

Caractérisation hydrologique de l'Oued Medjerda (Tunisie) dans le cadre de la future mission spatiale SWOT

Jelassi Mohamed Aymen, Gaaloul Nouredine, Laignel Benoit, Turki Imen

Résumé

La Medjerda est un oued dont le lit est principalement sur le territoire Tunisien est caractérisé par un écoulement permanent sur l'ensemble de son cours, ce qui lui donne le profil d'un fleuve. Les données des hauteurs d'eau in-situ permettent une bonne connaissance de ce système à l'échelle temporelle mais ces observations restent ponctuelles dans l'espace. Le futur satellite à interférométrie radar SWOT (Surface Water and Ocean Topography), dont le lancement aura lieu en 2020, fournira des cartes 2D de hauteurs et pente des eaux de surface avec une résolution encore jamais atteinte en altimétrie. Cette recherche s'inscrit dans le cadre de la préparation de la mission SWOT et consiste à caractériser la variabilité hydrologique de l'Oued de la Medjerda par des analyses descriptives et spectrales sur des données journalières des hauteurs d'eau puis à simuler le passage de SWOT sur sept stations par un sous-échantillonnage selon l'orbite de SWOT sur des segments de chroniques de 5 ans pour définir les modes de variabilité hydrologique enregistrés ou non par le satellite.

La caractérisation de la variabilité hydrologique de la Medjerda par des outils d'analyses spectrales a permis d'identifier les différentes phases hydrologiques pour la période étudiée (1998-2003, 2003-2005 et 2005-2008) ainsi que les principaux modes de variabilité (2-3an, 1an, 1-3mois). L'impact anthropique a été étudié entre les hauteurs d'eau de la station Slouguia et lâchures périodique du barrage Sidi Salem situé en amont de cette station et a montré une forte cohérence de l'ordre de (>89%). Cette variabilité se trouve aussi influencée par des fluctuations climatiques telles que la NAO (>53% cohérence sur le mode 2-3ans) et le MO (>82% sur le mode annuel). L'évaluation de la capacité de SWOT à reproduire la variabilité hydrologique de la Medjerda a montré que SWOT reproduit les principaux modes de variabilités avec des valeurs de cohérences >85% entre le signal in situ et celui simulé.

Mots Clés : Variabilité hydrologique, SWOT, Hydrosystème, Medjerda, Analyses spectrales

Introduction

La rivière Medjerda est la plus grande et la plus longue de la Tunisie avec une longueur de 484 km (Ben Mansoura et al., 2001). Il prend sa source dans le Nord de l'Algérie et se déverse dans la mer Méditerranée (Golf de Tunis). Son importance est vitale pour la Tunisie car il constitue la principale ressource en eau du pays et contribue à l'approvisionnement en eau pour plus de la moitié de la population (Zahar et al., 2008). Plusieurs ouvrages de mobilisation des eaux ont été construits sur le cours de la Medjerda pour satisfaire les besoins en eau croissants des différents secteurs (agriculture, eau potable, industrie ...). En plus de l'impact anthropique, les travaux de recherche indiquent une réponse importante au changement climatique de la rivière Medjerda (Ben Mamou et Louati, 2007). Le bassin versant de la Medjerda a fait l'objet d'une étude monographique par l'ORSTOM (Claude et al., 1976). Il semble donc important de caractériser la variabilité hydrologique du fleuve.

Depuis quelques décennies, les données spatiales sont utilisées pour fournir des informations complémentaires aux données in-situ, permettant ainsi une meilleure compréhension des mécanismes physiques à l'œuvre à l'échelle des plus grands bassins fluviaux mondiaux tels que l'Amazone, Ganges, Brahmapoutre, ... (Biancamaria, 2011). Cependant, les données actuelles n'ont pas une précision et une couverture spatiale suffisantes pour étudier des bassins de la taille inférieure telle que la Medjerda. La mission spatiale SWOT (Surface Water and Ocean Topography) d'altimétrie large fauchée, en coopération entre les agences spatiales américaine (National Aeronautics and Space Administration-NASA), française (Centre National d'Étude Spatiale-CNES), canadienne (Canadian Space Agency-CSA) et anglaise (United Kingdom Space Agency), permettra pour la première fois de mesurer non seulement l'étendue des surfaces en eau, mais aussi d'acquérir des mesures 2D des hauteurs d'eau correspondantes et de leurs variations spatio-temporelles à des résolutions spatiales jusqu'ici inégalées (1km sur les océans et 100 m dans les zones continentales), ce qui représente une avancée significative pour l'hydrologie. Plusieurs études scientifiques ont déjà été réalisées dans le cadre de la préparation de la mission SWOT et ont abordé plusieurs questions

scientifiques techniques. Parmi ces travaux on peut citer les recherches de Biancamaria (2009) et Lion (2012) qui ont porté sur la mise en place des outils de simulation pour réaliser un bilan de performances des données SWOT sur l'estuaire Amazonien, et ceux de Laignel et al., (2015) Turki et al., (2015) et Chevalier et al., (2014) qui ont étudié la qualité de la restitution de la variabilité hydrologique de SWOT dans l'estuaire de Seine et le littoral haut-normand, et ont qui ont abouti à des résultats convaincants. Aucune étude n'a été réalisé jusqu'à maintenant sur les potentialités des SWOT sur les hydrosystèmes du Sud de la Méditerranée, qui est une zone soumise à une forte évolution des ressources en eau. Les futurs données de SWOT couvrant la rivière Medjerda serviront pour mieux comprendre la dynamique des eaux continentales, en apportant des données permettant d'améliorer la modélisation des effets des facteurs hydrométéorologiques sur la variabilité des hauteurs d'eau.

Les objectifs de cet article sont donc :(1) Caractériser de la variabilité hydrologique de la Medjerda. Pour cela des techniques d'analyses spectrales ont été appliquées sur les données des hauteurs d'eau de trois stations hydrométriques (Jendouba, Bousalem, et Slouguia) dans le but de définir les principaux modes de variabilités (intra et interannuelles). Ensuite, l'étude des différents facteurs de forçages externes (précipitations, indices climatiques) et internes (barrage) a été opérée dans le but d'identifier l'origine de cette variabilité;(2) Evaluer la capacité du futur satellite SWOT à reproduire la variabilité hydrologique de la Medjerda. Les largeurs de l'Oued Medjerda ont été étudiées en premier lieu afin de définir les tronçons du fleuve qui pourront faire l'objet d'un suivi par SWOT (>50m). Ensuite, les données du satellite sont simulées par extraction du signal de SWOT selon la fréquence de passage sur des chroniques de 5ans pour sept stations hydrométriques, dans le but de déterminer l'incidence du nombre de passage de SWOT sur sa capacité à restituer la variabilité hydrologique.

1. Cadre de l'étude Données utilisées

L'oued Medjerda se situe au Sud du méditerrané. Il est le seul cours d'eau de la Tunisie qui est caractérisé par un écoulement permanent. Il prend sa source en Algérie (Souk Ahras) et se jette dans la mer méditerranée (Golfe de Tunis). Sa longueur totale est de 460 kilomètres dont 350 en Tunisie. Son bassin couvre une superficie de 22000 Km² dont 6000 Km² en Algérie. Le débit moyen annuel de la Medjerda est estimé à $Q = 30$ m³/s (en hivers : 91 m³/s et en crue : 3500 m³/s). La population vivant dans son bassin représente 13,4% de la population totale de la Tunisie. La densité de population du bassin (84,0 habitants au km²) est supérieure à la moyenne nationale (61,1 habitants au km²). D'importants barrages ont été construits sur le cours d'eau de la Medjerda : Béni M'tir (1954), Nebeur (1955), Lakhmès (1966), Kasseb (1969), Bou Hertma (1976), Sidi Salem (1982) et Siliana (1990).Le barrage de Sidi Salem, le plus imposant, a permis de diviser le débit de pointe de crue centennal par trois. A la station de Slouguia, ce dernier est passé de 3300 m³/s avant la construction du barrage à 1100 m³/s après son entrée en service (Zahar et Benzarti, 2009).

Les données utilisées dans cet article sont gérées par la Direction Générale des Ressources en Eau et la Direction Générales des Barrages et des Grands Travaux Hydrauliques. Pour la caractérisation hydrologique (1^{ère} partie), le choix s'est porté sur les stations hydrométriques et pluviométriques : Jendouba, Bousalem et Slouguia de 01/09/1998 au 31/08/200. Dans la partie qui concerne la capacité de SWOT à restituer la variabilité hydrologique, nous avons choisi 7 stations (Ghardimaou, Jendouba, Bousalem, Barrage Sidi Salem, Slouguia, Jedaida et P0) qui présentent des séries de données journalières de 5ans et qui permettent d'avoir une bonne répartition spatiale des hauteurs d'eau.

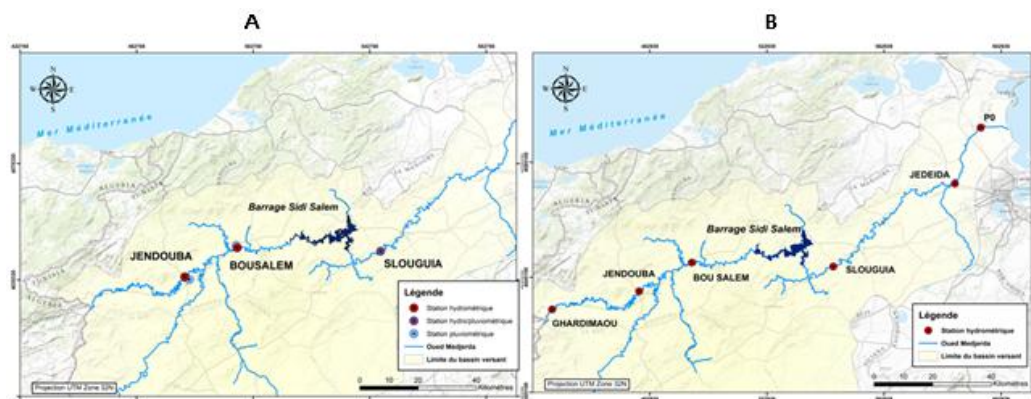


Figure 1: Station utilisées

2. Méthodologie

Afin de caractériser la variabilité hydrologique de la Medjerda et d'évaluer la capacité de restitution de SWOT de cette variabilité, des outils d'analyses et spectrales ont été employés (Transformée en ondelettes continues, Analyse par cohérence en ondelettes) afin de déterminer les principaux modes de variabilités; et Identifier les liens entre les variables:

Transformée en ondelettes continues

Introduite par Grossman et Morlet (1984), la transformée en ondelette continue est un outil d'analyse qui permet d'étudier les signaux non stationnaire par la décomposition de ces derniers à la fois en temps et en fréquence.

Analyse de la cohérence par ondelette

L'analyse de la cohérence par ondelette consiste à une mesure de la corrélation entre les deux signaux ou entre deux représentations de ces signaux suivant différentes échelles (fréquences) au cours du temps présentant des valeurs allant de 0 à 1 (Labat, 2005).

Pour plus de détails sur ces techniques d'analyses et leurs applications voir (Torrence et Compo, 1998; Labat, 2005; Massei et al., 2007).

Méthodologie d'échantillonnage des données SWOT partir des données des hauteurs d'eau in situ

Pour l'échantillonnage des données SWOT, les données du satellite sont extraites des données in-situ, en fonction de l'orbite et du nombre et des heures de passage du satellite, sans prendre en compte les erreurs de mesure éventuelles liées au satellite (Turki et al., 2015). Dans notre étude, cette méthode a été appliquée sur des chroniques journalières de sept stations hydrométriques pour une période de 4 à 5 ans. Dans notre cas, nous avons travaillé avec l'orbite sur l'orbite dont l'altitude est de 891 km correspondant à la dernière orbite choisie par le comité scientifique de SWOT. La cyclicité de SWOT sera de l'ordre de 20.86460 jours pour cette orbite (Turki et al., 2015). Ensuite, une interpolation type "spline" des données échantillonnées est opérée pour la reconstruction de signal hydrologique.

3. Caractérisation de la variabilité hydrologique de la Medjerda

Détermination des principaux modes de variabilité hydrologique par analyse en ondelettes continues

L'analyse en ondelettes représente un outil analytique efficace car il permet non seulement d'identifier les fréquences, mais encore de les localiser dans l'espace temporel. Dans cette partie, la transformée en ondelettes continues a été appliquée sur les données des hauteurs d'eau de la Medjerda pour une période de 10 ans avec un pas de temps journalier (Figure 2). Les spectres obtenus mettent en évidence des variabilités communes aux trois stations qui se traduisent par: un mode de variabilité à l'échelle pluriannuelle de l'ordre de 2-3 ans, situé de 2002 à 2006; une nette structuration annuelle avec une forte variance pendant la période 2003-2005 surtout pour la station Slouguia; des fluctuations hautes fréquences inférieures au cycle annuel (1-3mois) sont détectées d'une manière ponctuelle dans le spectre, mais avec un maximum d'énergie principalement autour de 2003-2005 (voir 2006 pour la station Slouguia)

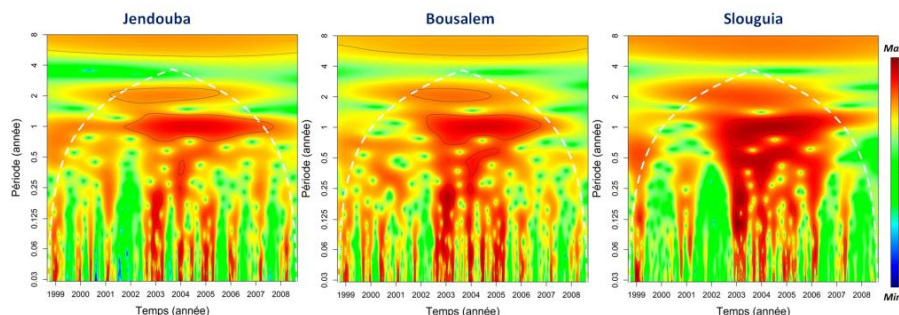


Figure 2: Transformée en ondelettes des hauteurs d'eau de la Medjerda

Au final, on distingue 3 périodes: une de 1998 à 2002-2003 caractérisée par le cycle annuel et des spots sur la bande à 1-3 mois, une de 2002-2003 à 2005-2006 avec un maximum d'énergie pour les trois modes de variabilité observés et une de 2005-2006 à 2008 similaire à la première période..

Origine de la variabilité hydrologique de la Medjerda

Dans le but de mieux expliquer la variabilité de notre système hydrologique, une analyse par cohérence en ondelettes a été opérée entre la pluie et les hauteurs d'eau de la Medjerda pour la période d'étude. Cette méthode permet de mettre en évidence la relation qui existe entre la pluie et les hauteurs d'eau dans le domaine fréquentiel et au cours du temps et d'identifier ainsi les principaux modes communs entre les deux variables. La Figure 3 propose les spectres de cohérences en ondelettes entre les trois stations étudiées et des données pluviométriques issues des pluviomètres les plus proches des stations hydrométriques.

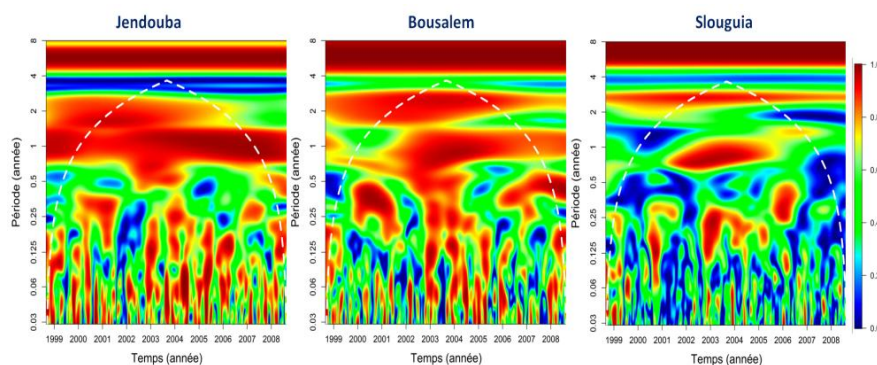


Figure 3: Spectres de cohérences en ondelettes Pluie/Hauteurs d'eau de la Medjerda

Une forte cohérence est observée entre la variabilité des hauteurs d'eau et la pluviométrie dans les stations Jendouba et Bousalem sur tous les bandes de fréquences. En effet, les spectres affichent une relation très étroite entre ces deux variables sur l'échelle annuelle et interannuelles (94,55% pour Jendouba sur la variabilité annuelle), on notera également une cohérence notable sur le mode 1-3 mois marquée par des spots d'énergies discontinues (en rouges) correspondants aux épisodes pluvieux, permettant d'interpréter ce mode de variabilité sur la hauteur d'eau comme la période de crues. En revanche, la cohérence étudiée est relativement faible pour la station Slougua (seulement 45% de cohérence totale). Néanmoins, une forte corrélation est observée pour le mode 2-3ans ainsi qu'un net gain de cohérence autour de la période 2002-2005 pour la cyclicité annuelle et les fluctuations hautes fréquences. L'analyse par cohérence en ondelettes confirme l'existence d'une forte corrélation entre le signal d'entrée (pluie) et le signal de sortie (hauteur d'eau) dans les stations Jendouba et Bousalem, ce qui suppose que ces deux variables peuvent être liés à des fluctuations du climat. En revanche, l'analyse des données de la station Slougua a montré une cohérence pluie/hauteur d'eau relativement faible, ceci peut être expliqué par l'existence du barrage situé en amont de la station de mesure.

On se propose donc d'étudier les origines de la variabilité du système hydrologique de la Medjerda par l'étude des liens potentiels qui peuvent exister avec: les lâchers du barrage Sidi Salem (modification du milieu physique); les indices climatiques (NAO, MO et WEMO) (fluctuations climatiques)

Etude de l'influence du barrage Sidi Salem sur la variabilité hydrologique de la Medjerda

Les analyses de cohérences en ondelettes (Figure 4) expriment une forte liaison des hauteurs d'eau de Slougua avec les lâchers de Sidi Salem. En effet, une très forte cohérence des hauteurs d'eau avec les lâchers du barrage est constatée sur tous les modes de variabilité (jusqu'à 89,41%). Cette influence est surtout très importante pour la cyclicité annuelle (98,06%), et le mode 2-3ans (95,22%). Par contre, une perte de cohérence au cours du temps est parfois observée sur le mode 1-3 mois. Sur ce dernier, la cohérence est très importante pendant les périodes sèches. Ceci peut être interprété par le manque des apports pluvieux et l'augmentation de la demande en eau (irrigations) durant ces phases.

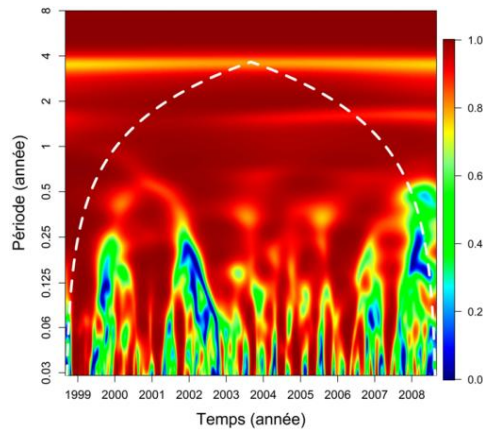


Figure 4: Spectres de cohérence Hauteurs d'eau Slougua/Lâchures du barrage Sidi Salem

Liens entre la variabilité hydrologique de la Medjerda et les fluctuations climatiques

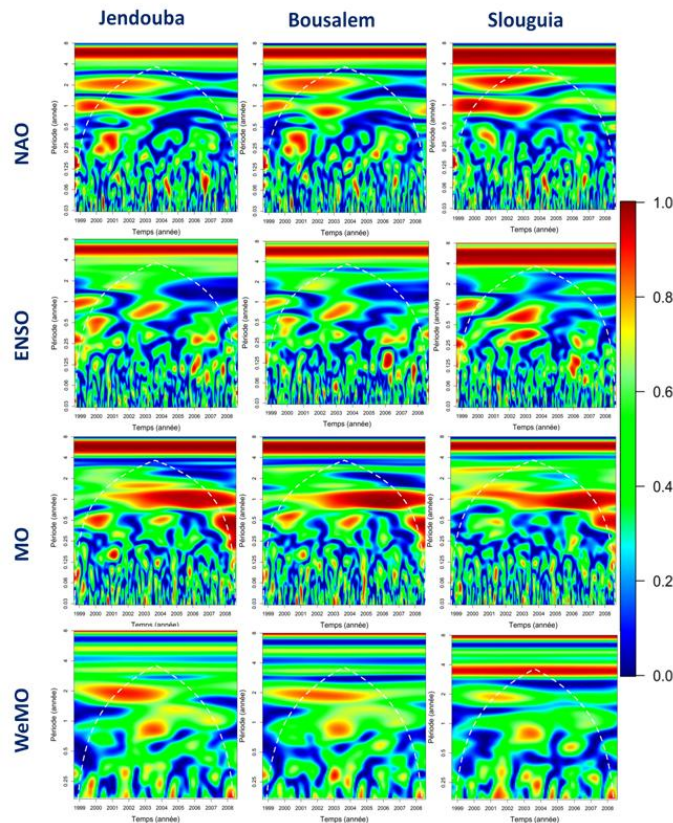


Figure 5: Spectres de cohérence par ondelettes entre la pluviométrie de la Medjerda et les indices climatiques

Les résultats (Figure 5) ont mis en évidence une relation étroite entre la variabilité des pluies de la Medjerda et la NAO. En effet, une forte cohérence est remarquée sur le mode de variabilité interannuelle 2-3 ans et sur le cycle hydrologique qui s'étend jusqu'à la période 2003-2005. A partir de cette période, il y a eu apparition d'une forte corrélation avec le MO sur la cyclicité annuelle qui s'étend jusqu'à fin 2008. Nous pouvons déduire que la variabilité des pluies de la Medjerda était sous influence de la NAO pendant la période 1998-2003, puis ensuite sous l'effet de l'oscillation méditerranéenne. Les valeurs de cohérence de la pluviométrie de la Medjerda avec les indices ENSO et WeMO est relativement faible pour la période étudiée. Les spectres indiquent des cohérences qui apparaissent d'une manière ponctuelle et surtout pour l'année 2003, qui est caractérisée par des averses exceptionnelles sur la Medjerda.

4. Capacité de SWOT à restituer la variabilité hydrologique de la Medjerda

Une opération de mesure des largeurs du lit mineur de l'Oued Medjerda a été effectuée sur un support cartographique. Ceci a permis d'avoir une spatialisé des largeurs et de distinguer ainsi les zones qui

pourraient au minimum être suivis par SWOT. Les résultats montrent qu'environ 27% des tronçons de l'Oued Medjerda pourront être suivies par SWOT dans un contexte de basses eaux. En effet, environ 22% des tronçons ont une largeur entre 50 et 75m et seulement 5% ont une largeur supérieure à 75m. Il est à noter que lors des inondations la largeur du fleuve pourra atteindre des centaines de mètres.

Analyses spectrales des hauteurs d'eau et des données SWOT simulées sans erreur: reproduction des modes de variabilité

Les analyses spectrales des données de SWOT simulées ont été réalisées puis comparées aux analyses des données in situ Figure 6. Ceci a pour objectif d'évaluer la capacité de SWOT à reproduire les principaux modes de variabilités des hauteurs d'eau et de quantifier le degré de restitution. Nous avons choisi de présenter dans cet article les résultats des stations Bousalem, Barrage Sidi Salem et Slouguia. Les spectres en ondelettes des hauteurs d'eau observées des stations analysées affichent une nette structuration de la cyclicité annuelle ainsi que des fluctuations interannuelles (2-3ans) pour la station du Barrage Sidi Salem. Des fluctuations hautes fréquences sont notamment observées (1-3mois) qui apparaissent d'une manière discontinue dans les spectres pendant les périodes de crues. Ceci ayant également été observé sur la Seine par Chevalier (2014). Tous ces modes de variabilités sont bien reproduits par les simulations des données SWOT sans erreur. Cependant, une variance plus importante est identifiée dans le spectre des données SWOT simulées sur la bande 1-3mois. Cette surexpression est liée principalement à l'interférence du nombre de passage de SWOT (Turki et al., 2015). De plus, une faible énergie est identifiée sur la bande (0.03-0.06) sur les spectres des données SWOT simulées qui correspond aux fluctuations inférieures à 21 jours. Les valeurs de cohérence des stations (Tableau 10) affichent de fortes cohérences sur le mode 2-3 ans (>99%) et sur le mode annuel (>70%). Par contre, le mode infra-annuel se caractérise par des ruptures de corrélations au cours du temps (périodes sèches) excepté le barrage Sidi Salem où la cohérence sur la bande spectrale 1-3 mois atteint 95,73%.

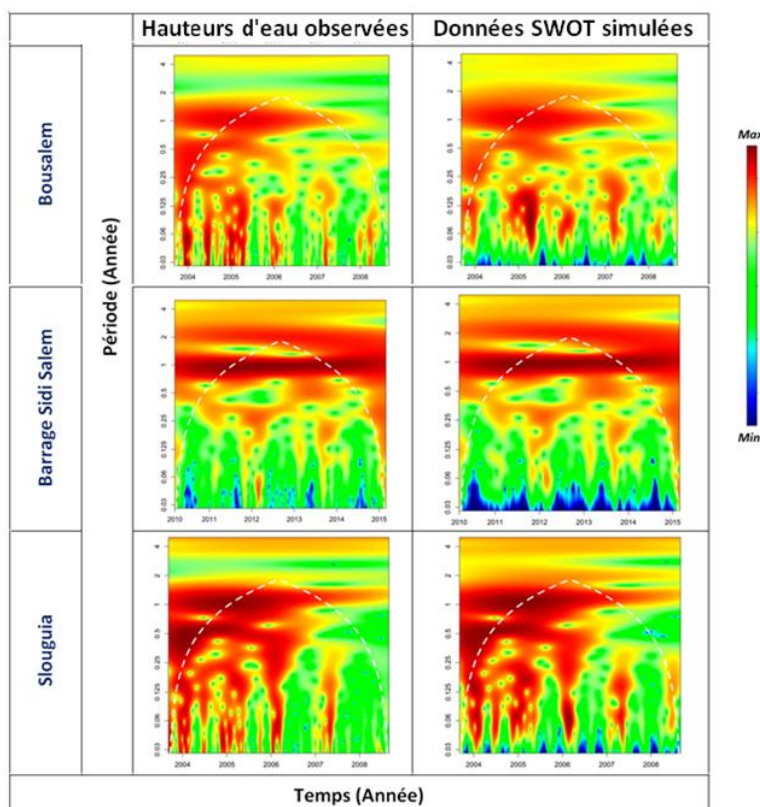


Figure 6: Transformées en ondelettes continues des hauteurs d'eau in-situ et des données SWOT simulées sans erreur

Conclusion

Ce travail de recherche s'inscrit donc dans le cadre de la préparation de la mission spatiale SWOT qui est un partenariat entre la NASA, le CNES et les agences spatiales canadienne et anglaises. Doté d'une résolution haute résolution, le satellite SWOT aura pour objectif de fournir un inventaire global de toutes les masses d'eau de surface terrestres et d'améliorer nos connaissances en hydrologie par un

suivi spatialisé même sur les fleuves de petite taille (largeur supérieure ou égale à 50 m) tel que la Medjerda.

Les transformées en ondelettes continues des trois stations de la Medjerda ont indiqué une variabilité hydrologique commune, structurée par trois modes de variabilités. Ces modes s'expriment sur différentes échelles de temps: 2-3ans, 1an et 1-3 mois. La distribution de la variance du signal dans les spectres en ondelettes confirme les différentes phases identifiées par les autres analyses. Afin de définir l'origine de cette variabilité, la cohérence en ondelettes a été employée. Les corrélations pluie/hauteur d'eau de Jendouba et Bousalem ont démontré une forte cohérence de l'ordre de 64% contrairement à Slouguia, où la cohérence est inférieure à 50%. Etant donné que Slouguia est située juste en aval du grand barrage Sidi Salem, la cohérence en ondelettes entre les lâchures périodiques de ce dernier et les hauteurs d'eau de Slouguia a été réalisée. Les résultats ont démontré la forte influence des lâchures du barrage sur la variabilité hydrologique de la station Slouguia avec une cohérence moyenne supérieurs 89%. Afin d'explorer plus la variabilité d'origine climatique, la cohérence en ondelettes entres les séries de précipitations et les indices (NAO, ENSO, MO et WeMO) a été effectuée. Les résultats des trois stations ont permis de démontrer une forte liaison avec la NAO sur les modes 1an et 2-3ans pour la période 1998-2003 et une forte cohérence avec l'indice MO sur la cyclicité annuelle à partir de 2003.

L'étude des largeurs des tronçons de la Medjerda par un système d'information géographique (ArcGIS) a pu démontrer qu'environ 27% des tançons de l'Oued Medjerda (supérieurs ou égales à 50 m) pourront êtres suivies par SWOT dans un contexte de basses eaux. Pour l'évaluation de SWOT à resituer la variabilité hydrologique, une simulation de chroniques SWOT a été opérée. Cette simulation a été basée sur un échantillonnage des chroniques brutes de hauteurs d'eau sur une durée de 5ans, en fonction des heures de passages du satellite. Les données issues de la simulation ont été analysées par des méthodes spectrales puis comparé aux analyses des données in situ. Les analyses ont démontré que SWOT conserve les principaux modes de variabilités. En effet, Les cohérences en ondelettes entre les données SWOT simulées et les hauteurs d'eau observées ont montré des valeurs de cohérences supérieures à 85%. En contre partie, bien que les spectres en ondelettes des stations analysées ont permis de démontrer que le mode 1-3mois est bien reproduit par SWOT , une exagération de la variance du signal a été identifiée sur cette bande.

Références bibliographiques

- Ben Mammou A, Louati MH. 2007. Evolution temporelle de l'envasement des retenues de barrages Tunisie. *Revue des sciences de l'eau. Journal of water science*. **20**: 201-210.
- Ben Mansoura A, Garchi S, Daly H. 2001. Analyzing forest users' destructive behavior in Northern Tunisia. *Land Use Policy* **18**: 153–163.
- Biancamaria S, Rodríguez E, Mognard N, Saleh, F, Florence H, et Flipo N. 2011. Présentation de la future mission satellitaire SWOT et des campagnes aéroportées AirSWOT. *Programme PIREN-Seine 2011 : Future mission satellitaire SWOT et campagnes aéroportées AirSWOT*.
- Biancamaria S. 2009. Étude du cycle hydrologique des régions boréales et apport de l'altimétrie à large fauchée. *Thèse de Doctorat Université de Toulouse*, 222p.
- Chevalier L. 2014. Caractérisation et modélisation de la variabilité hydrologique de l'estuaire de Seine dans le cadre de la future mission spatial SWOT. *Thèse de doctorat de l'université de Rouen*, 367p.
- Claude J, Francillon G, Loyer J.Y. 1976. Les alluvions déposées par l'oued Medjerda lors des crues exceptionnelles de Mars 1973. *Office de la recherche scientifique et technique outre-Mer. Convention DRES-ORSTOM action de type A*. 162 p.
- Labat D. 2005. Recent advances in wavelet analyses: Part 1. A review of concepts. *Journal of Hydrology* **314**: 275–288.
- Laignel B, Ayoub N, Birol F, Brown S, Chao Y, Cornuelle B, Costa S, De Mey P, Estournel C, Feddersen F, Giddings S, Gille S, Kurapov A, Lyard F, Morrow R, Simard M, Strub T, Turki I. 2015. Issues and SWOT contribution in the coastal zones and estuaries, *White Paper CNES, NASA*. <http://swot.jpl.nasa.gov/science/resources/>.

- Lion C. 2012. Simulation des données SWOT haute résolution et applications à l'étude de l'estuaire de l'Amazone. *Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 243p.*
- Massei N, Copard Y, Rossi A., Sebag D. 2007. The response of the Mississippi River to climate fluctuations and reservoir construction as indicated by wavelet analysis of streamflow and suspended-sediment load, 1950–1975. *Journal of hydrology*. DOI:10.1016
- Torrence C, Compo GP. 1998. A Practical Guide to Wavelet Analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society* **79**: 61–78.
- Turki I, Laignel B, Chevalier L, Costa S, et Massei N. 2015. On the Investigation of the Sea-Level Variability in Coastal Zones Using SWOT Satellite Mission: Example of the Eastern English Channel (Western France). *Iee JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING*. 6p.
- Zahar Y, Ghorbel A, Albergel J. 2008. Impacts of large dams on downstream flow conditions of rivers: Aggradation and reduction of the Medjerda channel capacity downstream of the Sidi Salem dam (Tunisia). *Journal of Hydrology* **351**: 318– 330.