les mesures à un système de référence.

a) Le positionnement absolu

Le positionnement absolu consiste à déterminer les coordonnées d'un point quelconque de la Terre en utilisant les codes générés par les satellites. Il est qualifié d'absolu car il considère la relation entre un récepteur et plusieurs satellites.

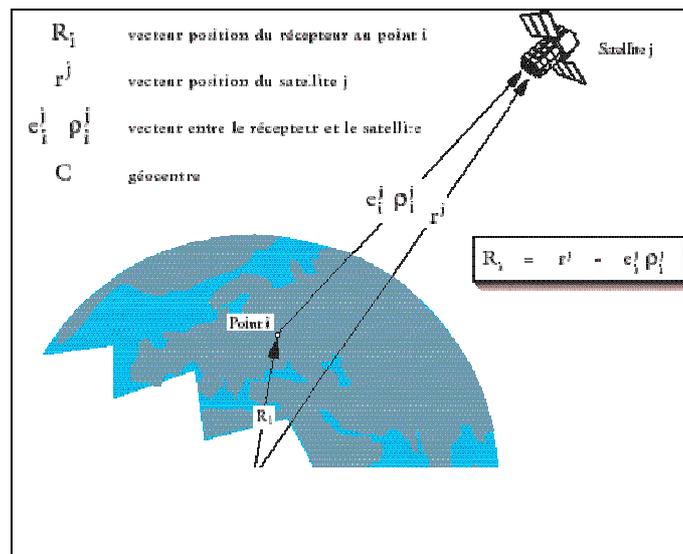


Figure 2 : Le positionnement absolu

C'est le principe qu'utilisent les récepteurs GPS de navigation embarqués à bord des voitures, avions ou bateaux. En utilisant les codes afin de déterminer la position, leur précision est moindre que le positionnement relatif. Mais l'intérêt de cette méthode est la possibilité de l'exploiter en temps réel et d'obtenir une position instantanée, en tout endroit de la Terre (voir figure 2).

b) Le DGPS (Differential Global Positioning System)

Le GPS différentiel permet un positionnement en temps réel en utilisant des corrections qui permettent d'affiner le calcul et d'obtenir une plus grande précision.

Il est toujours nécessaire d'avoir deux récepteurs pour l'utilisation de cette méthode. Un premier récepteur (fixe), souvent appelé référence, sera mis en station sur un point connu exactement en coordonnées (ex : une borne IGN), tandis que le second appareil va être mobile et sera destiné à lever les points voulus. La station de référence reçoit en permanence les signaux GPS et, connaissant ses coordonnées « exactes », elle va déterminer des paramètres de correction. Ces paramètres sont transmis au récepteur mobile qui les appliquera aux données qu'il a reçu.

Ce mode est utilisé pour les applications de géodésie et de mesures précises car la précision obtenue est de l'ordre du centimètre.

Depuis quelques années, des systèmes de réseaux permanents ont été mis au point dans la plupart des pays. Ceux-ci permettent à un utilisateur de GPS, par exemple un géomètre, de n'employer plus qu'un seul récepteur au lieu de deux. Les antennes permanentes du réseau font maintenant office de stations de références

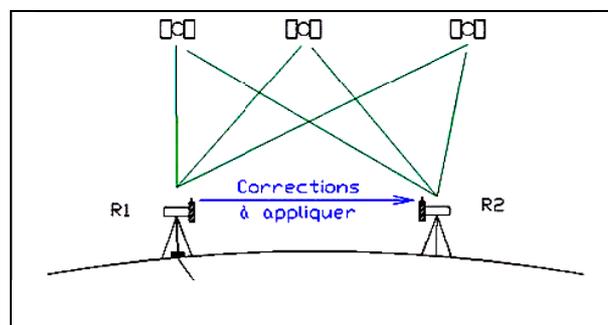


Figure 3 : Principe de fonctionnement DGPS (source DGATLP)

4. Les systèmes de coordonnées et projection Lambert

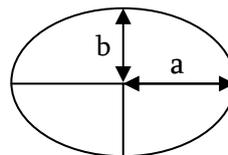
4.1 Les systèmes de références globaux

a) World Geodetic System 1984 (WGS 84)

Pour le système GPS, on a défini une référence globale, sous forme d'ellipsoïde de révolution (figure géométrique la plus proche de la forme réelle de la Terre). Cet ellipsoïde s'appelle WGS84 et est défini par un système géocentrique de coordonnées cartésiennes (X, Y, Z). L'origine est au centre de gravité des masses terrestres, l'axe Z passe par l'axe de rotation de la Terre et l'axe X est l'intersection de l'équateur avec le méridien de Greenwich.

L'ellipsoïde « global » WGS 84 est caractérisé par :

- Un demi-grand axe : $a = 6378137$ m
- Un aplatissement : $f = 1/298.257223563$
avec $f = (a-b)/a$ et b = le demi-petit axe



Lorsqu'un utilisateur, situé en un point P (fig. 4), effectue une mesure au GPS, il va tout d'abord recevoir les coordonnées de sa position dans le système WGS 84 :

- Soit en coordonnées **cartésiennes géocentriques (Xp, Yp, Zp)**
- Soit en coordonnées **géographiques**, exprimées par une longitude (λ_p), une latitude (φ_p) et une hauteur au-dessus de l'ellipsoïde (h_p).

La longitude est dans le plan de l'équateur et se compte de 0° à 180° de part et d'autre du méridien origine vers l'est ou l'ouest. L'angle λ_p pris entre le méridien de référence (en général Greenwich) et le méridien du lieu considéré. La latitude est l'angle entre le plan de l'équateur et la verticale abaissée depuis le lieu considéré (0° à 90° Nord ou Sud).

Comme chaque pays possède sa propre référence géodésique et son système de projection, il existe des transformations géométriques qui permettent de passer du système WGS84 à un système de cartographie national ou local.

Suite aux recommandations de l'EUREF (*EUropean REference Frame*), la création d'un système géodésique facilement utilisable en Europe. Ce système suivrait le mouvement de la plaque Eurasie et serait appelé

l'ETRS89. Le rapport du système ETRS89 avec WGS84 est de l'ordre du mètre.

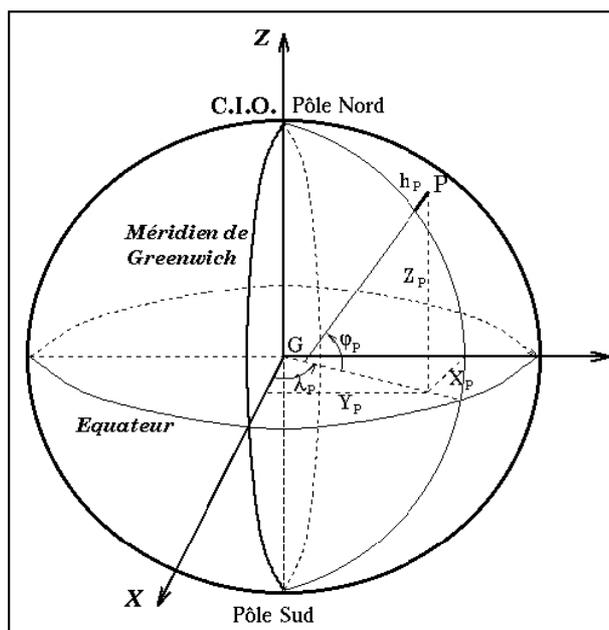


Figure 4 : Système de référence WGS84 (source IGN)

4.2 Le système de référence local

a) Belgium Datum 72

Afin de ne minimiser que localement l'écart entre la forme exacte de la terre et un modèle mathématique, la plupart des pays ont leur propre ellipsoïde de référence local (datum géodésique local). Le centre de celui-ci ne correspond pas au centre de masse de la terre et il est souvent utilisé pour la plupart des coordonnées géographiques représentées sur les cartes officielles des pays en question. Etant donné que les systèmes de références locaux existaient déjà avant l'arrivée du GPS, il a fallu que les fabricants développent des techniques afin de passer du système de référence global (WGS84, ETRS89) à un système propre au pays (par exemple la Belgique).

En Europe occidentale ainsi que pour le réseau géodésique belge, on utilise l'ellipsoïde de Hayford (ellipsoïde international de 1924). Ses paramètres sont :

$$\begin{aligned} a &= 6378388 \text{ m} \\ f &= 1/297 \end{aligned}$$

En Belgique, le datum géodésique local essentiellement utilisé est appelé *Belgian Datum 72* (BD72), calculé sur base de l'ellipsoïde international de Hayford et dont le point fondamental se situe à l'Observatoire Royal de Belgique à Uccle. Ce point a été calculé en astrogéodésie.

4.3 Le passage d'un datum global vers un datum local

Lorsqu'il prend une mesure d'un point, un utilisateur de GPS en Belgique n'a pas besoin de connaître les coordonnées du point en WGS84 ou ETRS89. Il a surtout besoin de les connaître dans le système local employé dans son pays. C'est pourquoi, il existe une formule de transformation Helmert permettant de passer de coordonnées WGS84 (obtenues avec le GPS) en coordonnées BD72 (pour la Belgique).

Cette transformation utilise un set de 7 paramètres afin de passer de l'ellipsoïde global associé à ETRS89 ou WGS84 à l'ellipsoïde international de Hayford.

- 3 paramètres de translation : Δx , Δy , Δz
- 3 paramètres de rotation : ρ_x , ρ_y , ρ_z
- 1 facteur d'échelle : m

Les paramètres sont déterminés à partir de points communs, c'est-à-dire des points connus dans les deux systèmes, le global : WGS84 (ou ETRS89) et le local : BD72 en Belgique.

Chaque point commun permet d'établir 3 équations. Comme on a besoin de 7 paramètres pour déterminer la transformation, il faut avoir 7 équations.

Il est donc indispensable d'avoir au minimum trois points communs dans les deux systèmes.

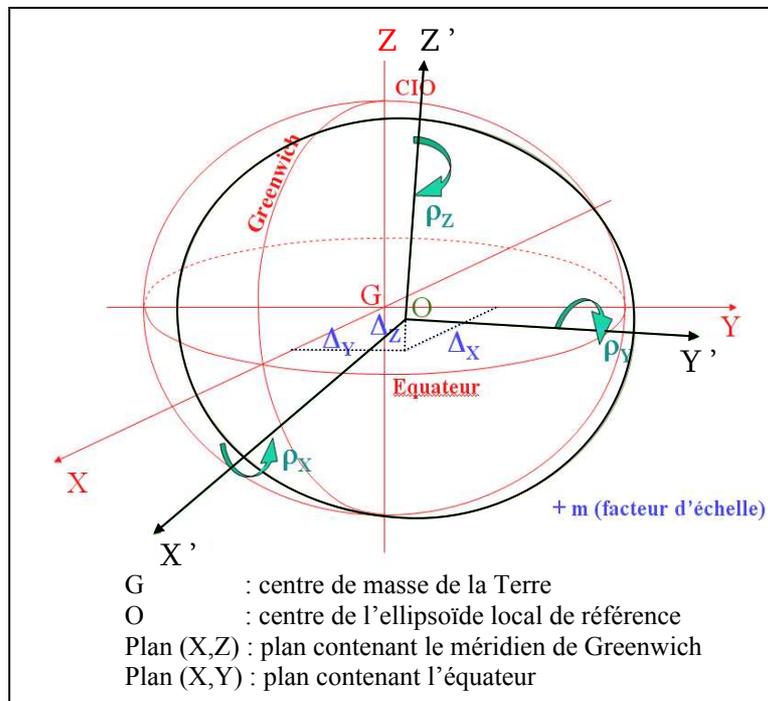


Figure 5 : Passage d'un ellipsoïde à l'autre grâce aux 7 paramètres de transformation

La formule de transformation est alors donnée par la relation suivante :

$$\begin{array}{|c|} \hline X \\ \hline Y \\ \hline Z \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline Global \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline X \\ \hline Y \\ \hline Z \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline Local \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \Delta X \\ \hline \Delta Y \\ \hline \Delta Z \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline m \quad -\rho_Z \quad \rho_Y \\ \hline \rho_Z \quad m \quad -\rho_X \\ \hline -\rho_Y \quad \rho_X \quad m \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|} \hline X + X_0 \\ \hline Y + Y_0 \\ \hline Z + Z_0 \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline Local \\ \hline \end{array}$$

Cette relation est une formule d'interpolation et les valeurs obtenues pour les 7 paramètres ne sont valables qu'à l'intérieur de la zone déterminée par les points communs aux deux référentiels.

4.4 Les coordonnées planes en Belgique

(Extrait de «Ce qu'il faut savoir pour naviguer sans soucis avec GPS» par J-P Beekman, IGN).

✂ **Lambert 72**

Le système de projection utilisé pour la représentation des cartes éditées par l'IGN est la projection conique conforme (càd qui conserve les angles) de Lambert utilisée avec un datum spécifique à la Belgique : le **Belgian datum 1972 (BD72)**. Tout comme ED50, BD72 utilise aussi l'ellipsoïde international de Hayford, mais son point fondamental est situé à l'Observatoire Royal de Belgique à Uccle. Cette projection donne lieu aux coordonnées rectangulaires connues sous le nom de **Lambert 72** et est représentée par les lettres *x* et *y*.

L'origine de ce système d'axes est choisie arbitrairement quelque part dans le Nord de la France, à 150 km à l'ouest du méridien fondamental et à 5400 km au sud du sommet du cône de projection, ceci afin d'éviter les coordonnées négatives sur le territoire belge.

Dans le système conforme "Lambert 72", les angles sont conservés et la correction maximale sur les distances est d'environ 9 cm par km, ce qui est totalement indécélable à l'échelle de la carte.

5. Mesurage des points topographiques de la L161

5.1 Les réseaux permanents

On sait que pour se positionner de manière précise au GPS, il faut travailler avec des méthodes différentielles (*DGPS*). Ces techniques nécessitent l'utilisation de deux récepteurs GPS : un récepteur fixe stationne sur un point connu dans un système (ex: borne IGN), tandis que l'autre récepteur est mobile et sert aux levés.

Pour faciliter le travail, des réseaux GPS permanents ont été développés dans de nombreux pays dont la Belgique. Ceux-ci sont composés d'un ensemble de stations (antennes) de référence, réparties sur l'ensemble du territoire, qui enregistrent non-stop les données envoyées par les satellites et les transmettent vers un centre de contrôle. Le centre analyse, stocke et met les données à disposition des utilisateurs.

Une des particularités de la ligne Infrabel 161 est de traverser les trois Régions de notre pays. En effet, en sortant de la Région de Bruxelles

Capitale, un train circulant sur la L161 vers le sud de la Belgique, va ensuite passer en Région flamande avant d'arriver en Région wallonne.

En Belgique, il existe un système de réseaux permanents pour chaque Région !

FLEPOS = le système flamand, développé par l'IGN et l'OC-GIS Vlaanderen,

WALCORS = le système wallon, développé par l'IGN et le MET,

AGN = système couplant des antennes des réseaux WALCORS et FLEPOS (géré par l'IGN).

Outre l'utilisation des réseaux permanents, nous avons pensé à installer une antenne de référence propre, à la gare d'Ottignies, appelée « référence TUC RAIL ». Cela nous a permis d'avoir une méthode supplémentaire à comparer aux autres en étant indépendant des problèmes qui pourraient survenir soit en cas de panne du réseau, soit en cas de problèmes de communication entre rover (appareil GPS) et centre de contrôle (saturation du réseau GSM, etc).

5.2 Les tronçons

Pour ce travail, la partie de ligne 161 qui nous intéressait a été divisée en 4 tronçons de 6 kilomètres chacun :

L161 quart 1 : premier quart de ligne, situé en Région bruxelloise entre les Bornes Kilométriques 9 (9. 283) et 14 (14.195), mesuré avec AGN et Flepos.

L161 quart 2 : second quart de ligne, situé en Région flamande entre les BK 14 (14. 195) et 20 (20.309), mesuré avec AGN et Flepos.

L161 quart 3 : troisième quart de ligne, situé en Région wallonne entre les BK 19 (19. 354) et 26 (26.050), mesuré avec AGN et Walcors.

L161 quart 4 : quatrième quart de ligne, situé en Région wallonne entre les BK 26 (26. 050) et 33 (32.820), mesuré avec AGN, Walcors et la référence TUC RAIL.

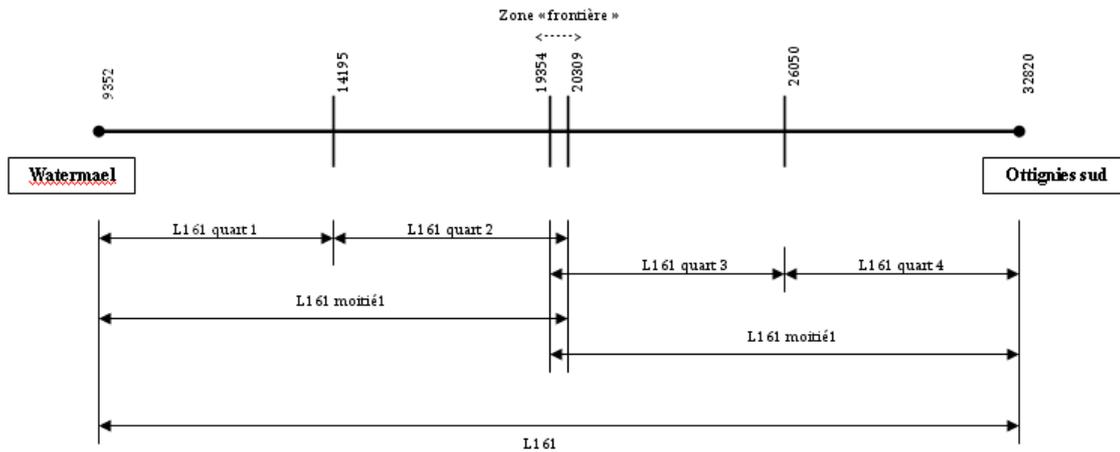


Figure 6 : Schéma de représentation des divers tronçons de la L161

6. Transformations 3D

6.1 Calcul d'une transformation

Une fois les mesures de terrain effectuées, toutes les données stockées sur la carte mémoire du récepteur sont importées vers le logiciel de traitement et ces points remesurés forment le *système A*. Les coordonnées importées du GPS sont toutes en WGS84 !

Un projet est créé et le nom donné à celui-ci fait référence à la future transformation proposée. Il est nécessaire d'importer les valeurs de tous les points de L161 en « coordonnées Lambert - TUC RAIL », correspondants à ceux mesurés lors de la campagne (*système B*). Chacun des points du système A est ensuite associé à son équivalent du système B.

SKI Pro calcule alors, avec les points communs aux deux systèmes, une transformation 3D du modèle Bursa Wolf, à 7 paramètres :

- 3 paramètres de translation,
- 3 paramètres de rotation,
- 1 facteur d'échelle

Cette transformation créée permet théoriquement de passer des coordonnées WGS84 obtenues par les techniques actuelles de levés au GPS à celles de TUC RAIL (locales).

Une fois appliqués aux coordonnées des points remesurés (connues en coordonnées globales *WGS84*), les écarts entre les deux systèmes ont été calculés afin de déterminer la « finesse » de la transformation. Plus les écarts sont faibles, plus la transformation permet d'obtenir des valeurs proches des coordonnées TR.

Plusieurs projets de transformations ont été calculés et comparés afin de déterminer une ou plusieurs méthodes à utiliser.

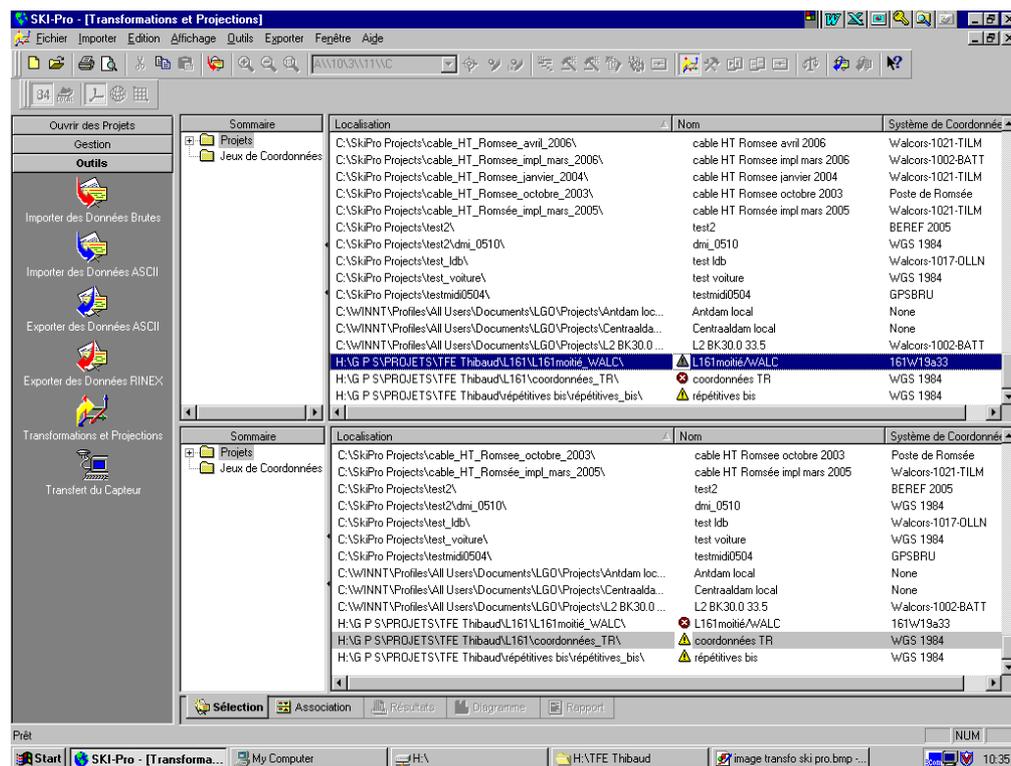


Figure 7 : Choix des systèmes A et B pour un calcul de transformation à l'aide du logiciel LEICA Ski Pro

6.2 Les différentes transformations « propres » calculées

Huit transformations 3D ont été calculées par nos soins à la suite de la campagne de mesures entreprise. Ces transformations « propres » ont été établies sur base de fixation WGS84 effectuées à l'aide des réseaux permanents.

1) 161A9a33 : transformation applicable à l'entièreté de la ligne. Elle a été calculée avec tous les points de la L161 mesurés à l'aide d'AGN.

2a) 161F9a20 : transformation applicable sur le premier tronçon moitié de la ligne. Calculée sur base des points de la première partie de la ligne mesurés à l'aide du réseau FLEPOS.

2b) 161W19a33 : transformation applicable sur le second tronçon moitié de la ligne. Calculée sur base des points de la sconde partie de la ligne mesurés à l'aide du réseau WALCORS.

3a) 161F9a14 : transformation applicable sur le premier tronçon quart de la ligne. Calculée sur base des points du premier quart de la ligne mesurés à l'aide du réseau FLEPOS.

3b) 161F14a20: transformation applicable sur le second tronçon quart de la ligne. Calculée sur base des points du second quart de la ligne mesurés à l'aide du réseau FLEPOS.

3c) 161W19a26: transformation applicable sur le troisième tronçon quart de la ligne. Calculée sur base des points du troisième quart de la ligne mesurés à l'aide du réseau WALCORS.

3d') 161W26a33: transformation applicable sur le quatrième tronçon quart de la ligne. Calculée sur base des points du quatrième quart de la ligne mesurés à l'aide du réseau WALCORS.

3d'') 161RT26a33: transformation applicable sur le quatrième tronçon quart de la ligne. Calculée sur base des points du quatrième quart de la ligne mesurés à l'aide de la référence propre TUC RAIL.

7. Analyse des résultats

Les résultats obtenus après l'application d'une transformation aux points remesurés ont été comparés avec les valeurs des points correspondants dans le système de coordonnées locales planes Lambert-TUC RAIL.

Des graphiques de comparaisons ont été établis pour toutes les transformations calculées.

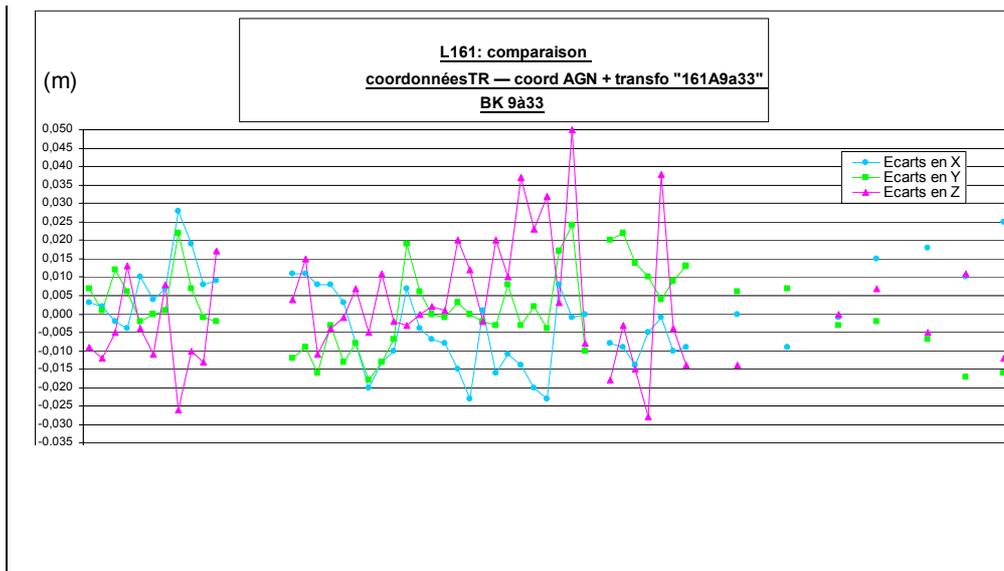
Des tableaux présentent les coordonnées d'un point dans les deux systèmes, les écarts en x, y et z ainsi qu'une valeur moyenne de ceux-ci.

Prenons comme exemple la comparaison entre les coordonnées TUC RAIL et les coordonnées AGN avec application de la transformation 161A9a33 (sur l'entièreté de la ligne 161) :

Tableau des écarts

	Δx	Δy	Δz
Ecart moyen	-0,001	0,001	0,002
Ecart max	0,028	0,022	0,050
	σx	σy	σz
Ecart-type	0,012	0,011	0,016

Graphique de comparaison



Si les valeurs comprises dans un intervalle allant de $\{-2,5*\sigma \text{ à } 2,5* \sigma\}$ sont acceptées, on observe que plusieurs de nos points sont « à jeter ». Ce critère va faire partie du choix de la méthode finale : plus il y a de points non compris dans l'intervalle, plus la transformation sera grossière.

C'est donc une transformation d'assez mauvaise qualité car elle a été calculée sur une longueur trop importante. Pour avoir des résultats plus fins, il faudrait avoir des zones de travail plus réduites.

Comparaisons globales

Pour terminer les observations, des graphes globaux ont été présentés. Ils comparent les écarts-types calculés pour chaque transformation sur un tronçon où elles sont applicables. Ils donnent une vue d'ensemble des méthodes utilisées et idée de leur finesse.

Légende:

	La transformation a été appliquée aux points mesurés avec AGN
	La transformation a été appliquée aux points mesurés avec Flepos
	La transformation a été appliquée aux points mesurés avec Walcors
	La transformation a été appliquée aux points mesurés avec l'antenne de référence TUC RAIL

EXEMPLE : Quatrième quart de L161 :

Tronçon quart 4 BK 26 à 33

Transfo utilisée	σ_x	σ_y	σ_z	n°ordre
161A9a33	0,012	0,011	0,016	1
161W19a33	0,010	0,012	0,015	2
161W26a33	0,011	0,010	0,013	3
WALCORS 1017- OLLN	0,015	0,014	0,017	4
161RT26a33	0,010	0,009	0,012	5
BEREF	0,016	0,025	0,019	6
BEREF	0,020	0,015	0,022	7

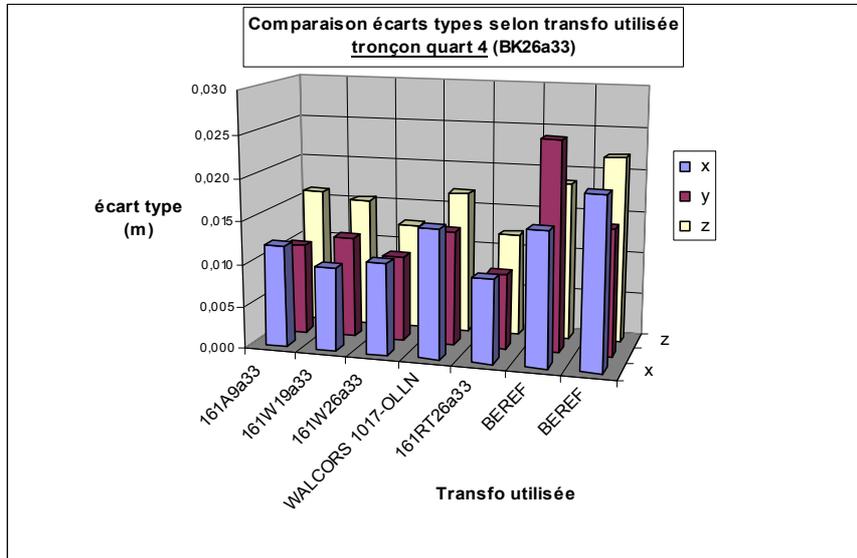


Figure 8 : Comparaison écart- types selon les diverses transfos utilisées (sur le tronçon 4)

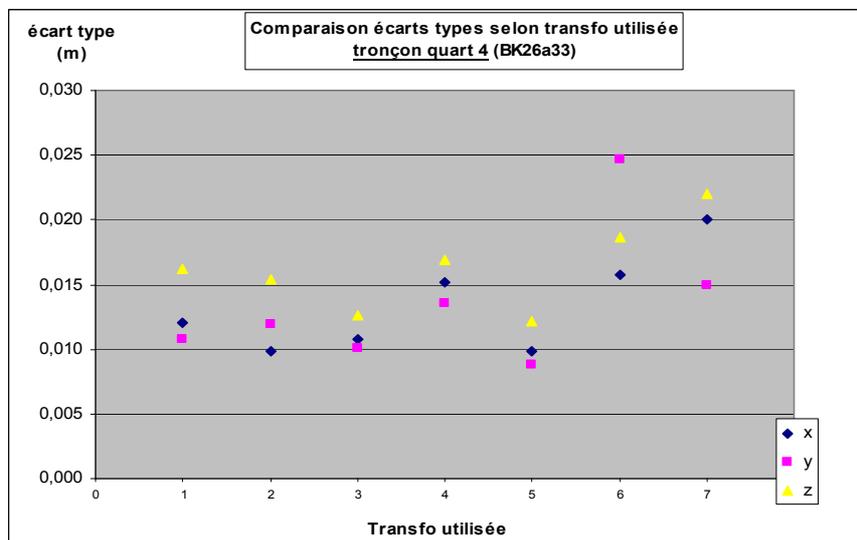


Figure 9 : Cf graphique ci-dessus

8. Conclusions

La transformation calculée avec tous les points de la ligne qui ont été levés avec AGN n'est pas assez précise pour être employée. L'application de celle-ci ne permet pas d'obtenir des valeurs suffisamment proches de celles du référentiel TUC RAIL. De plus certains écarts maxima sont assez élevés (parfois plus de 3 cm).

Les transformations calculées pour les deux moitiés « régionales » de la L161 offrent déjà une amélioration par rapport aux résultats de la précédente. Mais encore une fois, celles-ci ne peuvent quand même pas être utilisées par un entrepreneur qui se positionnerait à plusieurs centimètres de l'endroit où il devrait se trouver. La différence observée entre la transformation utilisant Flepos et son homologue utilisant Walcors est minime.

Calculées sur des longueurs de tronçon bien plus faibles, les transformations applicables aux 4 quarts de L161 sont les plus précises. Avec de temps à autre un écart maximum plus impressionnant que l'ensemble, ces transformations offrent des résultats pratiquement inférieurs au centimètre. Il suffit aussi d'observer l'allure des courbes dans les différents graphiques pour remarquer que ces transformations peuvent fournir des résultats qui tendent vers le « Lambert-TR ».

En ce qui concerne le dernier tronçon, le choix de la transformation va se faire parmi celles qui ont été calculées par nos soins, c'est-à-dire pour 161W26a33 et 161RT26a33. Une des solutions utilise pour le mesurage des points une communication GSM vers un réseau permanent tandis que l'autre est reliée par radio à sa référence. Les coûts sont donc différents mais travailler avec une antenne propre engendre d'autres inconvénients comme la mise en station et l'achat ou la possession du matériel GPS en double exemplaire, etc

L'utilisation d'une référence propre est la solution à choisir si l'entrepreneur en charge d'un marché d'exécution possède le matériel adéquat, c'est-à-dire au moins deux récepteurs GPS compatibles. Le problème majeur est qu'un des deux équipements doit rester continuellement sur le chantier, c'est

pourquoi la possession d'un récepteur de plus ancienne génération compatible avec les actuels, convient parfaitement.

Cette méthode n'est plus rentable s'il faut investir dans un nouvel appareil. Dans le cas où l'on ne possède qu'un appareil, l'utilisation du réseau WALCORS et de la transformation calculée 161W26a33, s'avère être la plus proche des coordonnées TR (pour le tronçon quart4 : voisinage gare Ottignies).

9. Bibliographie

- [1] CLERBOIS Thibaud, *Détermination d'un référentiel GPS optimal dédié aux travaux topographiques du RER de la ligne INFRABEL L161 entre Watermael et Ottignies*, TFE ECAM, 2006
- [2] BEECKMAN Jean-Pierre, *Le Global Positioning Service*, Direction de la Géodésie, IGN, Bruxelles, 1995
- [3] *Le GPS et les métiers du génie civil*, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)
- [4] *Systèmes de référence et formules de transformation en usage en Belgique*, Direction de la géodésie, IGN, 1989
- [5] GILMARD Michel, *Cours de géodésie*, ECAM
- [6] LANDAU Herbert, *Assurance qualité et mise en réseau de stations de référence GPS*, Ecole supérieure des géomètres topographes (ESGT), Le Mans
- [7] MOSQUERA Vanessa, *Analyse des différents types de réseaux GPS permanents*, TFE ECAM, 2002