



EVALUATION COMPARATIVE DE LA PRECISION ALTIMETRIQUE DES DONNES EXTRAITS SOUS ARC GIS ET GLOBAL MAPPER PAR RAPPORT A DES POINTS DE LEVE ET CONTROLES GNSS :

APPLICATION A L'ANALYSE DE 64 POINTS DE LEVE ET CONTROLE TOPOGRAPHIQUE D'UNE CONCESSION EN VUE DE SON AMENAGEMENT

Flarice NGALAMULUME TSHITOKA^{1*}, MUPEPE NGAYIPA Nebys¹, MUNYINGA LUNDA Francis¹, KABEMBA KALONJI Giresse¹, KITSA KAHAMWITI Lisette¹, LUTUMBA LENGE Jean Michel¹, DAMA LOSANZA Julio¹.

¹Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), Kinshasa, RD. Congo, E-mail: B.P.:
190 Kinshasa XI, RD. Congo

Résumé

La précision altimétrique constitue un facteur déterminant dans les travaux de topographie, de cartographie et d'aménagement du territoire. Cette étude vise à comparer les altitudes obtenues par mesures GNSS à celles extraites sous ArcGIS et Global Mapper sur un échantillon de 64 points de contrôle. Les écarts ont été évalués à l'aide de l'erreur moyenne, de l'écart-type et de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE). Les résultats montrent un biais moyen de 3,60 m pour ArcGIS et de 10,05 m pour Global Mapper par rapport aux observations GNSS. Les RMSE respectifs de 3,64 m et 10,33 m indiquent une meilleure concordance des données ArcGIS avec les mesures de terrain. Cette étude confirme l'intérêt d'une validation systématique des données altimétriques issues des modèles numériques avant leur utilisation dans les projets d'ingénierie.

Mots-clés : GNSS, ArcGIS, Global Mapper, précision altimétrique, RMSE, modèle numérique de terrain.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.22181916>

I. INTRODUCTION

Les technologies GNSS (Global Navigation Satellite System) jouent un rôle fondamental dans les levés topographiques modernes, notamment pour la détermination des positions planimétriques et altimétriques. Cependant, la précision des résultats obtenus dépend non seulement de la qualité des observations sur le terrain, mais également des méthodes de traitement utilisées dans les logiciels de posttraitement géo spatial.

Dans la pratique topographique, plusieurs logiciels sont utilisés pour le traitement et l'analyse des données GNSS, parmi lesquels ArcGIS et Global Mapper occupent une place importante. Bien que ces deux plateformes permettent le traitement des données géo spatiales, elles reposent sur des algorithmes, des modèles de transformation et des paramètres géodésiques pouvant différer, ce qui peut entraîner des variations dans les résultats altimétriques.

La composante altimétrique constitue souvent la plus sensible des mesures GNSS en raison des erreurs liées au géoïde, aux corrections atmosphériques et aux modèles de référence utilisés. Ainsi, l'évaluation de la précision altimétrique devient essentielle pour garantir la fiabilité des données dans les projets d'ingénierie, d'aménagement du territoire et de cartographie.

Dans ce contexte, cette étude vise à comparer la précision altimétrique des données extraites sous ArcGIS et Global Mapper par comparaison avec des mesures GNSS réalisées sur le terrain. L'objectif est de quantifier les écarts entre les deux méthodes à l'aide d'indicateurs statistiques tels que l'erreur moyenne, l'écart-type, le RMSE et le coefficient de détermination (R^2), afin d'évaluer leur niveau de concordance et de fiabilité. .

II.MATERIELS ET METHODES

II.1. Zone d'étude et données utilisées

L'étude a été réalisée à partir de 64 points de contrôle topographique levés à l'aide d'un récepteur GNSS. Les points ont été répartis de manière à couvrir l'ensemble de la zone d'étude afin d'assurer une représentativité spatiale suffisante.

Les coordonnées obtenues ont été traitées dans un système de référence géodésique commun (WGS 84 / UTM), garantissant la compatibilité des données entre les deux logiciels de traitement.



Figure 1 : Plan de situation générale de la concession

II.2. Données utilisées

L'étude repose sur un ensemble de 64 points de contrôle géo référencés.

Pour chaque point, les informations suivantes ont été collectées :

- Coordonnées X et Y ;
- Altitude GNSS ;
- Altitude extraite sous ArcGIS ; - Altitude extraite sous Global Mapper.

II.2.1 Méthodes statistiques

Les écarts altimétriques ont été calculés selon :

- Erreur altimétrique : $\Delta Z = Z_{GNSS} - Z_{Méthode}$;
- Erreur moyenne : $EM = \Sigma \Delta Z / n$
- Écart-type : $\sigma = \sqrt{[\Sigma (\Delta Z - EM)^2 / (n-1)]}$
- RMSE : $RMSE = \sqrt{[\Sigma (\Delta Z^2) / n]}$

II.2.2 Comparaisons effectuées

- GNSS vs Arc GIS ; -
- GNSS vs Global Mapper.

III.RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Comparaison GNSS – ArcGIS

L'analyse statistique montre :

- Erreur moyenne : 3,60 m ;
- Écart-type : 0,81 m ; -
- RMSE : 3,64 m.

Ces résultats indiquent une sous-estimation systématique des altitudes par ArcGIS par rapport aux mesures GNSS.

N	Z1	Z2	Erreurs	Moyenne C	Ecart a la Moy	Ecart a la Moy	Carré Ec M	Erreurs	Carré des Erreurs
1	278,2257	273,0239868	5,201713184	3,60475038	1,596962806	1,596962806	2,550290204	5,20171318	27,05782004
2	276	272,8850098	3,114990234	3,60475038	-0,489760143	-0,489760143	0,239864998	3,11499023	9,70316416
3	275,7988	272,7170105	3,081789502	3,60475038	-0,522960876	-0,522960876	0,273488078	3,0817895	9,497426534
4	275,6397	272,8359985	2,803701465	3,60475038	-0,801048913	-0,801048913	0,641679361	2,80370146	7,860741904
5	276,2886	272,1380005	4,150599512	3,60475038	0,545849134	0,545849134	0,297951277	4,15059951	17,22747631
6	276,3166	272,25	4,0666	3,60475038	0,461849622	0,461849622	0,213305074	4,0666	16,53723556
7	276,3417	272,4320068	3,909693164	3,60475038	0,304942786	0,304942786	0,092990103	3,90969316	15,28570064
8	276,3765	272,519989	3,856510986	3,60475038	0,251760609	0,251760609	0,063383404	3,85651099	14,87267699
9	276,4288	272,5660095	3,862790479	3,60475038	0,258040101	0,258040101	0,066584694	3,86279048	14,92115028
10	276,4613	272,5950012	3,866298779	3,60475038	0,261548402	0,261548402	0,068407566	3,86629878	14,94826625
11	276,5893	272,54599	4,04331001	3,60475038	0,438559632	0,438559632	0,192334551	4,04331001	16,34835584
12	276,6427	272,5939941	4,048705859	3,60475038	0,443955482	0,443955482	0,19709647	4,04870586	16,39201914
13	276,6441	272,6579895	3,986110498	3,60475038	0,38136012	0,38136012	0,145435541	3,9861105	15,8890769
14	276,6556	272,6789856	3,976614404	3,60475038	0,371864027	0,371864027	0,138282854	3,9766144	15,81346212
15	276,6106	272,7200012	3,890598779	3,60475038	0,285848402	0,285848402	0,081709309	3,89059878	15,13675886
16	276,5205	273,072998	3,447501953	3,60475038	-0,157248425	-0,157248425	0,024727067	3,44750195	11,88526972
17	276,7832	272,8959961	3,887203906	3,60475038	0,282453529	0,282453529	0,079779996	3,88720391	15,11035421
18	276,5287	272,9649963	3,563703662	3,60475038	-0,041046716	-0,041046716	0,001684833	3,56370366	12,69998379
19	276,4368	273,473999	2,962800977	3,60475038	-0,641949401	-0,641949401	0,412099034	2,96280098	8,778189627
20	276,4724	273,5180054	2,954394629	3,60475038	-0,650355749	-0,650355749	0,4229626	2,95439463	8,728447623
21	276,2908	273,6149902	2,675809766	3,60475038	-0,928940612	-0,928940612	0,862930661	2,67580977	7,159957902
22	276,2051	273,875	2,3301	3,60475038	-1,274650378	-1,274650378	1,624733585	2,3301	5,42936601
23	276,2157	273,8640137	2,351686328	3,60475038	-1,25306405	-1,25306405	1,570169512	2,35168633	5,530428586
24	276,212	273,7969971	2,41500293	3,60475038	-1,189747448	-1,189747448	1,41549899	2,41500293	5,83223915
25	276,2374	273,8120117	2,425388281	3,60475038	-1,179362096	-1,179362096	1,390894954	2,42538828	5,882508315
26	276,2398	273,8110046	2,428795361	3,60475038	-1,175955016	-1,175955016	1,3828702	2,42879536	5,899046907
27	276,2039	273,5509949	2,652905127	3,60475038	-0,951845251	-0,951845251	0,906009381	2,65290513	7,037905613
28	276,1979	273,2349854	2,962914648	3,60475038	-0,641835729	-0,641835729	0,411953103	2,96291465	8,778863214
29	276,7796	273,4570007	3,322599268	3,60475038	-0,28215111	-0,28215111	0,079609249	3,32259927	11,03966589
30	275,8483	273,6289978	2,219302197	3,60475038	-1,38544818	-1,38544818	1,919466661	2,2193022	4,925302243

31	275,8482	273,6289978	2,219202197	3,60475038	-1,38554818	-1,38554818	1,91974376	2,2192022	4,924858392
32	275,6849	273,6220093	2,062890723	3,60475038	-1,541859655	-1,541859655	2,377331196	2,06289072	4,255518134
33	276,4709	272,5899963	3,880903662	3,60475038	0,276153284	0,276153284	0,076260637	3,88090366	15,06141323
34	276,4765	272,006012	4,470488037	3,60475038	0,865737659	0,865737659	0,749501695	4,47048804	19,98526329
35	276,6124	272,4670105	4,145389502	3,60475038	0,540639124	0,540639124	0,292290663	4,1453895	17,18425412
36	276,5472	272,4370117	4,110188281	3,60475038	0,505437904	0,505437904	0,255467474	4,11018828	16,89364771
37	276,5653	272,4289856	4,136314404	3,60475038	0,531564027	0,531564027	0,282560314	4,1363144	17,10909685
38	276,5452	272,2909851	4,254214893	3,60475038	0,649464515	0,649464515	0,421804156	4,25421489	18,09834435
39	276,6218	272,1040039	4,517796094	3,60475038	0,913045716	0,913045716	0,83365248	4,51779609	20,41048154
40	276,6848	272,1210022	4,563797803	3,60475038	0,959047425	0,959047425	0,919771964	4,5637978	20,82825038
41	276,7234	272,105011	4,618389014	3,60475038	1,013638636	1,013638636	1,027463284	4,61838901	21,32951708
42	276,6523	271,8580017	4,794298291	3,60475038	1,189547913	1,189547913	1,415024238	4,79429829	22,9852961
43	276,5726	271,7669983	4,805601709	3,60475038	1,200851331	1,200851331	1,44204392	4,80560171	23,09380779
44	276,6149	271,7390137	4,875886328	3,60475038	1,27113595	1,27113595	1,615786605	4,87588633	23,77426748
45	276,0573	271,4949951	4,562304883	3,60475038	0,957554505	0,957554505	0,91691063	4,56230488	20,81462584
46	276,4785	271,8840027	4,594497314	3,60475038	0,989746937	0,989746937	0,979598999	4,59449731	21,10940557
47	276,5596	272,256012	4,303588037	3,60475038	0,698837659	0,698837659	0,488374074	4,30358804	18,52086999
48	276,3873	271,8439941	4,543305859	3,60475038	0,938555482	0,938555482	0,880886392	4,54330586	20,64162813
49	276,3441	271,821991	4,522109033	3,60475038	0,917358656	0,917358656	0,841546903	4,52210903	20,44947011
50	276,437	271,9719849	4,465015137	3,60475038	0,860264759	0,860264759	0,740055456	4,46501514	19,93636017
51	276,7796	273,4570007	3,322599268	3,60475038	-0,28215111	-0,28215111	0,079609249	3,32259927	11,03966589
52	276,1933	273,6199951	2,573304883	3,60475038	-1,031445495	-1,031445495	1,063879809	2,57330488	6,62189802
53	276,4283	273,4949951	2,933304883	3,60475038	-0,671445495	-0,671445495	0,450839053	2,93330488	8,604277536
54	276,4392	273,855011	2,584189014	3,60475038	-1,020561364	-1,020561364	1,041545498	2,58418901	6,678032858
55	276,7432	273,5230103	3,220189746	3,60475038	-0,384560632	-0,384560632	0,147886879	3,22018975	10,369622
56	276,3336	273,8280029	2,50559707	3,60475038	-1,099153307	-1,099153307	1,208137993	2,50559707	6,278016679
57	276,6111	273,9769897	2,634110254	3,60475038	-0,970640124	-0,970640124	0,94214225	2,63411025	6,93853683
58	277,4942	273,8059998	3,688200244	3,60475038	0,083449866	0,083449866	0,00696388	3,68820024	13,60282104
59	277,3591	273,6300049	3,729095117	3,60475038	0,12434474	0,12434474	0,015461614	3,72909512	13,90615039

60	277,0145	273,4549866	3,559513428	3,60475038	-0,04523695	-0,04523695	0,002046382	3,55951343	12,67013584
61	277,1109	273,2829895	3,827910498	3,60475038	0,22316012	0,22316012	0,049800439	3,8279105	14,65289878
62	277,2018	273,2890015	3,912798535	3,60475038	0,308048158	0,308048158	0,094893667	3,91279854	15,30999238
63	277,0204	273,3919983	3,628401709	3,60475038	0,023651331	0,023651331	0,000559385	3,62840171	13,16529896
64	277,0675	273,3890076	3,678492432	3,60475038	0,073742054	0,073742054	0,005437891	3,67849243	13,53130657
Somme							41,35347214		872,9838904
Moy									13,64037329
N-1									
Variance									
Ecart type									
Ecart type : Racine carré de la variance									
RMSE									
RMSE : Racine carré de la moyenne des carrés des erreurs au carré									

Tableau 1 : Tableau de comparaison GNSS_ArcGIS

III.2 Comparaison GNSS – Global Mapper

Les statistiques obtenues sont :

- Erreur moyenne : 10,05 m ;
- Écart-type : 2,41 m ; - RMSE : 10,33 m.

Global Mapper présente également une sous-estimation systématique, plus importante que celle observée avec ArcGIS.

N	Z1	Z3	Erreurs	Moyenne	Ecart a la Moy	Ecart a la Moy	Carré Ec M	Erreurs	Carré des Erreurs
1	278,2257	265,13	13,0957	10,05892188	3,036778125	3,036778125	9,22202138	13,0957	171,4973585
2	276	264,924	11,076	10,05892188	1,017078125	1,017078125	1,034447912	11,076	122,677776
3	275,7988	265,507	10,2918	10,05892188	0,232878125	0,232878125	0,054232221	10,2918	105,9211472
4	275,6397	265,671	9,9687	10,05892188	-0,090221875	-0,090221875	0,008139987	9,9687	99,37497969
5	276,2886	264,338	11,9506	10,05892188	1,891678125	1,891678125	3,578446129	11,9506	142,8168404
6	276,3166	264,195	12,1216	10,05892188	2,062678125	2,062678125	4,254641047	12,1216	146,9331866
7	276,3417	264,093	12,2487	10,05892188	2,189778125	2,189778125	4,795128237	12,2487	150,0306517
8	276,3765	264,139	12,2375	10,05892188	2,178578125	2,178578125	4,746202647	12,2375	149,7564063
9	276,4288	264,206	12,2228	10,05892188	2,163878125	2,163878125	4,68236854	12,2228	149,3968398
10	276,4613	264,275	12,1863	10,05892188	2,127378125	2,127378125	4,525737687	12,1863	148,5059077
11	276,5893	264,39	12,1993	10,05892188	2,140378125	2,140378125	4,581218518	12,1993	148,8229205
12	276,6427	264,411	12,2317	10,05892188	2,172778125	2,172778125	4,72096478	12,2317	149,6144849
13	276,6441	264,452	12,1921	10,05892188	2,133178125	2,133178125	4,550448913	12,1921	148,6473024
14	276,6556	264,485	12,1706	10,05892188	2,111678125	2,111678125	4,459184504	12,1706	148,1235044
15	276,6106	264,573	12,0376	10,05892188	1,978678125	1,978678125	3,915167122	12,0376	144,9038138
16	276,5205	264,9	11,6205	10,05892188	1,561578125	1,561578125	2,43852624	11,6205	135,0360203
17	276,7832	264,893	11,8902	10,05892188	1,831278125	1,831278125	3,353579571	11,8902	141,376856
18	276,5287	264,81	11,7187	10,05892188	1,659778125	1,659778125	2,754863424	11,7187	137,3279297

19	276,4368	265,989	10,4478	10,05892188	0,388878125	0,388878125	0,151226196	10,4478	109,1565248
20	276,4724	266,379	10,0934	10,05892188	0,034478125	0,034478125	0,001188741	10,0934	101,8767236
21	276,2908	267,301	8,9898	10,05892188	-1,069121875	-1,069121875	1,143021584	8,9898	80,81650404
22	276,2051	267,526	8,6791	10,05892188	-1,379821875	-1,379821875	1,903908407	8,6791	75,32677681
23	276,2157	267,51	8,7057	10,05892188	-1,353221875	-1,353221875	1,831209443	8,7057	75,78921249
24	276,212	266,815	9,397	10,05892188	-0,661921875	-0,661921875	0,438140569	9,397	88,303609
25	276,2374	266,758	9,4794	10,05892188	-0,579521875	-0,579521875	0,335845604	9,4794	89,85902436
26	276,2398	266,755	9,4848	10,05892188	-0,574121875	-0,574121875	0,329615927	9,4848	89,96143104
27	276,2039	265,083	11,1209	10,05892188	1,061978125	1,061978125	1,127797538	11,1209	123,6744168
28	276,1979	264,804	11,3939	10,05892188	1,334978125	1,334978125	1,782166594	11,3939	129,8209572
29	276,7796	266,453	10,3266	10,05892188	0,267678125	0,267678125	0,071651579	10,3266	106,6386676
30	275,8483	267,306	8,5423	10,05892188	-1,516621875	-1,516621875	2,300141912	8,5423	72,97088929
31	275,8482	267,306	8,5422	10,05892188	-1,516721875	-1,516721875	2,300445246	8,5422	72,96918084
32	275,6849	267,35	8,3349	10,05892188	-1,724021875	-1,724021875	2,972251425	8,3349	69,47055801
33	276,4709	264,344	12,1269	10,05892188	2,067978125	2,067978125	4,276533525	12,1269	147,0617036
34	276,4765	264,852	11,6245	10,05892188	1,565578125	1,565578125	2,451034865	11,6245	135,1290003
35	276,6124	264,332	12,2804	10,05892188	2,221478125	2,221478125	4,93496506	12,2804	150,8082242
36	276,5472	264,168	12,3792	10,05892188	2,320278125	2,320278125	5,383690577	12,3792	153,2445926
37	276,5653	264,078	12,4873	10,05892188	2,428378125	2,428378125	5,897020318	12,4873	155,9326613
38	276,5452	264,152	12,3932	10,05892188	2,334278125	2,334278125	5,448854365	12,3932	153,5914062

39	276,6218	264,908	11,7138	10,05892188	1,654878125	1,654878125	2,738621609	11,7138	137,2131104
40	276,6848	265,004	11,6808	10,05892188	1,621878125	1,621878125	2,630488652	11,6808	136,4410886
41	276,7234	265,366	11,3574	10,05892188	1,298478125	1,298478125	1,686045441	11,3574	128,9905348
42	276,6523	266,751	9,9013	10,05892188	-0,157621875	-0,157621875	0,024844655	9,9013	98,03574169
43	276,5726	269,254	7,3186	10,05892188	-2,740321875	-2,740321875	7,509363979	7,3186	53,56190596
44	276,6149	269,057	7,5579	10,05892188	-2,501021875	-2,501021875	6,255110419	7,5579	57,12185241
45	276,0573	268,034	8,0233	10,05892188	-2,035621875	-2,035621875	4,143756418	8,0233	64,37334289
46	276,4785	265,924	10,5545	10,05892188	0,495578125	0,495578125	0,245597678	10,5545	111,3974703
47	276,5596	264,39	12,1696	10,05892188	2,110678125	2,110678125	4,454962147	12,1696	148,0991642
48	276,3873	265,619	10,7683	10,05892188	0,709378125	0,709378125	0,503217324	10,7683	115,9562849
49	276,3441	265,461	10,8831	10,05892188	0,824178125	0,824178125	0,679269582	10,8831	118,4418656
50	276,437	265,149	11,288	10,05892188	1,229078125	1,229078125	1,510633037	11,288	127,418944
51	276,7796	266,453	10,3266	10,05892188	0,267678125	0,267678125	0,071651579	10,3266	106,6386676
52	276,1933	266,954	9,2393	10,05892188	-0,819621875	-0,819621875	0,671780018	9,2393	85,36466449
53	276,4283	266,544	9,8843	10,05892188	-0,174621875	-0,174621875	0,030492799	9,8843	97,69938649
54	276,4392	268,63	7,8092	10,05892188	-2,249721875	-2,249721875	5,061248515	7,8092	60,98360464
55	276,7432	268,19	8,5532	10,05892188	-1,505721875	-1,505721875	2,267198365	8,5532	73,15723024
56	276,3336	267,154	9,1796	10,05892188	-0,879321875	-0,879321875	0,77320696	9,1796	84,26505616
57	276,6111	271,674	4,9371	10,05892188	-5,121821875	-5,121821875	26,23305932	4,9371	24,37495641
58	277,4942	275,51	1,9842	10,05892188	-8,074721875	-8,074721875	65,20113336	1,9842	3,93704964

59	277,3591	275,268	2,0911	10,05892188	-7,967821875	-7,967821875	63,48618543	2,0911	4,37269921
60	277,0145	272,447	4,5675	10,05892188	-5,491421875	-5,491421875	30,15571421	4,5675	20,86205625
61	277,1109	270,746	6,3649	10,05892188	-3,694021875	-3,694021875	13,64579761	6,3649	40,51195201
62	277,2018	270,362	6,8398	10,05892188	-3,219121875	-3,219121875	10,36274565	6,8398	46,78286404
63	277,0204	268,884	8,1364	10,05892188	-1,922521875	-1,922521875	3,69609036	8,1364	66,20100496
64	277,0675	266,716	10,3515	10,05892188	0,292578125	0,292578125	0,085601959	10,3515	107,1535523
	Somme				643,771		366,8798454		6842,52204
	Moyenne				10,05892188				106,9144069
	N-1				63				
	Variance				5,82348961				
	Ecart Type				2,413190753				
	RMSE				10,33994231				

III.3 Comparaison des performances

Les valeurs de RMSE montrent clairement que les altitudes extraites sous ArcGIS sont plus proches des observations GNSS que celles obtenues sous Global Mapper.

N	Z1	Z2	Z3	Er 1	Er2	EM 1	EM 2	Ecart Type1	Ecart Type2	RMSE1	RMSE2
1	278,2257	273,023987	265,13	5,20171318	13,0957	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
2	276	272,88501	264,924	3,11499023	11,076	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
3	275,7988	272,71701	265,507	3,0817895	10,2918	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
4	275,6397	272,835999	265,671	2,80370146	9,9687	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
5	276,2886	272,138	264,338	4,15059951	11,9506	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
6	276,3166	272,25	264,195	4,0666	12,1216	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
7	276,3417	272,432007	264,093	3,90969316	12,2487	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
8	276,3765	272,519989	264,139	3,85651099	12,2375	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
9	276,4288	272,56601	264,206	3,86279048	12,2228	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
10	276,4613	272,595001	264,275	3,86629878	12,1863	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
11	276,5893	272,54599	264,39	4,04331001	12,1993	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
12	276,6427	272,593994	264,411	4,04870586	12,2317	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
13	276,6441	272,65799	264,452	3,9861105	12,1921	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
14	276,6556	272,678986	264,485	3,9766144	12,1706	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
15	276,6106	272,720001	264,573	3,89059878	12,0376	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
16	276,5205	273,072998	264,9	3,44750195	11,6205	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
17	276,7832	272,895996	264,893	3,88720391	11,8902	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
18	276,5287	272,964996	264,81	3,56370366	11,7187	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
19	276,4368	273,473999	265,989	2,96280098	10,4478	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
20	276,4724	273,518005	266,379	2,95439463	10,0934	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
21	276,2908	273,61499	267,301	2,67580977	8,9898	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
22	276,2051	273,875	267,526	2,3301	8,6791	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
23	276,2157	273,864014	267,51	2,35168633	8,7057	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
24	276,212	273,796997	266,815	2,41500293	9,397	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
25	276,2374	273,812012	266,758	2,42538828	9,4794	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423

26	276,2398	273,811005	266,755	2,42879536	9,4848	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
27	276,2039	273,550995	265,083	2,65290513	11,1209	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
28	276,1979	273,234985	264,804	2,96291465	11,3939	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
29	276,7796	273,457001	266,453	3,32259927	10,3266	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
30	275,8483	273,628998	267,306	2,2193022	8,5423	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423

31	275,8482	273,628998	267,306	2,2192022	8,5422	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
32	275,6849	273,622009	267,35	2,06289072	8,3349	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
33	276,4709	272,589996	264,344	3,88090366	12,1269	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
34	276,4765	272,006012	264,852	4,47048804	11,6245	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
35	276,6124	272,46701	264,332	4,1453895	12,2804	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
36	276,5472	272,437012	264,168	4,11018828	12,3792	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
37	276,5653	272,428986	264,078	4,1363144	12,4873	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
38	276,5452	272,290985	264,152	4,25421489	12,3932	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
39	276,6218	272,104004	264,908	4,51779609	11,7138	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
40	276,6848	272,121002	265,004	4,5637978	11,6808	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
41	276,7234	272,105011	265,366	4,61838901	11,3574	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
42	276,6523	271,858002	266,751	4,79429829	9,9013	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
43	276,5726	271,766998	269,254	4,80560171	7,3186	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
44	276,6149	271,739014	269,057	4,87588633	7,5579	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
45	276,0573	271,494995	268,034	4,56230488	8,0233	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
46	276,4785	271,884003	265,924	4,59449731	10,5545	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
47	276,5596	272,256012	264,39	4,30358804	12,1696	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
48	276,3873	271,843994	265,619	4,54330586	10,7683	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
49	276,3441	271,821991	265,461	4,52210903	10,8831	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
50	276,437	271,971985	265,149	4,46501514	11,288	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
51	276,7796	273,457001	266,453	3,32259927	10,3266	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
52	276,1933	273,619995	266,954	2,57330488	9,2393	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423

53	276,4283	273,494995	266,544	2,93330488	9,8843	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
54	276,4392	273,855011	268,63	2,58418901	7,8092	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
55	276,7432	273,52301	268,19	3,22018975	8,5532	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
56	276,3336	273,828003	267,154	2,50559707	9,1796	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
57	276,6111	273,97699	271,674	2,63411025	4,9371	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
58	277,4942	273,806	275,51	3,68820024	1,9842	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
59	277,3591	273,630005	275,268	3,72909512	2,0911	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
60	277,0145	273,454987	272,447	3,55951343	4,5675	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
61	277,1109	273,28299	270,746	3,8279105	6,3649	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
62	277,2018	273,289001	270,362	3,91279854	6,8398	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
63	277,0204	273,391998	268,884	3,62840171	8,1364	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423
64	277,0675	273,389008	266,716	3,67849243	10,3515	3,60475038	10,0589219	0,81018783	2,413190753	3,6432876	10,3399423

Tableau 3 : Tableau de comparaison des Altitudes, des Ecartes moyennes, Ecartes types et RMSE

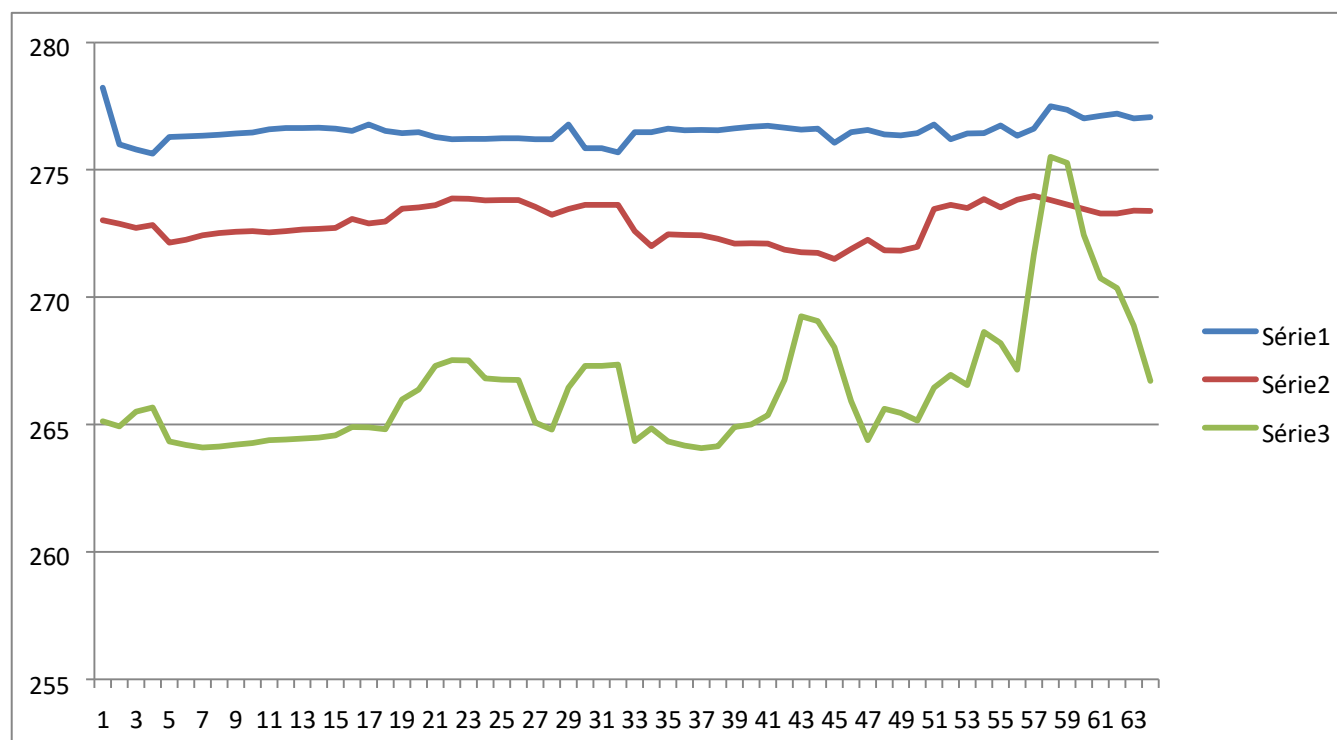


Figure 2 : Graphique de Comparaison Altimétrique (GNSS_Arc GIS_Global Mapper)

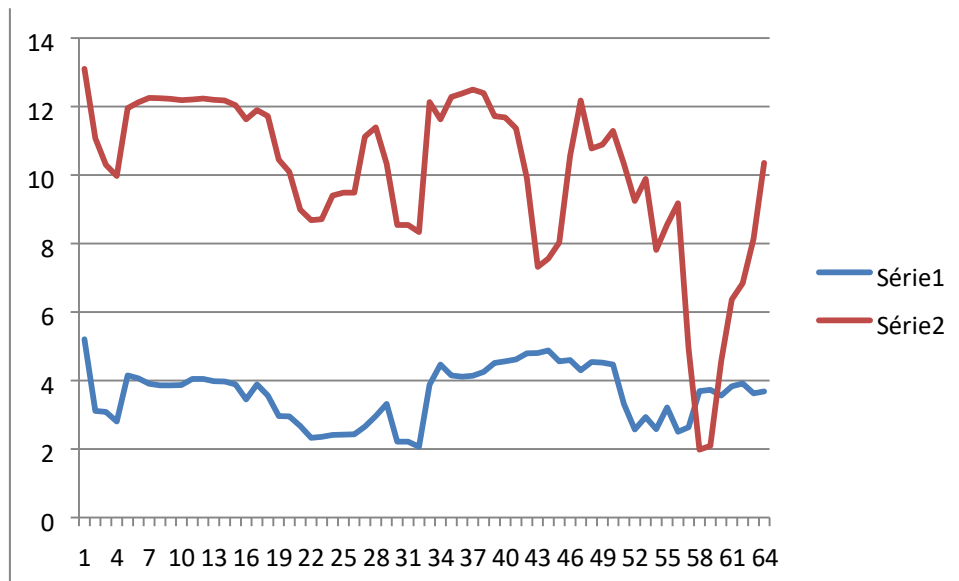


Figure 3 : Graphique de Comparaison des Ecart altimétriques (GNSS_Arc GIS_Global & GIS_Global Mapper)

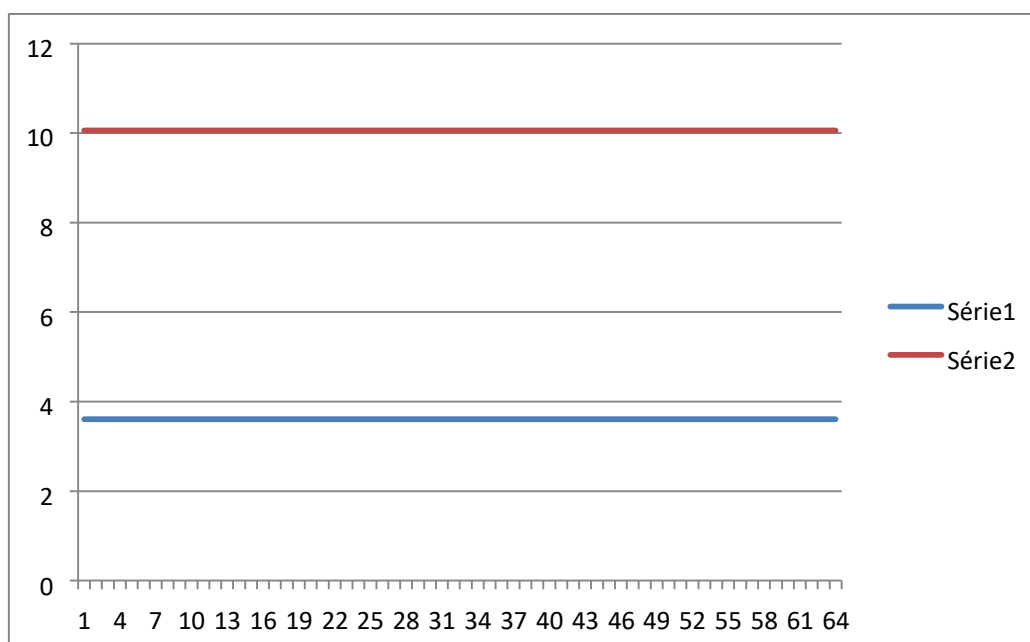


Figure 4 : Graphique de Comparaison des Ecart moyens (GNSS_Arc GIS_Global & GIS_Global Mapper)

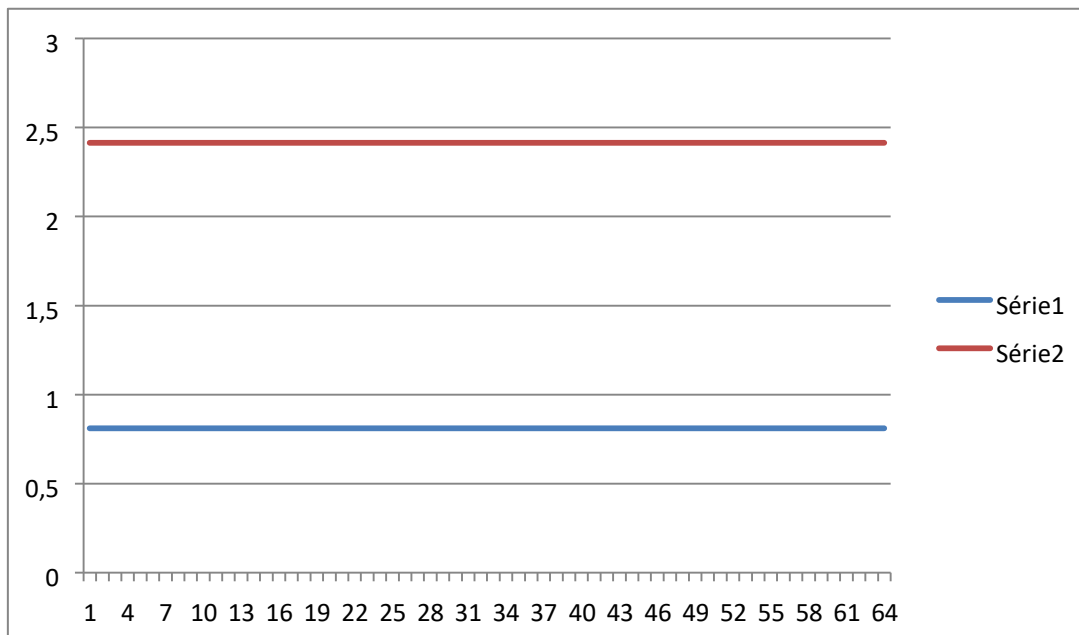


Figure 5 : Graphique de Comparaison des Ecart Type (GNSS_Arc GIS_Global & GIS_Global Mapper)

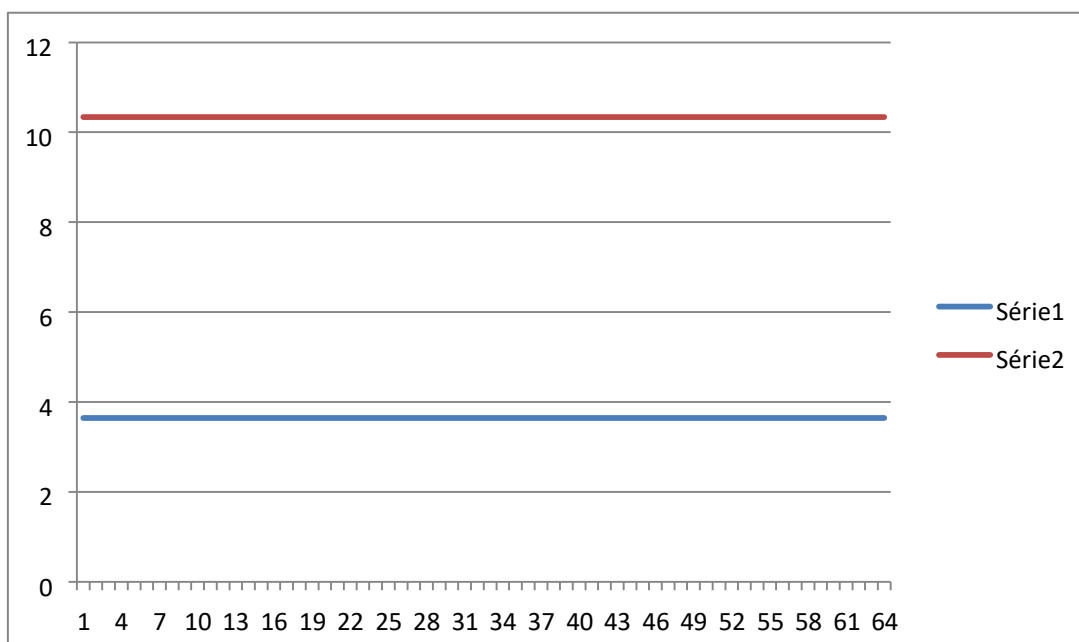


Figure 6 : Graphique de Comparaison des Ecart RSME (GNSS_Arc GIS_Global & GIS_Global Mapper)

IV. Discussion

Les écarts observés peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs :

- Résolution spatiale des modèles numériques utilisés ;

- Différences dans les méthodes d'interpolation ; - Erreurs de géo-référencement ; - Qualité des données sources.

La meilleure performance d'ArcGIS suggère une meilleure adaptation du modèle utilisé aux caractéristiques topographiques de la zone étudiée.

Cependant, les écarts restent significatifs pour des applications nécessitant une forte précision altimétrique, telles que les études d'infrastructures routières, les projets hydrauliques ou les levés cadastraux.

V. CONCLUSION

Cette étude a permis d'évaluer la précision altimétrique de deux méthodes d'extraction de données altimétriques en les comparant à des observations GNSS.

Les résultats montrent que :

- ArcGIS présente un RMSE de 3,64 m ;
- Global Mapper présente un RMSE de 10,33 m ;
- ArcGIS fournit les estimations les plus proches des mesures GNSS.

Il est recommandé de réaliser une validation terrain par GNSS lorsque des exigences de précision élevées sont requises.

Références bibliographiques

Burrough, P.A. & McDonnell, R.A. (1998). Principles of Geographical Information Systems.

Li, Z., Zhu, Q., Gold, C. (2005). Digital Terrain Modeling.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E. (2008). GNSS – Global Navigation Satellite Systems.

ESRI. ArcGIS Pro Documentation.