

Analyse de la sensibilité des données TerraSAR-X à l'humidité des sols de la plaine du Bas-Chélif-Algérie

Amokrane Athmane^{1,2}, Douaoui Abdelkader², El Ghadiri Imène^{3,2}

¹Ecole Nationale Supérieure Agronomique d'Alger

²Laboratoire Gestion et Valorisation des Ecosystèmes Agricoles et Aquatiques, University Center of Tipaza.

³Université Hassiba Benbouali de Chlef

athmane.amokrane@edu.ensa.dz

Résumé : La plaine du Bas-Chélif qui fait l'objet de notre terrain d'étude se trouve à 250 km à l'ouest d'Alger et s'étend sur près de 65000 ha. Cette plaine qui n'est qu'à 35 km de la méditerranée à un climat aride et connaît de graves problèmes de dégradation de son milieu physique lié à la salinité. La salinisation des sols qui s'est accélérée ces trois dernières décennies suite au recours accru à l'irrigation est incontestablement le plus grave problème qui touche cette plaine. Près de 80 % des superficies sont actuellement touchées par la salinité alors qu'elles n'étaient qu'à 34 % en 1956. L'objectif est d'améliorer l'estimation de l'humidité des sols de la plaine du Bas-Chélif avec l'utilisation de la télédétection radar. Après analyse du signal radar et les différents traitements effectués sur l'image radar TerraSAR-X, les données obtenues (coefficient de rétrodiffusion) ont été confrontées à celles obtenues directement sur terrain ou après analyse au laboratoire. Ces différents résultats confirment que le signal radar est influencé par la constante diélectrique et donc par l'humidité dont dépend directement la conduite des irrigations et la gestion de la salinité des sols.

Mots-clés : NRTK, AL-CORS-Net, VRS, performance, precision, integrity, availability, repeatability, TTFA, PDOP.

I. Introduction

La télédétection spatiale est d'une importance primordiale pour la cartographie et la surveillance des problèmes environnementaux. Son intérêt réside dans la capacité des capteurs satellitaires spatiaux à fournir des informations globales et permanentes de la planète, ou, aux échelles locale à régionale, à fournir une vision spatialisée et répétitive des territoires et écosystèmes.

La télédétection radar a montré son grand potentiel ces dernières années dans la caractérisation des états de surface du sol (état hydrique, rugosité, végétation). L'état de la surface du sol, et en particulier l'humidité et la rugosité, exercent une influence fondamentale sur la biodiversité édaphique et sur le couplage surface-atmosphère. Dans ce cadre et depuis plusieurs années, plusieurs études scientifiques ont montré le potentiel des données micro-ondes actives dans l'estimation de l'état hydrique du sol (Gorrah, 2015).

La télédétection radar tend de plus en plus à remplacer ces méthodes longues et dispendieuses. Elle est d'une importance primordiale pour la cartographie et la surveillance des problèmes environnementaux. Les capteurs radar (Radio Detection and Ranging) permettent une cartographie quelles que soient les conditions météorologiques (nuages, pluie) et temporelles (jour-nuit),

ce qui n'est pas le cas des capteurs optiques (passifs) qui sont difficilement exploitables en hiver en raison de la couverture nuageuse (Ulaby 1974 ; 1979 ; 1986).

Le climat de la plaine du Bas-Chélif est un climat semi-aride, spécifique très rude et très contrasté par ses étés très chauds et des températures basses en hiver. Face à des sols à problèmes comme les sols du périmètre de Hmadna de la plaine du bas-Chélif qui connaissent des niveaux de dégradation parfois avancés surtout en salinité, la détermination de l'état de surface de ces sols devient impérative pour arriver à mieux les gérer (Douaoui et al, 2005). La connaissance de ces variables est souvent onéreuse et difficile à réaliser surtout quand il s'agit d'une investigation sur une grande superficie, ce qui nous a amené à utiliser la télédétection radar pour estimer l'humidité du sol dont l'importance sur les pratiques d'irrigation et la gestion de la salinité des sols n'est plus à démontrer (Douaoui et al, 2006 ; Abdennour et al., 2019 ; Abdennour et al., 2021).

II. Matériels et méthodes

1. Échantillonnage

L'échantillonnage du sol a été effectué durant la période qui s'étend sur les mois de Janvier et Février 2009. Le choix de cette période coïncide avec des chutes de pluie (quelques jours auparavant), c'est durant cette période qu'on trouve

des sols humides contenant de l'eau libre, ce qui convient à l'application des modèles d'inversions utilisés dans notre travail qui ne tiennent pas compte de l'eau liée. Ces sols doivent être nus donc sans végétation, pour minimiser l'effet de la végétation sur le signal rétrodiffusé qui n'est pas pris en compte dans les équations et modèles utilisés. Dans ce travail, nous avons utilisé les données au sol

échantillonnées le 18 février 2009 coïncidant ainsi avec la journée de la prise d'image radar. L'échantillonnage adopté est de type stratifié (figure 1). Il est basé sur toutes les classes issues des travaux de (Douaoui et al. 2005, Douaoui et al. 2006). Chaque échantillon a été géoréférencé et localisé sur le terrain en utilisant un système de localisation géographique GPS (Geographical Positioning System).

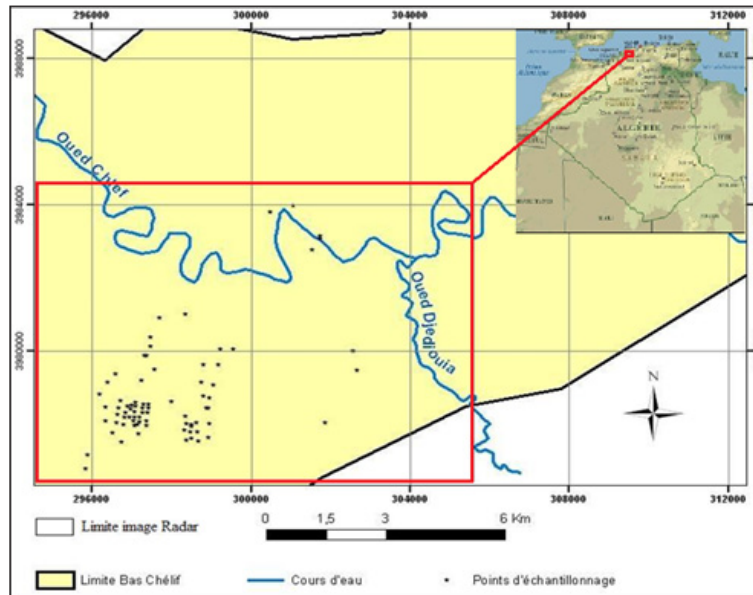


Fig. 1 Plan d'échantillonnage des points des sols prélevés

2. Données utilisées

Les données utilisées sont de deux types : les données de l'image radar après différentes corrections et les données au sol.

2.1. Les analyses au laboratoire

Les analyses au laboratoire des échantillons du sol prélevé à partir de la couche superficielle (0-10 cm) sont au nombre de 86. Les analyses de nos échantillons ont concerné l'humidité volumique du sol qui s'est faite par la méthode de la double pesée et séchage à l'étuve à 105° durant 24^h.

La résolution de l'image est de 0,89 mètre (très haute résolution) avec polarisation horizontale-horizontale (HH) et une de 12 kilomètres/14 kilomètres. Son angle d'incidence est de 35 degré (au centre de la scène) et sa longueur d'onde est de 3.1 cm d'une fréquence de 6,6 GHz, ce qui définit la bande X. Toutes les corrections et traitement ont été faits avec le logiciel ERDAS IMAGINE 9.2. (Figure 3).

2.2. Les données de l'image radar

On a utilisé une image radar PRI (PRécision image, moyenne de 3 vues) amplitude TerraSAR-X (figure 2), prise le 18 février 2009. L'image radar brute est composée de deux types d'images : l'image amplitude et l'image phase. En ce qui nous concerne, nous avons utilisé l'image d'amplitude qui convient le mieux à l'étude des états de surface.



Fig. 2 Image PRI (amplitude) TerraSAR-X (18 février 2009)

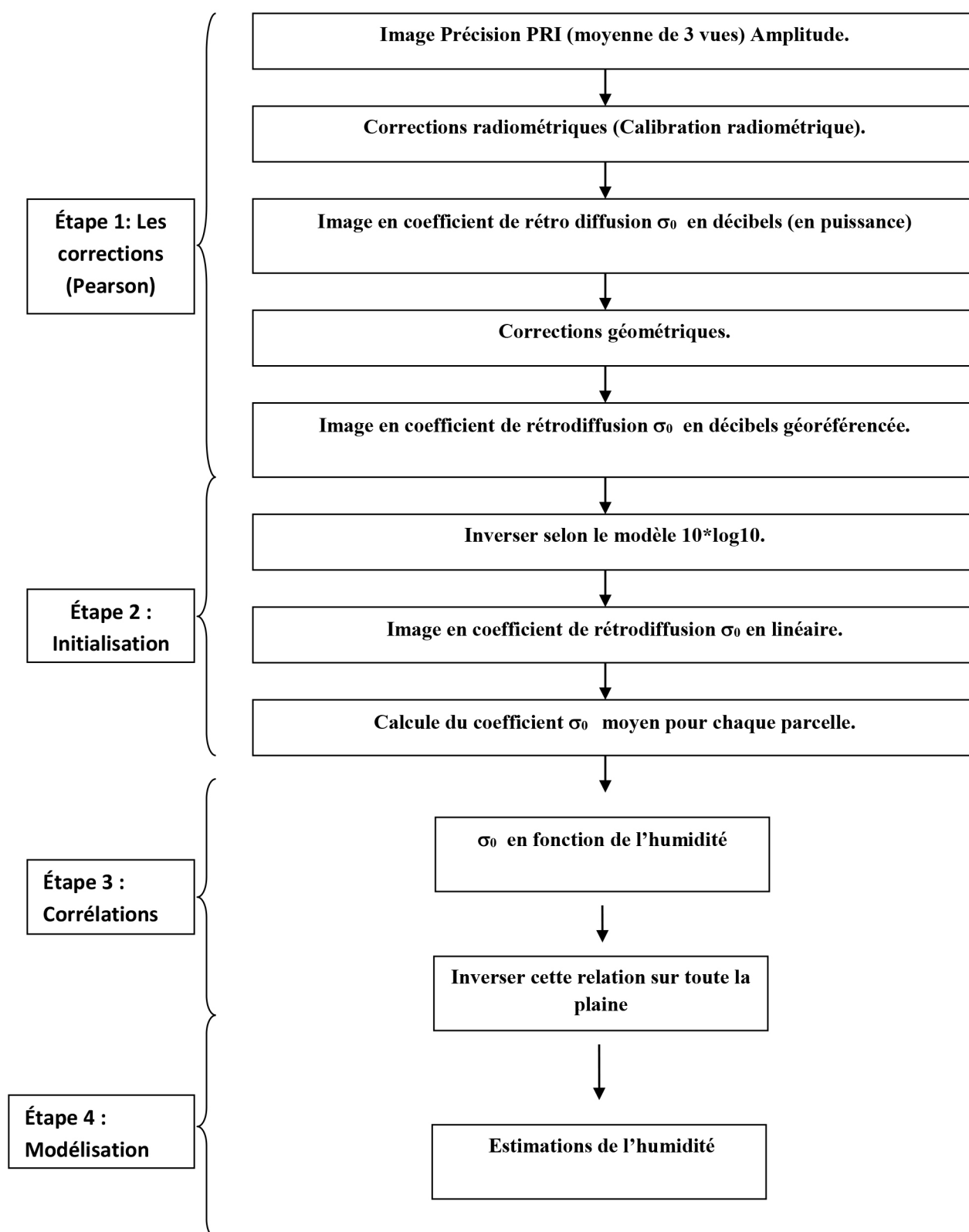


Fig. 3 Démarches générales de l'analyse de l'image radar (Baghdadi, 2008, 2009)

2.3. La constante diélectrique

La constante diélectrique du milieu est le facteur déterminant l'intensité du signal rétrodiffusé. La texture et la granulométrie interviennent de façon moins nette.

Pour une longueur d'onde donnée, la constante diélectrique (ϵ) du sol est généralement fonction de plusieurs quantités comprenant le contenu d'humidité, la densité du sol, la texture et la composition du sol, la température de sol ainsi que sa salinité. Parmi toutes ces quantités, c'est l'humidité du sol qui influence le plus la constante diélectrique. Tous ces paramètres sont obtenus par les analyses du sol.

La constante diélectrique (ϵ) d'un matériau est une mesure de sa capacité à se polariser en réponse à un champ électrique. En général, ϵ est un nombre complexe dont la partie réelle est associée à l'emménagement d'énergie (la permittivité ϵ'), et la partie imaginaire ϵ'' à la dissipation d'énergie.

Les modèles diélectriques du sol humide décrivent la relation entre la constante diélectrique du sol ϵ_{sol} et l'humidité volumique. On a utilisé deux modèles, le premier qui est proposé par (Dobson, 1985) est devenu une référence pour estimer ϵ_{sol} dans le domaine des micro-ondes. Ainsi, la constante diélectrique du sol humide se calcule :

$$\epsilon_{sol} = \left[1 + \left(\frac{\rho_b}{\rho_s} \right)^{\beta} (\epsilon_{pa}^{\beta} - 1) \right] + (SM^{\beta})^{\beta} (\epsilon_{fw}^{\beta} - SM^{\beta})^{1/\beta}$$

Où, ρ_b est la densité volumique du sol, ρ_s est la densité particulaire du sol, SM est l'humidité volumique du sol, ϵ_{pa} est la constante diélectrique des particules du sol, ϵ_{fw} est la constante diélectrique de l'eau libre, β est fonction de la texture du sol et P est un paramètre empirique ($P=0,65$).

Le deuxième modèle semi-empirique utilisé est proposé par (Wang, 2011) permet de distinguer 2 régions distinctes dans les variations de la constante diélectrique en fonction

du taux d'humidité m_v du mélange (Lasne, Y, 2007).

Adoptant une description du mélange comme un système à 4 composantes (eau adsorbée, eau libre, air et sol sec), les expressions des constantes diélectriques complexes relativement à chaque région s'écrivent :

$$\epsilon = m_v + (P - m_v) \epsilon_a + (1 - P) \epsilon_r \text{ pour } m_v < W_t,$$

$$\text{Avec } \epsilon_x = \epsilon_i + (\epsilon_w - \epsilon_i) * (m_v/w_i)^{\gamma}$$

$$\text{Et } \epsilon = w_i \epsilon_x + (m_v - w_i) \epsilon_w + (P - m_v) \epsilon_a + (1 - P) \epsilon_r \text{ pour } m_v > W_t,$$

$$\text{Avec } \epsilon_x = \epsilon_i + (\epsilon_w - \epsilon_i) * \gamma$$

Où P est la porosité du mélange. ϵ_a , ϵ_w , ϵ_r , et ϵ_i sont les constantes diélectriques respectivement de l'air, de l'eau, des particules solides de sol et de la glace. ϵ_x correspond à la permittivité complexe de l'eau adsorbée et W_t correspond à l'humidité de transition.

III. Résultats et discussions

2. Les corrélations

Les corrélations linéaires (Pearson) ont été calculées entre le coefficient de rétrodiffusion linéaire moyen pour chaque parcelle et les données de l'humidité et la conductivité électrique de chaque échantillon prélevé au milieu de la même parcelle.

Pour l'humidité, on a obtenu un coefficient de détermination de $R^2 = 0,81$ avec une relation linéaire d'une fonction $y = 0,2094x - 17,662$ (figure 4). Il apparaît donc que σ_0 augmente avec l'humidité volumique est cela s'explique par la polarisabilité des molécules d'eau et de leur capacité à s'orienter en fonction du champ électromagnétique, ce qui indique que la réflexion du signal augmente avec l'humidité du sol. Ce résultat est en conformité avec les travaux effectués par (Ulaby 1986, Dobson 1986 et Lasne 2007).

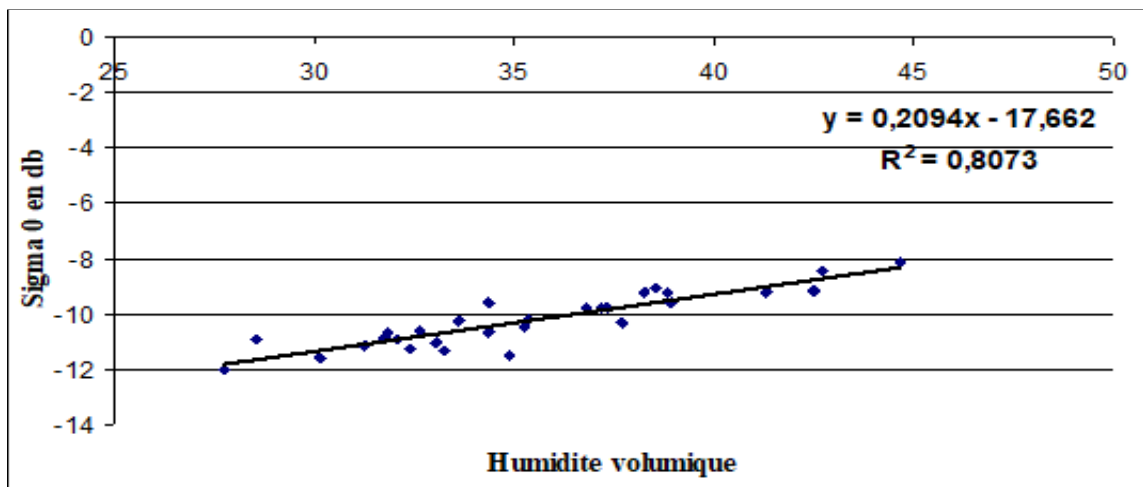


Fig. 4 Le coefficient de rétrodiffusion (db) en fonction de l'humidité volumique

3. 1. Constante diélectrique et humidité

Le taux d'humidité dans le sol influence la constante diélectrique, ce qui a un effet sur le signal rétrodiffusé (Ulaby, 1982 ; Ulaby et al, 1986). Une augmentation de l'humidité du sol aura donc pour effet d'augmenter l'intensité du signal rétrodiffusé. Pour confirmer cette

relation, on a fait des corrélations entre l'humidité et les différentes parties de la constante diélectrique et ce pour les deux modèles, (Dobson 1986 et Wang 2011).

Le modèle de (Dobson 1986) a montré une corrélation, entre la partie réelle et l'humidité, égale à 0,98 avec la relation $y = 0,49x - 3,04$ (figure 5).

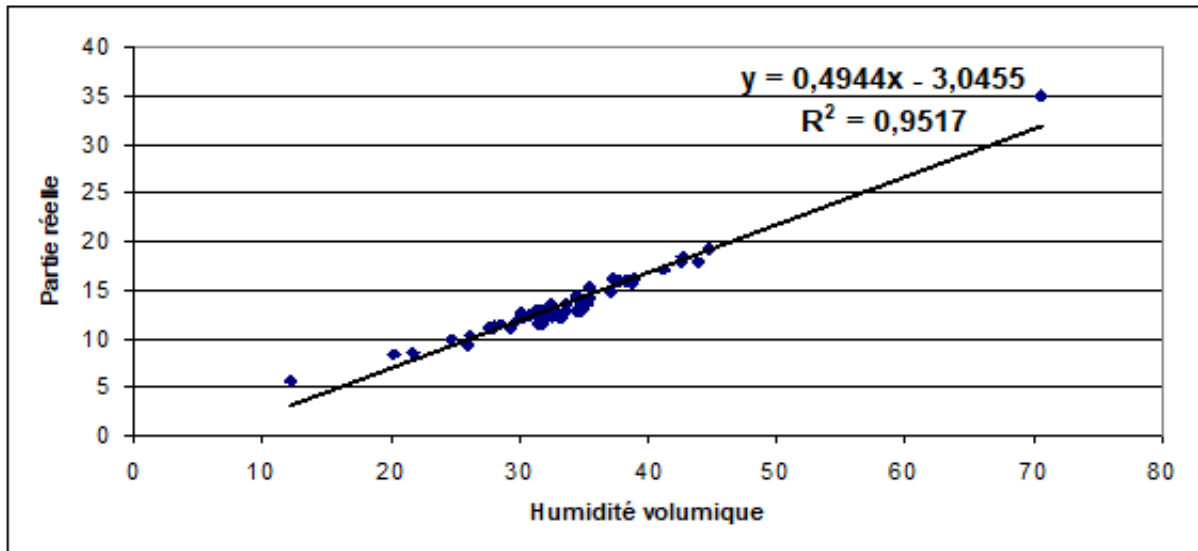


Fig. 5 La partie réelle (Dobson, 1986) de la constante diélectrique en fonction de l'humidité volumique

La corrélation entre la partie imaginaire et l'humidité est de - 0,97 avec la relation $y = 0,34x + 5,18$ (figure 6).

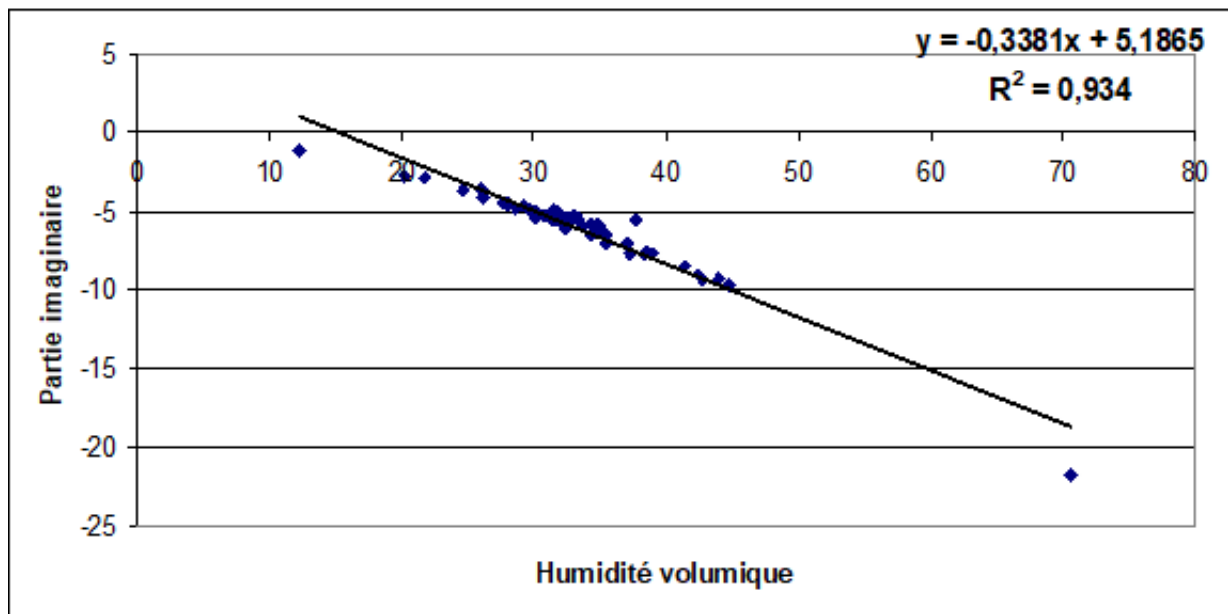


Fig. 6 La partie imaginaire (Dobson, 1986) de la constante diélectrique en fonction de l'humidité volumique

Pour le deuxième modèle (Wang, 2011), la corrélation entre la partie réelle et l'humidité est de 0,93 avec l'équation $y = 0,44x - 4,61$. Cette relation est également proportionnelle comme pour la partie réelle du premier modèle mais avec une corrélation plus faible (figure 7).

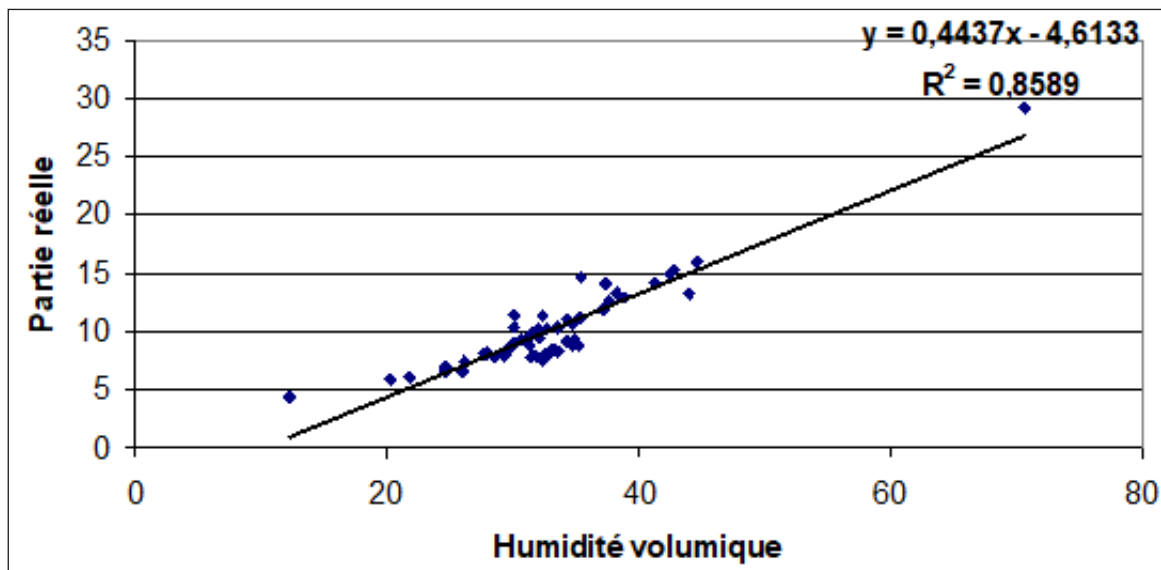


Fig. 7 La partie réelle (Wang, 2011) de la constante diélectrique en fonction de l'humidité volumique

La corrélation entre la partie imaginaire et l'humidité est de 0,85 avec l'équation $y = 0,34x + 6,36$. La relation est ici inversement proportionnelle tout comme le modèle de (Dobson 1986) mais avec une corrélation plus faible (figure 8).

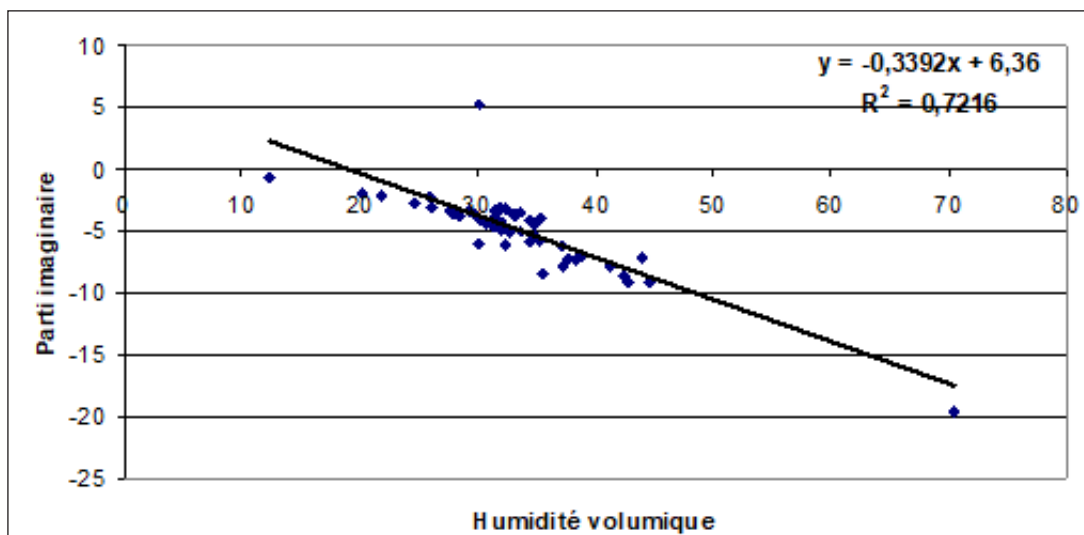


Fig. 8 La partie imaginaire (Wang, 2011) de la constante diélectrique en fonction de l'humidité Volumique

Les meilleures relations ont donc été obtenues avec le modèle de (Dobson 1986) par rapport à celui de (Wang). Ceci montre que le modèle de (Dobson 1986) est le mieux adapté dans notre zone d'étude avec des coefficients de corrélations très hautement significatives qui dépassent 0,95. Il s'avère donc que l'humidité n'a pas le même impact pour les deux parties réelles et imaginaire de la constante diélectrique : l'humidité en augmentant le signal rétrodiffusé augmente par la même la partie réelle de la constante diélectrique d'une part et d'autre part, en diminuant la transmission, elle diminue la partie imaginaire de la constante diélectrique (Lasne, 2007).

Ces résultats qui montrent que la constante diélectrique est fortement dépendante de l'humidité, permettent donc d'estimer avec une fiabilité élevée l'humidité des sols à partir du signal radar qui dépend à son tour de la constante diélectrique du sol (Dobson, 1986).

3. Estimation de l'humidité

Avec de tels résultats, il apparaît qu'il est possible d'améliorer la qualité de l'estimation spatiale de l'humidité car la constante diélectrique est fortement dépendante de l'humidité. Cette dépendance permettrait donc d'estimer avec une fiabilité élevée l'humidité des sols à partir du signal radar qui dépend à son tour de la constante diélectrique du sol (Albergel, 2012 et Baghdadi, 2008).

La meilleure relation trouvée entre les données mesurées de l'humidité du sol et les données TerraSAR-X correspond à celle de la partie réelle selon le modèle de (Dobson 1986). La meilleure estimation de l'humidité des sols dans la plaine du Bas-Chéliff se fait donc en utilisant l'équation $y=0.4944 x - 3.0455$ avec un coefficient de corrélation supérieur à 95%.

Peu de travaux existent sur la télédétection radar de l'humidité des sols. Notre contribution, dans ce domaine, constitue une originalité par l'application de cet outil sur l'estimation de l'humidité des sols et tout particulièrement en Algérie.

Conclusion

Au cours de notre travail, on a eu comme objectif l'amélioration de l'estimation de l'humidité des sols de la plaine du Bas-Chéliff avec l'utilisation de la télédétection radar en utilisant les données TerraSar-X.

Après analyse du signal radar avec les différentes calibration géométriques et radiométriques effectués sur l'image radar, les données obtenues après calcul du coefficient de rétrodiffusion, ont été confrontées aux données de l'humidité mesurée. Ces différents résultats confirment que le signal radar est influencé par la constante diélectrique et donc par l'humidité.

Ces résultats confirment aussi que la constante diélectrique varie en fonction de l'humidité. Il reste toutefois, que la différence dans l'influence de l'humidité sur la partie imaginaire et la partie réelle n'apparaît pas dans notre travail comme cela existe en bibliographie (Baghdadi, 2008-2016 ; Aubert, 2013). Ceci peut être expliqué par les échantillons qui ne présentent pas les différents niveaux d'humidité et tout particulièrement au niveau des valeurs élevées.

Comme perspective, il est prévu d'utiliser la relation qui existe entre la constante diélectrique et l'humidité d'une part et celle de l'humidité et la salinité pour estimer et cartographier la salinité des sols qui constitue le principal facteur de dégradation de la qualité des sols de la plaine du Bas-Chéliff.

Bibliographie

- Abdenmour M. A., Douaoui A., Bradai A., Bennacer A., Pulido Fernández M. (2019). Application of kriging techniques for assessing the salinity of irrigated soils : the case of El Ghrous perimeter, Biskra, Algeria. Spanish Journal of Soil Science, V. 9, N°2, 105-125p. DOI : 10.3232/SJSS. 2019.V9. N2.04.
- Albergel, C., Rosnay, P. De, Gruhier, C., Munoz-Sabater, J., Hasenauer, S., Isaksen, L., Wagner, W. (2012). Evaluation of remotely sensed and modelled soil moisture products using global ground-based in situ observations. Remote Sensing of Environment. 118, 215–226.
- Anguela, T. P., Zribi, M., Baghdadi, N., & Loumagne, C. (2010). Analysis of local variation of soil surface parameters with TerraSAR-X radar data over bare agricultural fields. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. IEEE Trans. On 48, 874–881.
- Aubert, M., Baghdadi, N., Zribi, M., Douaoui, A., Loumagne, C., Baup, F., Garrigues, S. (2011). Analysis of TerraSAR-X data sensitivity to bare soil moisture, roughness, composition and soil crust. Remote Sensing of Environment. 115, 1801–1810.
- Aubert, M., Baghdadi, N., Zribi, M., Ose, K., El, M., Vaudour, E., & Gonzalez-sosa, E. (2013). Toward an operational bare soil moisture mapping using TerraSAR-X data acquired over agricultural areas. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. IEEE J. Of 6, 900–916.
- Baghdadi, N., Holah, N., & Zribi, M. (2006b). Soil moisture estimation using multiincidence and multi-polarization ASAR data. International Journal of Remote Sensing, 27(10), 1907–1920.
- Baghdadi N. Zribi .M. Loumagne.C. Ansart.P. Anguela.T.P.2008. Analysis of TerraSAR-X data and their sensitivity to soil surface parameters over bare agricultural fields. Remote Sens. Environ. 112, 4370–4379.
- Baghdadi, N., Aubert, M., Cerdan, O., Franchistéguy, L., Viel, C., Eric, M., Desprats, J. (2008). Operational mapping of soil moisture using Synthetic Aperture Radar data: Application to the Touch basin (France). Sensors. 7(10), 2458–2483.
- Baghdadi, N., Boyer.N, Todoroff.P, El Hadji.M, Bégué.A. 2009. Potential of SAR TerraSAR-X/ENVISAT and PALSAR/ALOS for monitoring sugarcane crops on Seunion Island. Remote Sensing of Environnement. 113, 1724–1738.
- Baghdadi, N., Cresson, R., Todoroff, P., & Moinet, S. (2010). Multitemporal observations 145 of sugarcane by TerraSAR-X images. Sensors, 10, 8899–8919.
- Baghdadi, N., Choker, M., Zribi, M., El Hajj, M., Paloscia, S., Verhoest, N., Mattia, F. (2016). A New Empirical Model for Radar Scattering from Bare Soil Surfaces. Remote Sensing. 8, 920.

- Bao, Y., Zhang, Y., Wang, J., & Min, J. (2014). Surface soil moisture estimation over dense crop using Envisat ASAR and Landsat TM imagery : an approach. *International Journal of Remote Sensing*, 35(16), 6190–6212.
- Barrett, B. W., Dwyer, E., & Whelan, P. (2009). Soil moisture retrieval from active spaceborne microwave observations: An evaluation of current techniques. *Remote Sensing*, 1(3), 210–242.
- Bousbih, S., Zribi, M., El Hajj, M., Baghdadi, N., Lili-Chabaane, Z., Gao, Q., Fanise, P. (2018). Soil moisture and irrigation mapping in A semi-arid region, based on the synergetic use of Sentinel-1 and Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 10(12), 1953.
- Douaoui A, 2005. Variabilité Spatiale de la salinité et sa relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chéliff. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct d'état, INA Alger, 233 p.
- Douaoui A, Nicolas H, Walter Ch, (2006). Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. *GEODERMA*, 134 (2006) 217-230.
- Douaoui A., Hartani T., Lakehal M. (2006). La salinisation dans la plaine du Bas-Chéliff : acquis et perspectives. *Economie d'eau en système irrigué au Maghreb*. Deuxième atelier régional du projet Sirma, 2006, Marrakech, Maroc. Cirad-00271021.
- Dobson, M.C. and ULABY, F.T, 1986, Active microwave soil moisture research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 24(1), 28–35.
- Dobson M. C, Ulaby.F.T, Hallikainen.M.T, El Rayes.M.A. 1985. Microwave dielectric behavior of soil. Part II:diletric mixing models. *IEEE Transaction of Geoscience and Remote Sensing*, 1, 35-46.
- El Hajj, M., Baghdadi, N., Zribi, M., Belaud, G., Cheviron, B., Courault, D., & Charron, F. (2016). Soil moisture retrieval over irrigated grassland using X-band SAR data. *Remote Sensing of Environment*, 176, 202–218.
- Gorrab, A., Zribi, M., Baghdadi, N., Mougenot, B., & Chabaane, Z. L. (2015). Potential of X-band TerraSAR-X and COSMO-SkyMed SAR data for the assessment of physical soil parameters. *Remote Sensing*, 7(1), 747–766.
- Gorrab, A., Zribi, M., Baghdadi, N., Mougenot, B., Fanise, P., & Lili-Chabaane, Z. (2015). Retrieval of both soil moisture and texture using TerraSAR-X images. *Remote Sensing*, 7(8), 10098–10116.
- Lasne.Y, Paillou.Ph, Ruffié.G, Serradilla.C, Demontoux.F, Malézieux.J.M, 2007.Impact de la salinité sur les propriétés diélectriques des matériaux géologiques : implication pour la détection d'humidité par télédétection active hyperfréquences : cas terrestre et martien, 23/25, 8.
- Ulaby, F.T, Bradley, G.A. et Dobson, M.C, 1979. Microwave backscatter dependence on surface roughness, soil moisture and soil texture. Part II. Vegetation-covered soil. *Inst. Elect. Electron. EngrsTrans. Geosci. Electron. GE17*, 33-40.
- Ulaby F.T, Cilhar, J. et Moore, R.K, 1974. Active microwave measurements of soil water content. *Remote Sensing Environ*, 3, 185-203.
- Ulaby F.T, 1974. Radar measurement of soil moisture content. *Inst. Elect. Electron. Engrs Trans. Antennas Propagat. AP22*, 257-265.
- Ulaby FT, Moore RK, Fung AK. 1986. *Microwave Remote Sensing, Active and Passive, Volume Scattering and Emission Theory Advanced Systems and Applications*, vol. 3. Artech House : Dedham, MA ; 1097-1098.
- Wang, S.G., Li, X., Han, X.J., and Jin, R. (2011). Estimation of surface soil moisture and roughness from multi-angular ASAR imagery in the Watershed Allied Telemetry Experimental Research (WATER). *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 15, 1415–1426.