

Surveillance géodésique d'infrastructures par interférométrie radar terrestre

■ Matthieu REBMEISTER

Cet article constitue un résumé étendu de la thèse Geodetic monitoring of complex shaped infrastructures using Ground-Based InSAR réalisée à l'Institut de photogrammétrie et télédétection (IPF) - Karlsruhe Institut für Technologie. Malgré le souhait d'aborder le sujet de manière la plus complète possible, certains aspects n'ont pu être évoqués.

Pour une compréhension approfondie des problématiques rencontrées et des solutions proposées, le lecteur intéressé est invité à consulter l'ouvrage complet. La nécessité accrue d'utiliser des sources d'énergies renouvelables dans le contexte du changement climatique confirme tout l'intérêt et l'attractivité à utiliser de façon optimale l'énergie produite par les barrages hydrauliques. Cette étude explore les possibilités du radar à synthèse d'ouverture terrestre (RSOT, angl. : GB-SAR) en tant qu'outil potentiel pour évaluer la sécurité des barrages. Jusqu'à présent, son utilisation est restée marginale, phénomène lié à sa sensibilité aux changements atmosphériques et aux complexités de traitement du signal. Des stratégies ont été élaborées dans cette étude pour améliorer les capacités du RSOT, notamment l'estimation précise de la localisation du capteur et de son orientation, essentielle pour un géocodage précis de l'image. Des défis persistent avec les structures verticales, traités par des modèles d'intensité bayésiens pour un géocodage amélioré. L'étude de cas principale a été réalisée sur le barrage Enguri en Géorgie en mettant en œuvre une surveillance continue durant deux ans qui a permis de valider la précision du GB-SAR, en produisant des résultats s'alignant étroitement sur des simulations numériques et les données GNSS. La thèse conclut que le GB-SAR améliore les capacités de surveillance des barrages et constitue un complément précieux aux capteurs existants pour les observations géodésiques aussi bien à long terme que pour les besoins opérationnels à court terme.

■ MOTS-CLÉS

Ground-based InSAR, auscultation, barrage, déformation, géoréférencement

traitement des données difficile. Les algorithmes couramment utilisés sont adaptés à une surveillance de scénarios naturels, afin de détecter des mouvements rapides et inattendus. Pour une surveillance géodésique des ouvrages, plusieurs chaînes de traitement ont été développées, e.g. (Qiu et al., 2020) et (Wang et al., 2020). En revanche, aucune d'elle n'a été appliquée au-delà d'une durée de quelques jours.

L'étude propose plusieurs améliorations, distinguables en deux catégories :
 - Géométrie : En améliorant le géoréférencement et le géocodage, la chaîne de traitement du signal et l'interprétation des résultats sont optimisées. De plus, la fusion avec d'autres systèmes de mesure est rendue possible.
 - Interférométrie : En améliorant la chaîne de traitement des images radar, la surveillance des barrages est rendue possible sur plusieurs années.

■ Étude de cas

Cette thèse s'est inscrite dans le cadre du projet DAMAST (*Dams and induced Seismicity – Technologies for risk reductions*) (Mueller and Strauss, 2019). L'objet de l'étude est le barrage d'Enguri en Géorgie. C'est un barrage en voûte de 272 m de haut ayant la particularité d'être localisé sur la faille sismique d'Ingrishi. Actuellement, huit lignes de pendules permettent de surveiller les déplacements relatifs de la voûte, et des mesures tachéométriques réalisées une à deux fois par an permettent de déterminer les déformations absolues (toutefois, ce terme est à utiliser précautionneusement, le déplacement étant relatif aux points considérés fixes du réseau). Le RSOT installé émet un signal avec une longueur d'onde de 17 mm sur une bande passante de 200 MHz, induisant une résolution en distance de 0.75 m. La longueur du rail de 2 m permet

Introduction

■ Contexte

La surveillance des barrages est un aspect fondamental permettant d'assurer leur fonctionnement en toute sécurité et répondre aux obligations réglementaires. Plusieurs systèmes de mesures sont implémentés par barrage. Les pendules et le réseau géodésique 3D sont les plus répandus du fait de leur fiabilité et de leur complémentarité. La première méthode détermine les déplacements absolus, tandis que la seconde permet l'estimation des déplacements relatifs entre les extrémités des pendules. D'autres méthodes sont parfois utilisées dans certaines configurations et

dans une perspective d'évaluation, mais n'ont pas encore été généralisées. Parmi celles-ci, on peut citer notamment les techniques GNSS, le laser scanner et l'interférométrie radar satellite et terrestre [Scaioni et al., 2018].

Parmi les futurs systèmes présentant des perspectives prometteuses pour assurer une surveillance continue et optimale, le radar à synthèse d'ouverture terrestre (RSOT, angl. : *Ground-Based Synthetic Aperture Radar*) figure en bonne place, car combine une haute résolution spatiale et temporelle avec une précision de mesure de déplacement submillimétrique. Cependant, la complexité de l'acquisition et du signal reçu rend le



d'obtenir une résolution en azimut de $4.4 \text{ mrad} \sim 0.25^\circ$. Une visualisation de la grille raster obtenue est disponible en *figure 2*. Une acquisition est réalisée toutes les deux minutes, correspondant approximativement à 750 images SLC (*Single Look Complex*) par jour.

Trois fondations ont été construites afin de déplacer facilement le radar et de réaliser des acquisitions à partir de différents endroits. Une station est continue ; le RSOT mesure jour et nuit sans interruption, permettant un suivi continu des mouvements du barrage. Cependant, afin d'avoir accès à un lieu sécurisé et disposant d'un raccordement l'électricité, un compromis relatif à la visibilité complète du barrage a dû être recherché. Deux autres stations ont été installées, plus proches du barrage, afin de couvrir l'entièreté de la structure. Des mesures sont réalisées à ces emplacements deux fois par an, en prêtant attention à ce que les niveaux d'eau soient différents entre les campagnes.

L'emplacement des stations ainsi que le point de vue de la station continue sont illustrés en *figure 1*. La station Warehouse est l'emplacement de mesures continues, Georges et Pavel sont les emplacements de mesures discontinues. Cette dernière dispose de la particularité de posséder deux orientations différentes qui, fusionnées, permettent de couvrir l'ensemble de la voûte depuis le même point de vue.

Géométrie

Lorsqu'on évoque la surveillance d'ouvrage, les premières questions qui viennent à l'esprit sont : Quelles sont les amplitudes du mouvement ? Avec quelle précision a-t-il été observé ?... Une question moins fréquente dont la réponse est non triviale avec un RSOT est : Où sont localisés les points observés ? En effet, les systèmes RSOT projettent le monde 3D en une image 2D avec une projection particulière, illustrée à l'aide de la *figure 2*.

Les pixels de l'image sont formés par les intersections d'isosphères liées à la mesure de distance et d'isocones liés à la mesure de l'effet Doppler. L'intersection de ces deux formes représente l'ensemble de l'espace 3D qui est projeté au sein du même pixel 2D et est représenté spécifiquement au-dessus d'un pixel en *figure 2*. Pour les structures verticales, il peut donc être difficile d'interpréter la provenance du signal. Cette partie consacrée à la géométrie est divisée en deux sections : Une première est consacrée au géoréférencement, tandis que la seconde est consacrée au géocodage.

■ Géoréférencement du RSOT

Le géoréférencement d'un RSOT est une tâche difficile lorsqu'il s'agit d'atteindre une haute précision. En supposant l'horizontalité du système, quatre paramètres sont à déterminer : les coordonnées X, Y et Z du

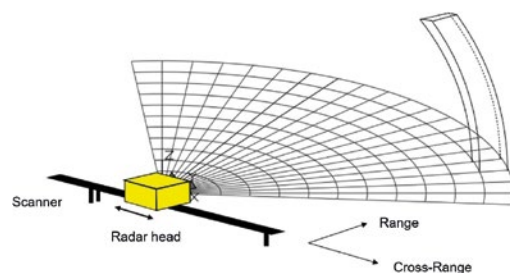


Figure 2. RSOT et grille de résolution obtenue.

centre de phase, ainsi que l'orientation du système par rapport au Nord. Ce dernier paramètre est fondamental, car demeure le plus difficilement mesurable. En effet, le scénario classique est l'utilisation d'un système GNSS en RTK pour mesurer les coordonnées des extrémités du rail. En effectuant la moyenne des deux mesures, cela permet de déterminer les coordonnées du centre avec une précision de l'ordre de 2 à 3 cm. Considérant la taille des pixels ($0.75 \text{ m} \times 0.25^\circ = 0.75 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ à 1 km), cette précision est largement suffisante. En revanche, en calculant l'angle par rapport au Nord avec ces deux mesures, la précision usuelle sera de 0.8° , ce qui représente 12 m à une distance de 1 km. Cette dernière valeur est très importante, car elle représente un décalage potentiel de plusieurs pixels.

Afin d'atteindre une précision inférieure à la taille d'un pixel, une solution consiste à installer des réflecteurs en acier (angl. : *corner reflectors*) et de mesurer leurs coordonnées 3D. Par

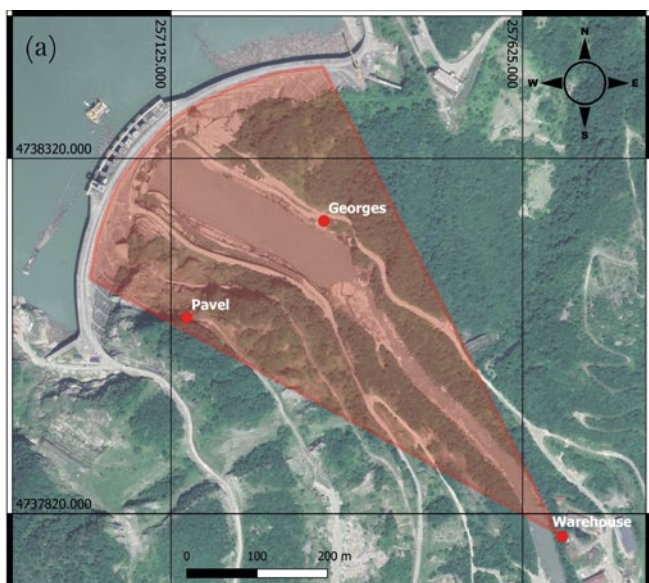


Figure 1. (a) ©Google Earth - Localisation des trois stations et (b) point de vue depuis la station Warehouse.

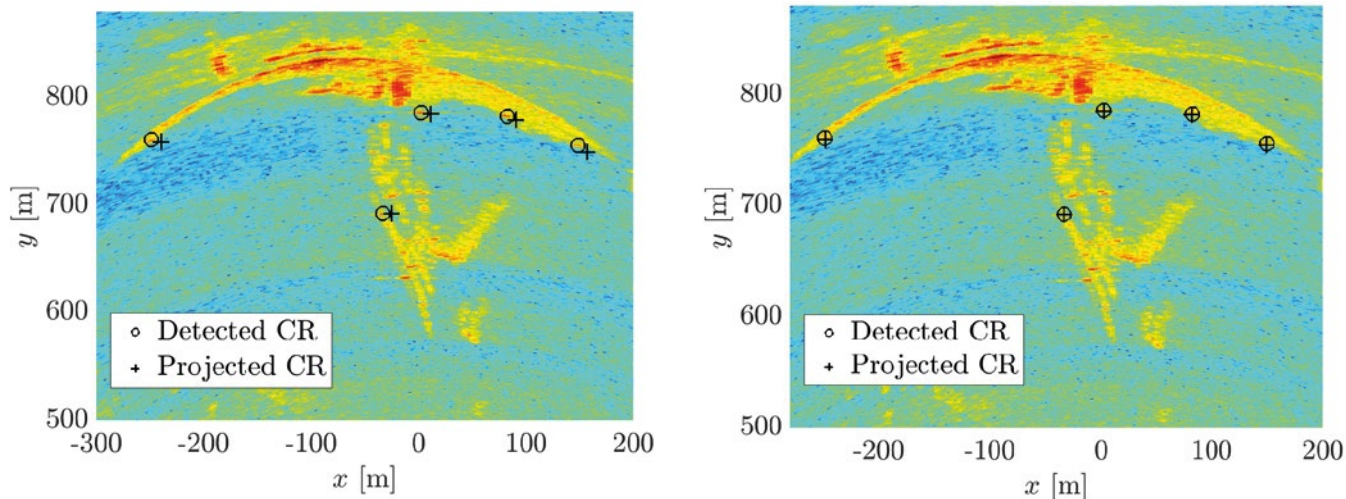


Figure 3. Comparaison du géoréférencement avant et après l'application de l'algorithme proposé.



la suite, ces réflecteurs sont facilement identifiables sur l'image radar, et un ajustement par la méthode des moindres carrés permet de retrouver la valeur des paramètres cherchés. Ce procédé permet d'atteindre une très haute précision, mais n'est, en revanche, pas applicable dans tous les scénarios. En considérant, par exemple, la surveillance de glaciers ou de glissements de terrain, il est, dans certains cas, impossible d'accéder à la zone étudiée. De même, l'installation et la mesure de ces éléments requièrent un temps long.

Afin d'éviter l'installation de ces réflecteurs, une méthode a été implémentée pour ajuster ces paramètres en se servant uniquement du modèle 3D et de coordonnées approximatives. Dans l'ouvrage principal, il a été montré qu'en première approximation, les erreurs d'orientation et de positionnement peuvent être compensées de manière séquentielle.

La méthodologie est basée sur un algorithme de *ray-tracing* permettant la simulation d'images satellites SAR (Auer, 2011), dont le modèle géométrique a été adapté afin de correspondre aux systèmes terrestres. À partir des coordonnées approximatives et du modèle 3D de la scène, une image SAR est simulée. En calculant diverses corrélations entre l'image vraie et l'image simulée, il est possible de déterminer les décalages correspondant aux écarts entre la position approximative et la position réelle.

Afin de vérifier la méthodologie, plusieurs réflecteurs ont été installés sur le barrage d'Enguri et ont pu être identifiés sur l'image radar. Les paramètres de position et d'orientation du RSOT ont été déterminés par positionnement GNSS RTK des extrémités du rail avec une précision de 2 cm. La figure 3 représente la qualité du géoréférencement en utilisant unique-

ment les mesures GNSS (gauche), et en utilisant l'algorithme proposé (droite). Le fond de l'image est l'amplitude du signal observé. Les cercles correspondent à la position des réflecteurs trouvés, tandis que les croix correspondent à la position 3D des réflecteurs, projetés sur la géométrie de l'image SAR. Cette projection nécessite la connaissance des paramètres du RSOT. Un décalage non négligeable de presque 10 mètres est observable lorsque les mesures GNSS seules sont utilisées. L'influence de ce décalage sur le géocodage subséquent est non négligeable, car il compromet l'interprétation de toute la partie gauche de la voûte, comme montré sur la figure 4.

■ Approche bayésienne pour le géocodage

Le géocodage permet de résoudre la projection de l'image radar 2D vers les coordonnées 3D. Cette partie est résumée

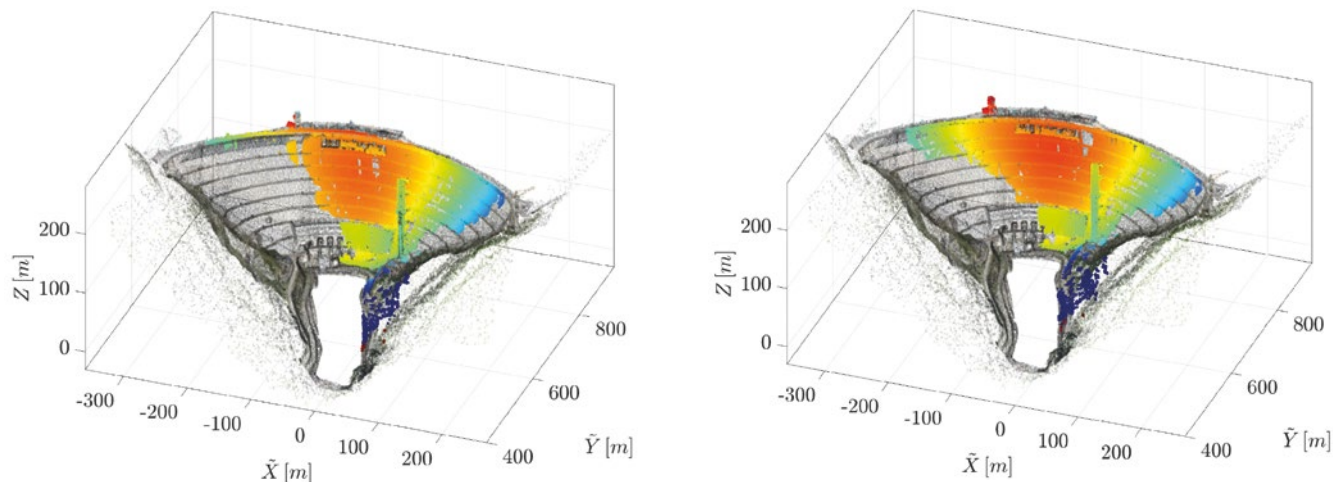


Figure 4. Comparaison du géocodage subséquent au géoréférencement, sans (gauche) et avec l'algorithme de correction développé (droite).

plus

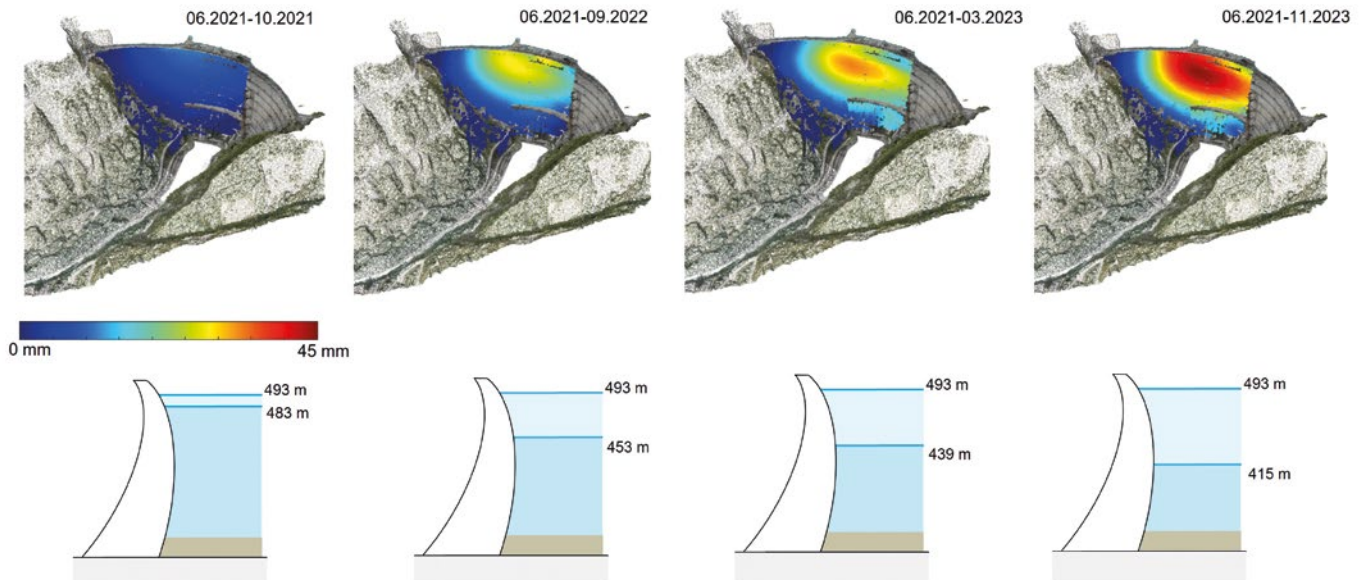


Figure 5. Résultats après traitement des données du GB-SAR issues de la station Georges.

succinctement que les autres, car une très grande partie de la méthode et des résultats est présentée dans (Rebmeister et al., 2022).

Une fois le système positionné, l'image 2D doit être projetée sur le modèle 3D disponible. Lorsque le scénario considéré est relativement plat, peu de problèmes sont relevés. En revanche, pour le cas des structures verticales, la projection d'éléments avec des élévations très différentes au sein du même pixel pose problème lors de l'identification de la source du signal. Afin de réduire l'incertitude, le simulateur d'images SAR par *ray-tracing* est à nouveau utilisé afin de comprendre le chemin complet des signaux reçus pour chaque pixel. Combiné à un modèle d'intensité basé sur l'angle d'incidence du signal et le pattern de l'antenne, ce résultat est utilisé dans un modèle bayésien afin de géocoder l'image radar de la manière la plus probable. Des mesures tomographiques ont également été acquises et traitées afin de compléter le modèle et d'augmenter sa véracité par des données issues de vraies mesures.

Interférométrie

■ Surveillance discontinue

La surveillance discontinue est intéressante pour cartographier les déplacements du barrage entre deux instants avec une haute densité spatiale et une grande précision de mesure. En revanche, comme évoqué précédemment, la géométrie d'un barrage

est peu adaptée au géocodage. Cette complexité se traduit également lors du traitement interférométrique. La forte compression de la structure lors de la projection sur l'image radar rend les changements de phases très denses, ce qui peut poser un problème lors du dépliage de phase. Dans l'ouvrage principal, une solution est proposée afin de modifier la géométrie du traitement de signal, impliquant une amélioration considérable de la qualité des résultats. Dans les solutions proposées habituellement, e.g. (Crosetto et al., 2014), le géocodage est la dernière étape de la chaîne de traitement. Les images radar sont traitées dans leur géométrie initiale, et les déplacements sont géocodés. Dans le processus proposé, le géocodage est effectué directement après la formation des interférogrammes, donnant accès aux coordonnées 3D des points mesurés. Une projection optimale basée sur ces coordonnées 3D est appliquée, afin de retransformer l'ensemble en une image 2D et de pouvoir utiliser les algorithmes InSAR classiques de filtrage et de dépliage de phase. Cette méthode permet d'assurer une continuité spatiale du signal, qui n'est pas assurée dans la géométrie 2D classique à cause des distorsions induites et intrinsèques au RSOT.

Une correction du signal observé a également été implémentée et utilisée selon un modèle spatial. Lors de mesures par époques, deux effets majeurs perturbent le signal : les variations atmosphériques et le repositionnement de l'instrument. Selon (Hu

et al., 2021), un modèle multilinéaire a été implémenté afin d'extraire au mieux le déplacement en réduisant simultanément la composante atmosphérique et la composante de repositionnement. Cependant, ces méthodes ne sont efficaces que lorsqu'aucun déplacement ne se produit sur la majorité du scénario observé, ce qui n'est absolument pas valide dans le cas de la surveillance d'un barrage. La seule solution offerte est de sélectionner les zones supposées stables au préalable, d'estimer le modèle paramétrique uniquement sur ces zones, et d'interpoler/extrapoler le résultat pour l'ensemble des points. Cette méthode n'est pas optimale et des investigations complémentaires sont nécessaires.

Pour la station Georges, les déplacements extraits en fonction du niveau d'eau sont indiqués à la figure 5. La corrélation entre le niveau d'eau et l'amplitude du déplacement est élevée. Il est à rappeler que le déplacement affiché est projeté selon un vecteur différent pour chaque point, correspondant à la direction RSOT-PS et dénommée LOS (angl. : *Line Of Sight*). Le motif de déplacement est légèrement excentré vers la rive gauche.

Les déplacements extraits des mesures RSOT ont pu être comparés à un modèle numérique dont les calculs ont été élaborés par l'entreprise Artelia. Ce dernier est basé sur un modèle de maillage du barrage et des rochers attenants, contenant les paramètres physiques des matériaux tels que les modules d'Young. Ces valeurs sont estimées grâce aux mesures réalisées par



les pendules installés dans le barrage durant la période 2000 à 2020. Plus de détails sur le modèle numérique ainsi que la comparaison depuis la station Georges sont disponibles dans l'article (Rebmeister et al., 2023).

■ Surveillance continue

La surveillance continue présente de nombreux défis, le principal étant le dépliage de phase. En effet, cette étape constitue une problématique sous-déterminée ne possédant pas de solutions analytiques exactes et certaines. Plusieurs hypothèses permettent de réduire les erreurs lors du dépliage de phase, mais aucune ne permet de disposer d'une solution certaine. Le nombre d'acquisitions disponibles avec un RSOT est souvent vu comme un atout pour cette étape, car la probabilité d'observer des grands sauts de phase entre deux minutes est très faible. En revanche, dans ce cas, nous nous intéressons à une surveillance durant plusieurs années, ce qui conduit rapidement à plusieurs centaines de milliers d'acquisitions disponibles. De ce point de vue, il est très probable que des turbulences atmosphériques perturbent le signal à certains moments, entachant d'erreurs les hypothèses du dépliage de phase et par conséquent, cela conduit à une intégration du signal inexact.

Afin d'exploiter au mieux les résultats des acquisitions réalisées durant la période d'avril 2021 à septembre 2023, une chaîne de traitement spécifique a été développée. L'idée principale est de réduire considérablement le nombre d'acquisitions, en moyennant des

images SAR réalisées la nuit, entre 1 h et 5 h du matin. En effet, la période nocturne présente des conditions atmosphériques habituellement plus stables, et moyennant des acquisitions permet également d'augmenter le rapport signal sur bruit. Plusieurs quantités statistiques, telles que la dispersion d'amplitude, sont utilisées afin de considérer les scènes avec le minimum de bruit pour la construction de ces images moyennes. Une seule acquisition par jour est calculée, ce qui est largement suffisant dans le contexte de l'auscultation d'un barrage.

Dans un deuxième temps, plusieurs optimisations spécifiques ont été réalisées dans la chaîne de traitement, afin d'accroître sa robustesse. On peut citer la création d'un graphe SBAS (angl. : *Small Baseline Subsets*) et son intégration en minimisant la norme L_1 , ainsi que l'utilisation de techniques de lissage et d'estimation de précision incluses dans la FDA (angl. : *Functional Data Analysis*).

Figures 6 et 7 présentent les résultats qu'il est possible d'obtenir avec un RSOT et la chaîne de traitement proposée. Les courbes de déformation sur la figure 6, correspondent aux quatre points accentués sur la figure 7. Le niveau d'eau dans le réservoir est représenté par la ligne noire pointillée. La très forte corrélation des déplacements et du niveau d'eau témoigne de l'importante influence de ce dernier sur les déformations de la structure. Les valeurs des mesures RSOT sont représentées par les points, les courbes FDA sont données avec les courbes pleines. La précision donnée sous les courbes

correspond à la précision moyenne de chaque série temporelle lissée. L'intervalle de confiance à 95 % est représenté sous forme de patch autour de la courbe.

La station Warehouse étant bien plus éloignée de la voûte que la station Georges, la densité de points observée sur le barrage est nettement plus faible. Cependant le motif observé est cohérent avec celui de la station Georges, car la déformation maximale est également excentrée sur la gauche.

Dans l'ouvrage principal, les résultats sont comparés aux déplacements fournis par quatre antennes GNSS installées sur la crête du barrage en avril 2023. Cette comparaison permet de mettre en évidence l'importance du choix du point de référence lors du traitement InSAR. Plus le point de référence est loin du barrage, plus les déformations observées sont proches des déformations absolues, mais perdent en précision. À l'inverse, un point de référence choisi à l'extrémité du mur ne recouvrera pas les déplacements absolus, mais permettra d'observer ces déplacements relatifs avec une grande précision.

Une seconde comparaison a été effectuée avec le modèle numérique calculé par Artelia et a permis de mettre en évidence la consistance des mesures RSOT. En simplifiant, le modèle de déformation est calculé entre deux niveaux d'eau et deux écarts de température. Lors de la surveillance continue, ces différences de valeurs ont pu être observées trois fois et mènent à une conclusion similaire : le modèle et les données RSOT sont similaires dans la

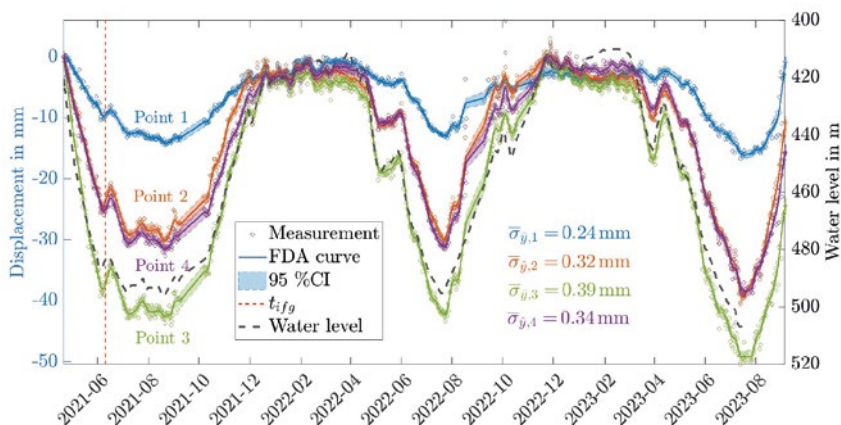


Figure 6. Séries temporelles des déplacements de quatre points du barrage.

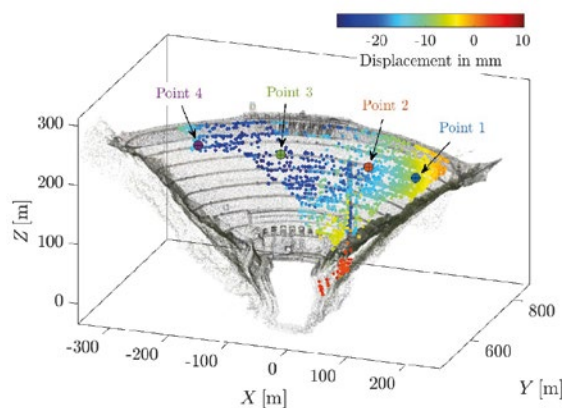


Figure 7. Déplacement du barrage et localisation des quatre points étudiés en figure 6.



grande majorité de la surface de l'ouvrage. La seule différence notable se situe au niveau d'une zone de la structure ou la ligne de pendule n'atteint pas le sommet de la crête, signifiant que le modèle est plus difficilement calibré. Dès lors, il serait intéressant de confirmer cette différence par une deuxième méthode de mesure indépendante. Une fois plus de données acquises, les antennes GNSS sur la crête pourraient contribuer à cet objectif.

Conclusion

Cette étude visait à explorer le potentiel du GB-SAR utilisé pour la surveillance des infrastructures à grande échelle, en particulier des barrages hydrauliques. Bien que le GB-SAR offre des avantages notables ; tels qu'une imagerie haute résolution et une grande précision, ses limitations peuvent entraver son efficacité à cet effet spécifique. Grâce à un ensemble considérable de données acquises au barrage d'Enguri en Géorgie, cette recherche a développé des méthodes et des algorithmes permettant d'optimiser l'utilisation du GB-SAR pour la surveillance géodésique. Trois contributions majeures ont été introduites pour améliorer le traitement des données du GB-SAR pour cette application spécifique.

La première contribution a été axée sur la géométrie d'acquisition. La deuxième a été le développement de techniques de traitement interférométrique pour la surveillance des barrages. Ces deux parties ont été évaluées à travers diverses comparaisons afin d'assurer que le GB-SAR est un capteur supplémentaire fiable pour la surveillance continue des barrages.

L'utilisation de ces techniques a permis une amélioration significative de la précision de la localisation des points observés dans le cas de la surveillance d'infrastructures complexes. Cette précision s'avère cruciale lors de l'interprétation des résultats ou lors de la combinaison/comparaison du RSOT avec d'autres capteurs.

En conclusion, cette étude a démontré que le GB-SAR peut être un outil fiable et intéressant pour la surveillance à long

terme des barrages, notamment pour la détection des anomalies et des mouvements potentiels dans les structures à condition d'utiliser des algorithmes de traitement spécifiques. Bien que des contraintes subsistent, telles que l'installation de capteurs météorologiques afin de corriger l'influence des turbulences, le GB-SAR présente une très bonne complémentarité avec les méthodes géodésiques traditionnelles.

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes ayant contribué à cette thèse, notamment Andreas Schenk et Stefan Hinz de l'IPF, pour leurs accompagnements, conseils et soutien tout au long de ces trois années. Il est également à souligner que cette étude a pu être réalisée grâce au soutien financier pour le financement du projet DAMAST par le *Bundesministerium für Bildung und Forschung*. ●

Contact

Matthieu REBMEISTER
Leica Geosystems (Heerbrugg)
matthieu.rebmeister@leica-geosystems.com

Références

- [Auer, 2011] Auer, S. (2011). *3D Synthetic Aperture Radar Simulation for Interpreting Complex Urban Reflection Scenarios*. Thèse de doctorat, TU München.
- [Crosetto et al., 2014] Crosetto, M., Monserrat, O., Luzi, G., Cuevas-González, M., and Devanathéry, N. (2014). *Discontinuous gbsar deformation monitoring*. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 93:136-141.
- [Hu et al., 2021] Hu, C., Zhu, J., Deng, Y., Tian, W., and Yin, P. (2021). *Repositioning error compensation in discontinuous ground-based sar monitoring*. Remote Sensing, 13(13):2461.
- [Mueller and Strauss, 2019] Mueller, B. and Strauss, B. (2019). *Damast web site*. <https://www.damast-caucasus.de/68.php>. Accessed on 2023.08.12.
- [Qiu et al., 2020] Qiu, Z., Jiao, M., Jiang, T., and Zhou, L. (2020). *Dam structure deformation monitoring by gb-insar approach*. IEEE Access, 8:123287-123296.
- [Rebmeister, 2024] Rebmeister, M. (2024). *Geodetic monitoring of complex-shaped infrastructures using Ground-Based InSAR*,

Thèse de doctorat. Karlsruher Institut für Technologie.

- [Rebmeister et al., 2023] Rebmeister, M., Schenk, A., Hinz, S., Andrian, F., Vonié, M. (2022) *High dam monitoring with Ground-based SAR: Opportunities and Challenges*. In ICOLD 2023: 91st ICOLD Annual Meeting.
- [Rebmeister et al., 2022] Rebmeister, M., Auer, S., Schenk, A., and Hinz, S. (2022a). *Geocoding of ground-based sar data for infrastructure objects using the maximum a posteriori estimation and ray-tracing*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 189:110-127.
- [Scaioni et al., 2018] Scaioni, M., Marsella, M., Crosetto, M., Tornatore, V., and Wang, J. (2018). *Geodetic and remote-sensing sensors for dam deformation monitoring*. Sensors, 18(11).
- [Wang et al., 2020] Wang, P., Xing, C., and Pan, X. (2020a). *Reservoir dam surface deformation monitoring by differential gb-insar based on image subsets*. Sensors, 20(2).

ABSTRACT

The need for renewable energy sources in the climate change context highlights dam utilization as an attractive and efficient option. This study explores ground-based synthetic aperture radar (GB-SAR) as a potential tool for assessing dam safety, despite its underutilization due to atmospheric sensitivity and processing complexities. Strategies have been devised to enhance GB-SAR's capabilities, including precise sensor localization and azimuth estimation, crucial for accurate image geocoding. Challenges persist with vertical structures, addressed through Bayesian intensity models for improved geocoding. The main case study is the Enguri Dam in Georgia with a continuous monitoring over two years that validates GB-SAR's accuracy, with results aligning closely with numerical simulations and GNSS data. The thesis concludes that GB-SAR enhances dam monitoring capabilities, serving as a valuable supplement to existing sensors for both long-term geodetic observations and short-term operational needs.