

Estimation de l'humidité du sol et de l'indice de végétation NDVI sur les parcelles agricoles de Bretagne à partir des données satellitaires Copernicus

Contribution au projet BOSCO



Nicolas BAGHDADI, Núria PANTALEONI, Hassan BAZZI, Loïc LOZAC'H

INRAE, UMR TETIS, 500, rue François Breton, 34093 Montpellier cedex 5, France

Correspondance : nicolas.baghdadi@inrae.fr

Sommaire

1	Rappel de l'objectif	3
2	Calcul du paramètre de végétation NDVI	3
3	Cartographie de l'humidité des sols	3
3.1	Description de l'algorithme	3
3.2	Description du travail réalisé dans le cadre du projet BOSCO	4
3.2.1	Données utilisées	4
3.2.1.1	Zone d'étude	4
3.2.1.2	Images radar Sentinel-1	5
3.2.1.3	Images optique Sentinel-2.....	6
3.2.1.4	Données RPG	7
3.2.2	Cartes d'humidité et paramètre de végétation NDVI	7
4	Livraison des données et format des produits	8
5	Conclusion et suite	8
6	Références bibliographiques	8
7	Annexe : Produits humidité et indice de végétation NDVI	9
	Contacts	11

1 Rappel de l'objectif

L'objectif de cette tâche est d'appliquer la méthode opérationnelle de cartographie de l'humidité des sols sur la région Bretagne. La méthode d'estimation de l'humidité, développée à l'INRAE (UMR TETIS), est basée sur l'utilisation d'images satellitaires des nouveaux systèmes d'observation de la Terre Copernicus radar et optique Sentinel-1 et Sentinel-2 (données gratuites et libres d'accès). Ces nouveaux capteurs qui fournissent des données avec des résolutions spatiales et temporelles élevées ouvrent de nouvelles opportunités pour cartographier l'humidité des sols en milieu agricole. Les estimations d'humidité correspondent à l'humidité de la première couche du sol (5-10 cm). Les cartes d'humidité sont établies à l'échelle de la parcelle pour les années 2017, 2018, 2019, 2020 et 2020 (sur les parcelles agricoles et prairies en excluant les vignes et les arbres fruitiers). De plus, des cartes de l'indice NDVI (information spatialisée sur l'état de développement de la végétation) sont calculées à partir des images optiques Sentinel-2.

Mots-clés : Bretagne, Humidité du sol, Parcelles agricoles, Images radar et optique, Sentinel-1/2.

2 Calcul du paramètre de végétation NDVI

Les paramètres biophysiques de la végétation sont accessibles par télédétection optique. Ce sont des variables indispensables pour le suivi des cultures, en particulier pour l'évaluation du rendement, pour le suivi des pratiques agricoles ou l'analyse de la réponse d'une culture à des stress environnementaux comme la sécheresse. Elles constituent en effet des variables importantes du bilan hydrique, servant directement d'entrées pour de nombreux modèles de cultures. La revisite temporelle et la résolution spatiale de Sentinel-2 sont inédites et bien adaptées pour les applications agricoles, en particulier dans les zones où de fortes hétérogénéités sont observées. Les pays dont le paysage agricole est particulièrement morcelé comme en Europe ou en Afrique constituent de bons exemples d'utilisation.

Dans ce projet, seul un indice a été calculé : le NDVI (Normalized Differential Vegetation index). Le NDVI est un indice de végétation basé sur la différence entre réflectance du proche infrarouge (8^{ème} bande spectrale de S2) et réflectance du rouge (4^{ème} bande spectrale de S2) le tout divisé sur la somme des deux mêmes réflectances. Cet indice exploite la signature spectrale de la végétation qui est très particulière, car elle montre un pic très marqué dans le proche infrarouge (pour une végétation bien développée), et une réflectance moindre dans la rouge. Cet indice peut servir à évaluer l'importance de la biomasse végétale ainsi que l'intensité de l'activité de photosynthèse. Le NDVI a été calculé en utilisant en entrée les images S2 corrigées des effets atmosphériques par le pôle de données Theia (<https://www.theia-land.fr/>).

3 Cartographie de l'humidité des sols

3.1 Description de l'algorithme

Le suivi spatio-temporel de l'humidité du sol dans les zones agricoles est d'une grande importance pour de nombreuses applications, notamment celles liées au cycle continental de l'eau. L'utilisation de capteurs in situ assure cette surveillance mais cette technique est très coûteuse et elle ne peut être réalisée que sur une très petite zone agricole, d'où l'importance de la télédétection spatiale qui permet désormais une cartographie opérationnelle à grande échelle de l'humidité du sol à forte résolution spatio-temporelle.

Les images radar sont utilisées depuis longtemps pour estimer et cartographier l'humidité de surface des sols nus. Pour les surfaces avec une couverture végétale, le couplage de données radar et optique est souvent nécessaire pour estimer l'humidité du sol. Les données optiques sont complémentaires des données radar, et leur intérêt réside dans leur potentiel à estimer les paramètres biophysiques de la végétation, par exemple le Leaf Area Index (LAI) et le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Ces paramètres permettent d'évaluer la contribution de la végétation dans le signal radar rétrodiffusé, et par conséquent d'extraire la contribution du sol pour ensuite l'inverser et estimer l'humidité du sol.

Pour cartographier l'humidité du sol dans le cas d'un sol couvert de végétation, la plupart des études utilisent le modèle semi-empirique Water Cloud développé par Attema et Ulaby en 1978. Généralement, dans ce modèle, le signal radar total rétrodiffusé est modélisé comme la somme du signal rétrodiffusé du sol multiplié par l'atténuation bidirectionnelle, et du signal direct réfléchi par la végétation. Dans la plupart des études, la contribution de la végétation est exprimée par un paramètre biophysique de la végétation (biomasse, LAI, teneur en eau de la végétation, ou NDVI). La contribution du sol est généralement modélisée en fonction de l'humidité et de la rugosité du sol pour des paramètres instrumentaux donnés : angle d'incidence, longueur d'onde et polarisation. Il peut être simulé à l'aide d'un modèle physique de rétrodiffusion radar (Integral Equation Model "IEM" développé par Fung en 1994), ou d'un modèle de rétrodiffusion semi-empirique (par exemple le modèle de Baghdadi, Baghdadi et al., 2016).

Récemment, l'arrivée du satellite radar à synthèse d'ouverture (SAR) Sentinel-1 (S1) a fourni aux utilisateurs des données SAR en libre accès à une résolution spatiale élevée (10 m x 10 m) et avec un temps de revisite élevé (six jours en Europe). La mission S1 de l'Agence spatiale européenne (ESA) est une constellation de deux satellites SAR en orbite polaire (Sentinel-1A et Sentinel-1B) fonctionnant dans la bande C (~ 5,4 GHz). Les données SAR de la mission S1 à des résolutions spatiales et temporelles élevées ont encouragé la cartographie de l'humidité du sol en mode opérationnel.

El Hajj et al. (2017) ont développé une méthode opérationnelle pour cartographier l'humidité de surface du sol (SSM) à l'échelle de la parcelle sur les zones agricoles basée sur le couplage des données S1-SAR et des données optiques Sentinel-2 (S2) en utilisant la technique du réseau neuronal (S²MP). Les cartes S2MP sont produites pour les cultures été-hiver dans les zones agricoles et les prairies (elles ne sont pas produites aux vignobles et aux vergers). Les cartes S2MP sont dérivées pour les images S1 acquises dans les modes d'acquisition ascendant (heure d'acquisition ~ 18:00 TU) et descendant (heure d'acquisition ~ 06:00 TU). Près de 20 images S1 couvrent totalement ou partiellement la plupart des bassins versants en France par mois. Ainsi, une estimation de l'humidité du sol pourra être disponible au maximum tous les 3 ou 4 jours. Le produit final d'humidité a été validé grâce à une grande campagne de terrain près de la ville de Montpellier (près de 500 mesures in situ) et la précision obtenue sur l'humidité volumique est de l'ordre de de 6 vol.%. L'algorithme est en général appliqué tant que l'indice de végétation des parcelles NDVI n'est pas supérieur à environ 0.7. Au-delà de ce seuil, le signal radar n'atteint pas le sol et l'estimation de l'humidité du sol est impossible car le signal radar reçu contient la contribution de la végétation mais pas celle du sol. De plus, l'algorithme est appliqué sur les parcelles avec une pente inférieure ou égale à 20%.

3.2 Description du travail réalisé dans le cadre du projet BOSCO

3.2.1 Zone d'étude et données utilisées

3.2.1.1 Zone d'étude

La région Bretagne a été sélectionnée dans le cadre du projet BOSCO (Figure 1). La Bretagne est la région française située à l'extrémité ouest de la France, limitrophe des régions Normandie et Pays de la Loire. La région est délimitée au nord par la Manche, à l'ouest par la mer Celtique et au sud par l'océan Atlantique.

Son emplacement lui confère un climat océanique avec de faibles différences de températures entre l'été et l'hiver et des pluies fréquentes.



Figure 1. Localisation de la zone d'étude (Bretagne).

3.2.1.2 Images radar Sentinel-1

Une base de données d'images radar Sentinel-1 a été constituée à partir de toutes les images (S1) disponibles entre 2017 et 2021, en modes ascendant (après-midi, vers 18h TU) et descendant (matin, vers 6h TU) et en deux polarisations VV et VH. Les capteurs Sentinel-1 (S1) fonctionnent en bande C (fréquence = 5,406 GHz, longueur d'onde ~ 6 cm).

Les images S1 téléchargées sont des produits GRD (Ground Range Detected), à très haute résolution spatiale avec des pixels de 10 m × 10 m. Le temps de revisite des capteurs S1 (une constellation de deux capteurs S1A et S1B) est de 6 jours (les S1 passent au-dessus d'une même zone avec la même géométrie radar et à la même heure locale). Les images Sentinel-1 sont disponibles sur le site Web de Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>).

Les images S1 ont été calibrées (corrections radiométrique et géométrique) à l'aide de la Sentinel-1 Toolbox (S1TBX) développée par l'ESA (European Spatial Agency). La calibration radiométrique vise à convertir les valeurs numériques des images S1 en coefficients de rétrodiffusion (σ°), alors que la correction géométrique (ortho-rectification) des images S1 est réalisée à l'aide du MNT (Modèle Numérique de Terrain) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) à une résolution spatiale de 30 m. Entre 15 et 20 images S1 sont acquises chaque mois sur chaque point de la zone d'étude (Figure 2).

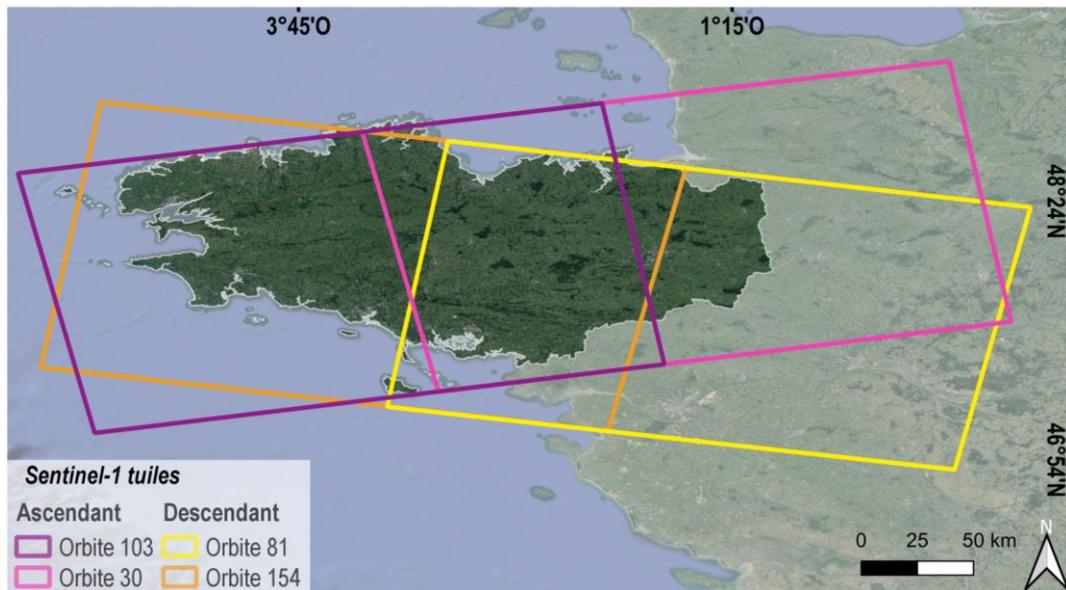


Figure 2. Tuiles Sentinel-1 utilisées dans cette étude.

3.2.1.3 Images optique Sentinel-2

La mission Sentinel fournit également des images optiques Sentinel-2 (S2) avec 13 bandes spectrales et une résolution spatiale de 10-20-60 m et un temps de revisite de 5 jours. Une série temporelle d'images optique a été téléchargée de janvier 2017 à décembre 2021 (Figure 3). Pour calculer le NDVI, les images S2 ont été téléchargées à partir du site Theia (French Land data center) (<https://www.theia-land.fr/>) qui fournit des images corrigées de l'effet atmosphérique et ortho-rectifiées (niveau 2A). De plus, Theia fournit des synthèses mensuelles sans nuages d'images S2 de niveau 2A. Les synthèses mensuelles de S2 ont été utilisées pour calculer l'indice de végétation NDVI nécessaire au fonctionnement de l'algorithme d'estimation de l'humidité du sol (S2 est utilisé pour caractériser la contribution de la végétation dans le signal radar S1 reçu). Ainsi, des cartes NDVI ont été établit pour toutes les dates S2 disponibles avec peu ou pas de nuages mais aussi pour toutes les synthèses mensuelles S2.

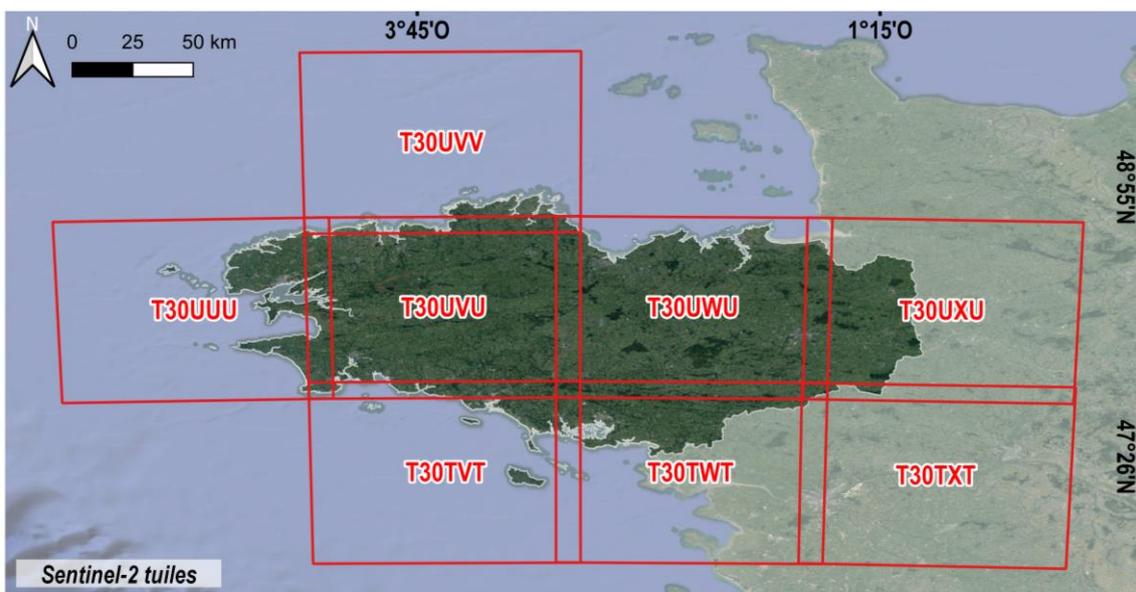


Figure 3. Tuiles Sentinel-2 utilisées dans cette étude sur les deux sites d'étude.

3.2.1.4. Données RPG

Afin d'extraire les contours de parcelles, nous avons utilisé le RPG (Registre Parcellaire Graphique) qui contient 28 classes de couverture terrestre ("RPG Version 2.0 - Descriptif de contenu et de livraison"). Le RPG a été filtré dans le but de ne garder que les parcelles agricoles utilisées pour les cultures d'été et d'hiver (blé, maïs, orge, colza, tournesol ...) ainsi que les prairies. C'est sur ces parcelles que l'estimation de l'humidité a été effectuée (l'estimation n'est pas faite sur les prairies et les vergers).

Le RPG (format vecteur) est disponible en téléchargement pour la France entière et par région sur le site de gouvernement (<https://www.data.gouv.fr/en/datasets/registre-parcellaire-graphique-rpg-contours-des-parcelles-et-ilots-cultureaux-et-leur-groupe-de-cultures-majoritaire/>).

Pour l'estimation des valeurs d'humidité du sol antérieures à 2018, la méthode développée utilise la mise à jour du RPG de l'année 2017. Et, pour l'estimation des valeurs d'humidité du sol postérieures à 2018, l'approche utilise la mise à jour du RPG de l'année 2019, qui est la version disponible la plus récente du RPG. Ainsi, les cartes d'estimation de l'humidité du sol pour les années 2017 et 2018 ont été produites à partir du RPG de 2017 et les cartes de 2019, 2020 et 2021 avec le RPG de 2019.

3.2.2. Cartes d'humidité et paramètre de végétation NDVI

Les cartes d'humidité ont été estimées pour toutes les images S1 disponibles. De même, le paramètre de végétation NDVI a été calculé. De janvier 2017 à décembre 2021, 1131 cartes d'humidité sont disponibles (519 en mode ascendant et 612 en mode descendant). La figure 4 montre des exemples de cartes d'humidité sur la zone d'étude.

De janvier 2017 à décembre 2021, 114 cartes de NDVI sont disponibles (8 tuiles, Figure 3).

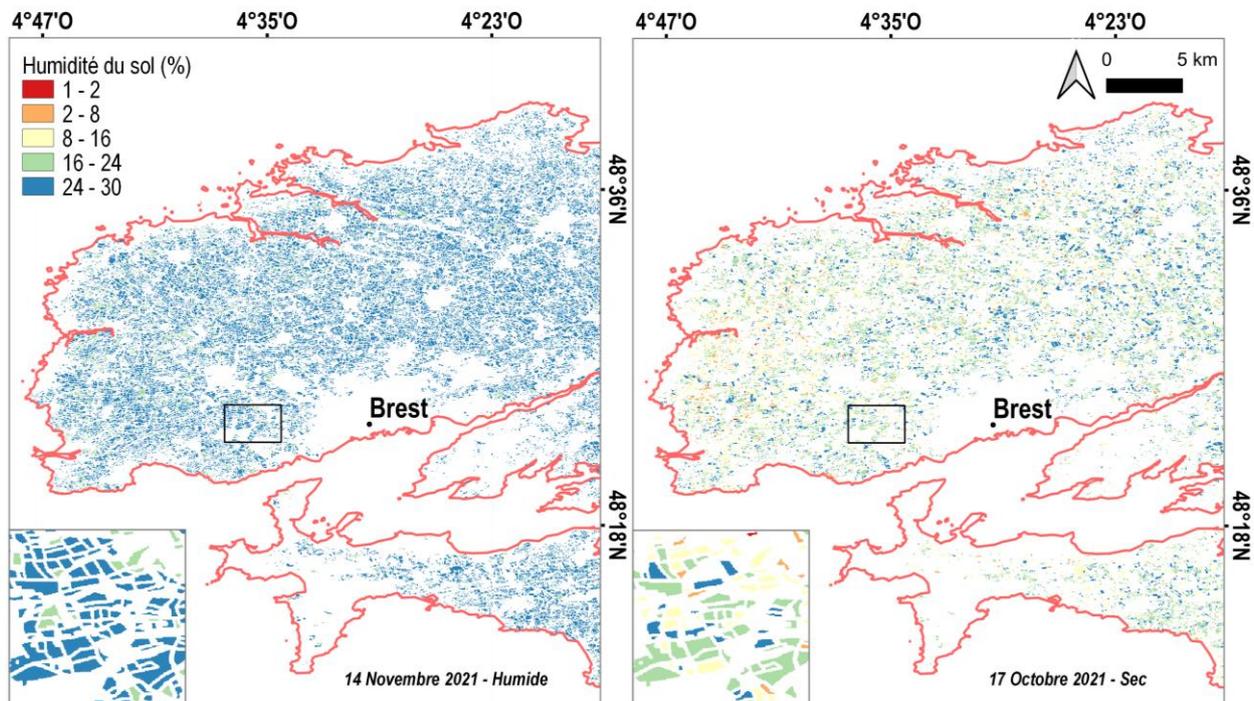


Figure 4. Deux cartes d'humidité du sol. (a) 14 Novembre 2021 (conditions humides) et (b) 17 Octobre 2021 (conditions moyennement humides à sèches).

4 Livraison des données et format des produits

En Mars 2022, nous avons transféré au chef de projet Laurent Longuevergne les cartes d'humidité et les indices de végétation NDVI. Les données ont été livrées en formats raster (geotiff). La description des données livrées est fournie en Annexe.

5 Conclusion

Ce rapport décrit en détail la partie télédétection qui concerne l'estimation de l'humidité du sol et la cartographie du paramètre de végétation NDVI sur la région Bretagne (années 2017 à 2021). Les données ont été livrées.

6 Références bibliographiques

Baghdadi N., Choker M., Zribi M., El Hajj M., Paloscia S., Verhoest N., Lievens H., Baup F., Mattia F., 2016. A new empirical model for radar scattering from bare soil surfaces. *Remote Sensing*, vol. 8, Issue 11, pp. 1-14, doi: 10.3390/rs8110920.

Bazzi H., Baghdadi N., Ienco D., El Hajj M., Zribi M., Belhouchette H., Escorihuela M.J., Demarez V., 2019. Mapping Irrigated Areas Using Sentinel-1 Time Series in Catalonia, Spain. *Remote Sensing*, *Remote Sens.* 2019, 11, 1836; doi:10.3390/rs11151836

Boken, V.K., Hoogenboom, G., Kogan, F.N., Hook, J.E., Thomas, D.L., Harrison, K.A., 2004. Potential of using NOAA-AVHRR data for estimating irrigated area to help solve an inter-state water dispute. *International Journal of Remote Sensing* 25, 2277–2286

Gao, Q., Zribi, M., Escorihuela, M., Baghdadi, N., Segui, P., 2018. Irrigation Mapping Using Sentinel-1 Time Series at Field Scale. *Remote Sensing* 10, 1495. <https://doi.org/10.3390/rs10091495>.

Hajj M., Baghdadi N., Zribi M., Bazzi H., « Synergic Use of Sentinel-1 and Sentinel-2 Images for Operational Soil Moisture Mapping at High Spatial Resolution over Agricultural Areas », *Remote Sensing*, 9 (12), 1292, 2017.

Pageot Y., Baup F., Inglada J., Baghdadi N., Demarez V., 2020. Detection of irrigated and rainfed crops in temperate areas using Sentinel-1 and Sentinel-2 time series. *Remote Sens.* 2020, 12, 3044; doi:10.3390/rs12183044

Thenkabail, P.S., Schull, M., Turrall, H., 2005. Ganges and Indus river basin land use/land cover (LULC) and irrigated area mapping using continuous streams of MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 95, 317–341. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.12.018>

7 Annexe : Produits humidité et indice de végétation NDVI

Produits	Cartes d'humidité du sol et de l'indice de végétation NDVI
Données	Sentinel-1 (radar) and Sentinel-2 (optique)
Résolution	Parcelle

Description du livrable

La base de données est composée des cartes d'estimation de l'humidité du sol (MV) et des cartes NDVI produites pour la région de la Bretagne pour les années 2017, 2018, 2019, 2020 et 2021.

La base de données MV livrée par l'INRAE est composée de deux dossiers (Figure 5) :

- 'MV' : contient les cartes d'humidité du sol produites à partir des données Sentinel-1 et Sentinel-2 (pour les années 2017, 2018, 2019, 2020 et 2021).
- 'NDVI' : contient les cartes NDVI produites à partir des données Sentinel-2 (pour les années 2017, 2018, 2019, 2020 et 2021).

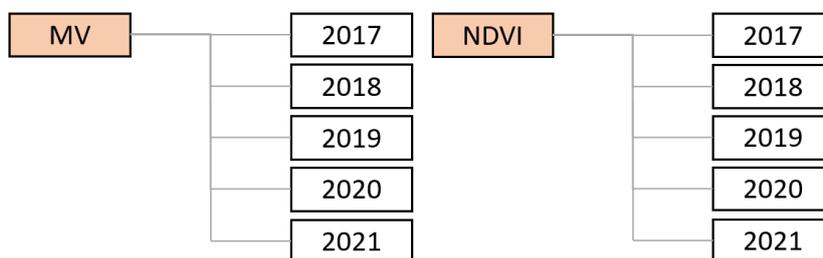


Figure 5. Organisation de la base de données livrée par l'INRAE

Format

Description du format : des cartes d'estimation de l'humidité du sol

Exemple : MV_S1A_Bretagne_20170105T180433_VV.TIF

Format de l'image	GeoTIFF
Structure des noms des fichiers	<p>MV_[Satellite]_[Localisation]_aaaannjjThhmss_[Polarisation].TIF</p> <ul style="list-style-type: none"> • [Satellite] : S1A ou S1B • [Localisation] : Localisation du site • aaaa : année • mm : mois • jj : jour d'acquisition <p>T est utilisé pour séparer la date et l'heure (UTC)</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • hh : heure • mm : minutes • ss: secondes • [Polarisation] : Vertical – Vertical
--	--

Description du format : des cartes NDVI

Exemple : NDVI_Bretagne_20170115.TIF

Format de l'image	GeoTIFF
Structure des noms des fichiers	NDVI_[Localisation]_aaaammjj.TIF <ul style="list-style-type: none"> • [Localisation] : Localisation du site • aaaa : année • mm : mois • jj : jour d'acquisition

Important :

- Les valeurs des cartes d'estimation de l'humidité du sol fournies (WGS84, EPSG : 4326) sont multipliées par 5. Afin de dériver la valeur d'humidité du sol estimée à partir des cartes fournies, il est nécessaire de diviser par 5.

$$\text{Estimation de l'humidité du sol (Vol. \%)} = \frac{\text{Valeur de la carte}}{5}$$

- Les valeurs des cartes NDVI fournies (WGS84, EPSG : 4326) sont multipliées par 100. Pour dériver la valeur NDVI des cartes, il est nécessaire de diviser la valeur obtenue par 100. Dans la gamme de valeurs classique (entre 0 et 1), le 0 correspond à un sol nu et 1 correspond à un milieu avec une couverture végétale très dense.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Valeur de la carte}}{100}$$

- **Note** : Si le NDVI d'une parcelle est supérieur à 0.7, l'estimation de MV est parfois éliminée si la contribution du sol dans le signal radar reçu est très faible (faible pénétration de l'onde radar dans le couvert végétal).
- **Note** : Toutes les images optiques acquises sur le site d'étude en excluant les images avec une forte couverture nuageuse ont été traitées. Les pixels masqués par des nuages sont codés « no-data ».

Contacts

Nicolas Baghdadi

Directeur de recherche INRAE, Email : nicolas.baghdadi@inrae.fr

Nuria Pantaleoni Reluy

Ingénieur d'étude INRAE, Email : nuria.pantaleoni-reluy@inrae.fr

INRAE, TETIS, Montpellier

