



La télédétection et GéoBretagne : méthodes, produits et exemples

August 8, 2017

Abstract

GéoBretagne a intégré des données de télédétection dans son catalogue. Dans un premier temps, 4 produits sont disponibles :

- le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) qui est un indice de végétation mettant en valeur le dynamisme de la végétation, par sa teneur en chlorophylle et la structure du couvert végétal
- l'Evaporative Fraction (EF), un indice indiquant la capacité d'une surface à évaporer qu'elle soit composée de végétation, ou non. Par exemple, il représente un indicateur pour identifier des situations de stress hydrique
- la température moyenne sur 8 jours de jour et de nuit par temps clair

Chacun de ces produits possède une dimension temporelle afin de suivre l'évolution de ceux-ci de manière intra et inter-annuelle. Le capteur MODIS a été choisi pour effectuer cette introduction à la télédétection.

Contents

1	Introduction	3
1.1	Capteur MODIS	3
1.2	Produits disponibles sur GéoBretagne	5
1.2.1	Indice de végétation : NDVI	5
1.2.2	Evaporative Fraction	6
1.2.3	Température de jour et de nuit	6
2	Méthodologie	6
2.1	Téléchargement des données MODIS	7
2.2	Génération des produits	8
2.2.1	Prétraitements	10
2.2.2	Calcul du NDVI	10
2.2.3	Modèle S-SEBI et coefficient Priestley-Taylor	10
2.2.4	Evaporative Fraction	11
2.3	Publication des produits sur un GeoServer	12
2.3.1	Initialisation du workspace, du store et du répertoire de données pour des données temporelles	12
2.3.2	Mise à jour d'un store temporel existant	13
3	Exemples d'interprétation des produits	14
3.1	Interprétation du NDVI	14
3.2	Interprétation de l'évolution temporelle du NDVI	15
3.3	Interprétation de l'Evaporative Fraction	16
3.4	Interprétation des températures de jour	17
3.5	Interprétation des températures de nuit	18
4	Conclusion et perspectives	18
5	Bibliographie	19
6	Crédits	19
7	Annexes	20

1 Introduction

La définition officielle de la télédétection est « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (COMITAAS, 1988).

La notion de "sans contact matériel avec ceux-ci" correspond à l'acquisition d'informations sur la Terre à partir de satellites, avions, drones ou simplement d'un appareil photo jeté en l'air (à vos risques et périls). Pour l'étude d'autres planètes, les télescopes effectuent également de la télédétection étant donné qu'ils ne sont pas en contact avec celles-ci.

L'acquisition d'informations s'opère par la mesure du spectre électromagnétique dans les domaines (figure 1) :

- du visible pour l'oeil humain, comme un appareil photo
- de l'invisible pour l'oeil humain :
 - l'infrarouge
 - les micro-ondes
 - laser

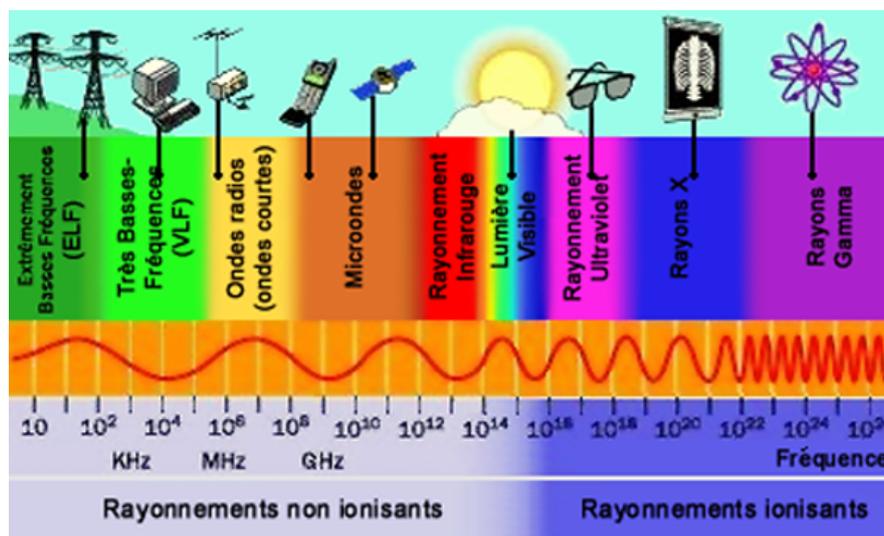


Figure 1: Représentation du spectre électromagnétique (source : astronoo.com)

Dans le cadre de cette introduction à la télédétection, les données dans les micro-ondes et les lasers ne sont pas abordées.

1.1 Capteur MODIS

Le capteur MODIS est un spectroradiomètre imageur (un appareil photo) se trouvant sur deux satellites (Terra et Aqua) (figure 2) mis en service par la NASA dont les données sont diffusées gratuitement.

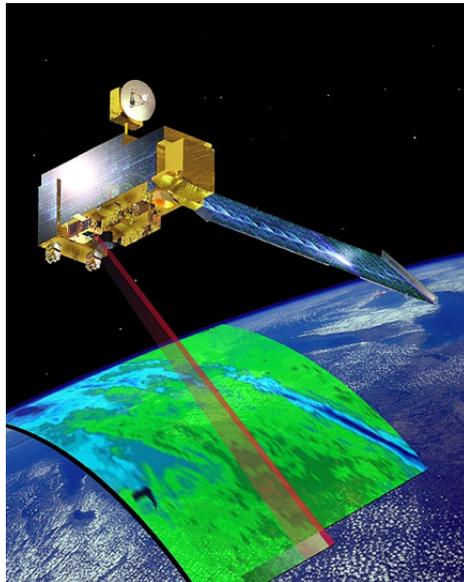


Figure 2: Représentation du satellite Terra avec le capteur MODIS

Ce capteur dispose d'une résolution spatiale allant de 250 mètres à 1 kilomètre avec une résolution temporelle journalière. Une image, ou tuile, de ce capteur couvre 2330 km² (figure 3).

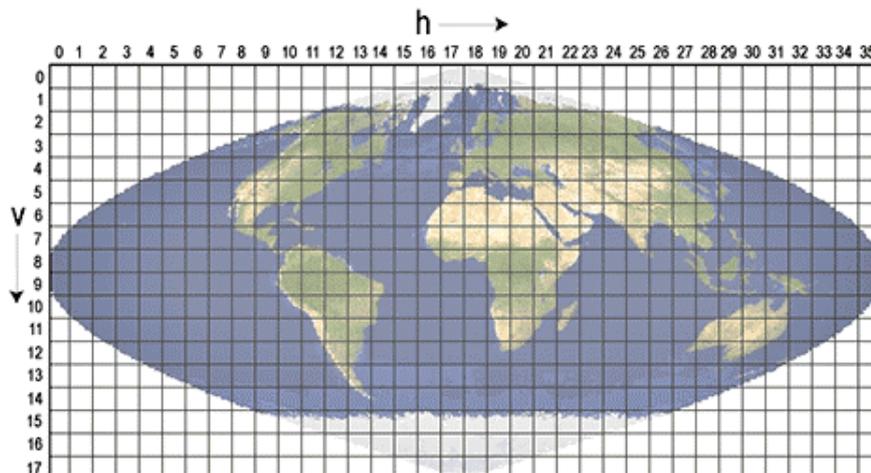


Figure 3: Grille d'acquisition des images MODIS

Généralement les études utilisant des images MODIS sont effectuées sur des paysages ouverts et non fragmentés en petites parcelles (Morton et al., 2006; Wardlow et al., 2006) comme la Bretagne. Cependant, ce capteur a été employé pour plusieurs de ses caractéristiques :

- des synthèses de 8 jours (valeur moyenne ou maximale, selon les produits, sur 8 jours) disponibles afin de limiter l'impact des nuages
- un capteur acquérant des informations dans l'infrarouge thermique (nécessaire pour calculer un indice)
- des archives importantes permettant d'avoir des données depuis l'an 2000

1.2 Produits disponibles sur GéoBretagne

Les premiers produits diffusés ont tous une dimension temporelle avec un pas de temps de 8 jours.

1.2.1 Indice de végétation : NDVI

Le NDVI (Rouse and Haas, 1973; Tucker, 1979) est un indice de végétation standard dans l'étude de la végétation (Gao, 1996). Cet indice se calcule avec les bandes électromagnétiques du rouge (R) et du proche infrarouge (Pir). Le résultat est normalisé entre -1 (autre que végétation tel l'eau) et 1 (végétation dynamique).

$$NDVI = \frac{P_{ir} - R}{P_{ir} + R}$$

Ces bandes sont employées d'après leur interaction avec la végétation. L'énergie de la bande du rouge est majoritairement absorbée par la végétation (chlorophylle), au contraire du proche infrarouge qui est réfléchi principalement par l'eau contenu dans la végétation (parenchyme lacuneux). Ainsi, plus la végétation sera dynamique, plus il y aura d'absorption dans le rouge et de réflectance dans le proche infrarouge. La figure 4 permet d'observer la signature spectrale de référence concernant la végétation (courbe verte).

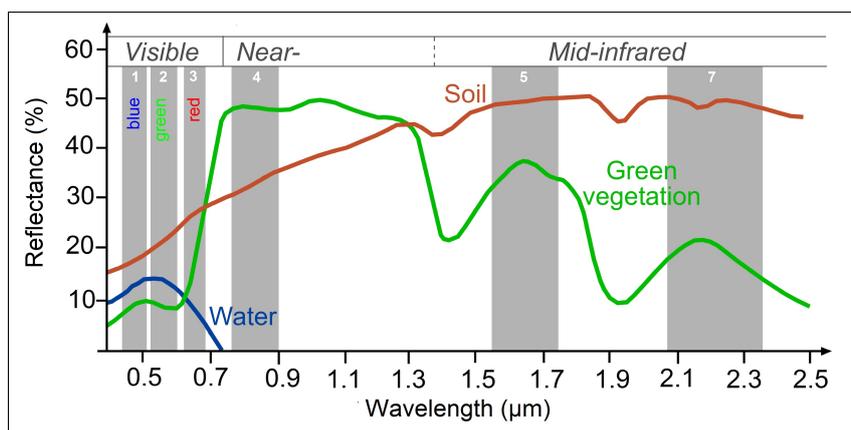


Figure 4: Signatures spectrales du sol, de l'eau et de la végétation vis à vis du spectre électromagnétique entre 350 et 2500nm. Source: SEOS Project

Ainsi, le NDVI calcule la différence de réflectance entre le rouge et le proche infrarouge. Plus cette différence est importante, plus la végétation sera dynamique et le NDVI proche de 1. Sur la figure 4, la signature spectrale de l'eau

et du sol sont également observables. De part l'utilisation du rouge et du proche infrarouge pour calculer le NDVI, il est compréhensible que cet indice permet également de distinguer ces deux occupations du sol.

Concernant l'eau, sa réflectance est nulle dans le proche infrarouge et légère dans le rouge, ayant pour effet d'avoir un NDVI inférieur à 0. Pour le sol, selon différents paramètres (couleur, composition, humidité, rugosité) les réflectances dans le rouge et le proche infrarouge sont équivalentes, induisant un NDVI proche de 0.

Cet indice permet, par exemple, d'effectuer une classification de l'occupation du sol. De part l'aspect temporel mis en avant sur GéoBretagne, cet indice permet également de suivre la phénologie de la végétation. Il est ainsi possible de déterminer l'usage des sols (Patakamuri et al., 2014).

1.2.2 Evaporative Fraction

L'Evaporative Fraction est un indice permettant d'estimer la capacité d'une surface à évaporer, qu'elle soit composée de végétation ou non. Il représente ainsi un indicateur pour, par exemple, identifier des situations de stress hydrique (Bastiaanssen et al., 2003; Nutini et al., 2014) particulièrement à partir d'une série temporelle (disponible sur GéoBretagne). L'utilisation de données auxiliaires, comme les précipitations, il est possible d'affiner cette information.

Il est aussi employé pour estimer l'évapotranspiration réelle des surfaces continentales. Cet indice se calcule avec un autre indice renseignant sur la couverture de la végétation (Fraction of Vegetation Cover) calculé à partir du NDVI et des mesures de températures de jour et de nuit. Les valeurs de cet indice vont de 0 (surface non évaporante) à 1.26 (surface très évaporante). Le modèle S-SEBI (Roerink et al., 2000) et le coefficient de Priestley-Taylor sont employés pour calculer EF.

1.2.3 Température de jour et de nuit

Ces deux mesures sont téléchargeables sous la dénomination du produit MODIS MOD11A2. Ces données correspondent à la température moyenne (en kelvin) par temps clair sur 8 jours de jour et de nuit. Elles sont utilisées pour calculer EF. Ces températures sont diffusées sur GéoBretagne puisque plusieurs informations sont accessibles à partir de celles-ci. Par exemple, les îlots de chaleur urbains avec les températures de nuit ou les milieux humides/aquatiques avec les températures de jour, et de nuit, étant donné leur amplitude thermique plus faible que le sol et la végétation.

2 Méthodologie

La chaîne de traitement développée pour générer et rendre accessible ces produits sur GéoBretagne se divise en 3 parties :

1. Téléchargement des images MODIS
2. Génération des produits
3. Publication des produits sur un GeoServer

Remarque : Pour tous les produits à publier sur le Geoserver, il est impératif de respecter cette nomenclature : Nom_YYYYMMDD.tif. Dans le cas contraire, le GeoServer (d'après un fichier de configuration) ne sera pas capable de gérer l'aspect temporel de l'image.

2.1 Téléchargement des données MODIS

Les produits MODIS nécessaires pour les traitements sont MOD09Q1 (bandes du rouge, du proche infrarouge et masque des nuages) à 250m de résolution spatiale et MOD11A2 (température de jour et de nuit) à 1km. La tuile à télécharger est la h17v04. Les archives pour ces produits débutent au 18 Février 2000 et une nouvelle image est ajoutée tous les 8 jours. Ces produits sont disponibles sur à cette adresse https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool1. Un compte à cette adresse <https://urs.earthdata.nasa.gov/> est nécessaire pour effectuer des téléchargements.

Le téléchargement des images repose sur différents critères, c'est à dire le site de téléchargement, le produit, la tuile et la date dont voici le fonctionnement du script (figure 5) :

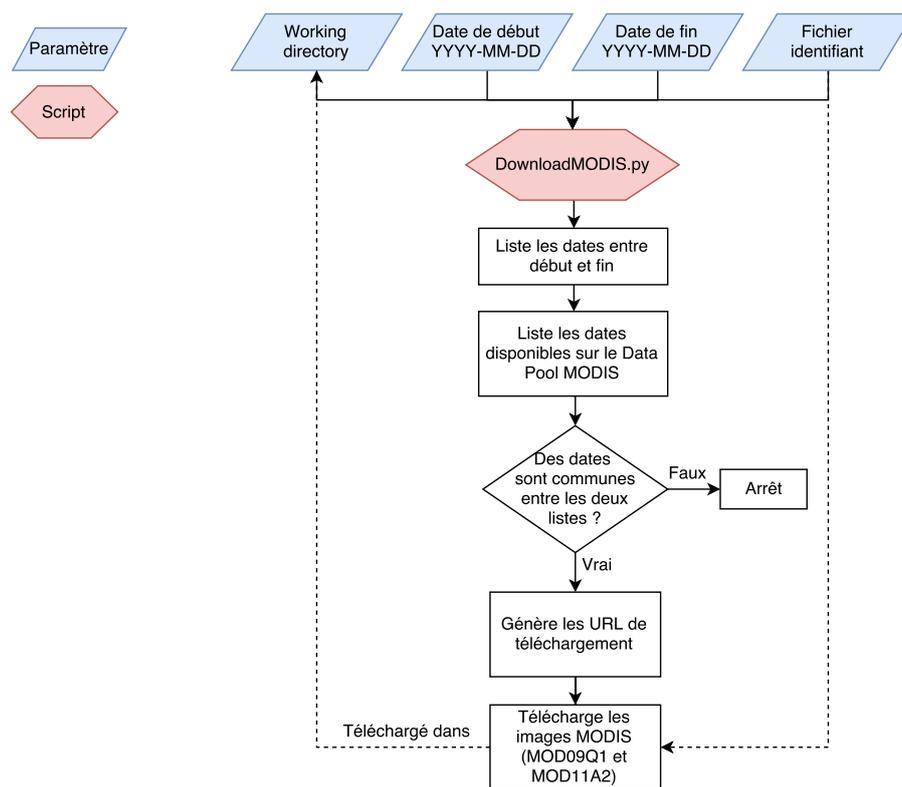


Figure 5: Organigramme du téléchargement des produits MODIS.

Le téléchargement s'effectue avec la requête suivante :
`"curl --netrc-file (1) -L -c (2).cookies -b (2).cookies (3) --output (4)"`

- (1) fichier contenant les identifiants pour télécharger les images
- (2) répertoire où produire et lire un cookie concernant la session de téléchargement en cours (suite à une redirection d'url)
- (3) url du fichier à télécharger
- (4) chemin et nom du fichier téléchargé

Les images sont téléchargées dans un répertoire nommé "usgs". Dans celui-ci se trouve les images (au format HDF) pour chacun des produits et chacune des dates, ainsi que leurs métadonnées.

2.2 Génération des produits

La production des produits s'opère en 4 étapes :

1. Prétraitement des images
2. Calcul du NDVI
3. Application de modèles
4. Calcul de EF

Le fonctionnement du script pour réaliser les produits diffusés sur GéoBretagne est présenté sur la figure 6.

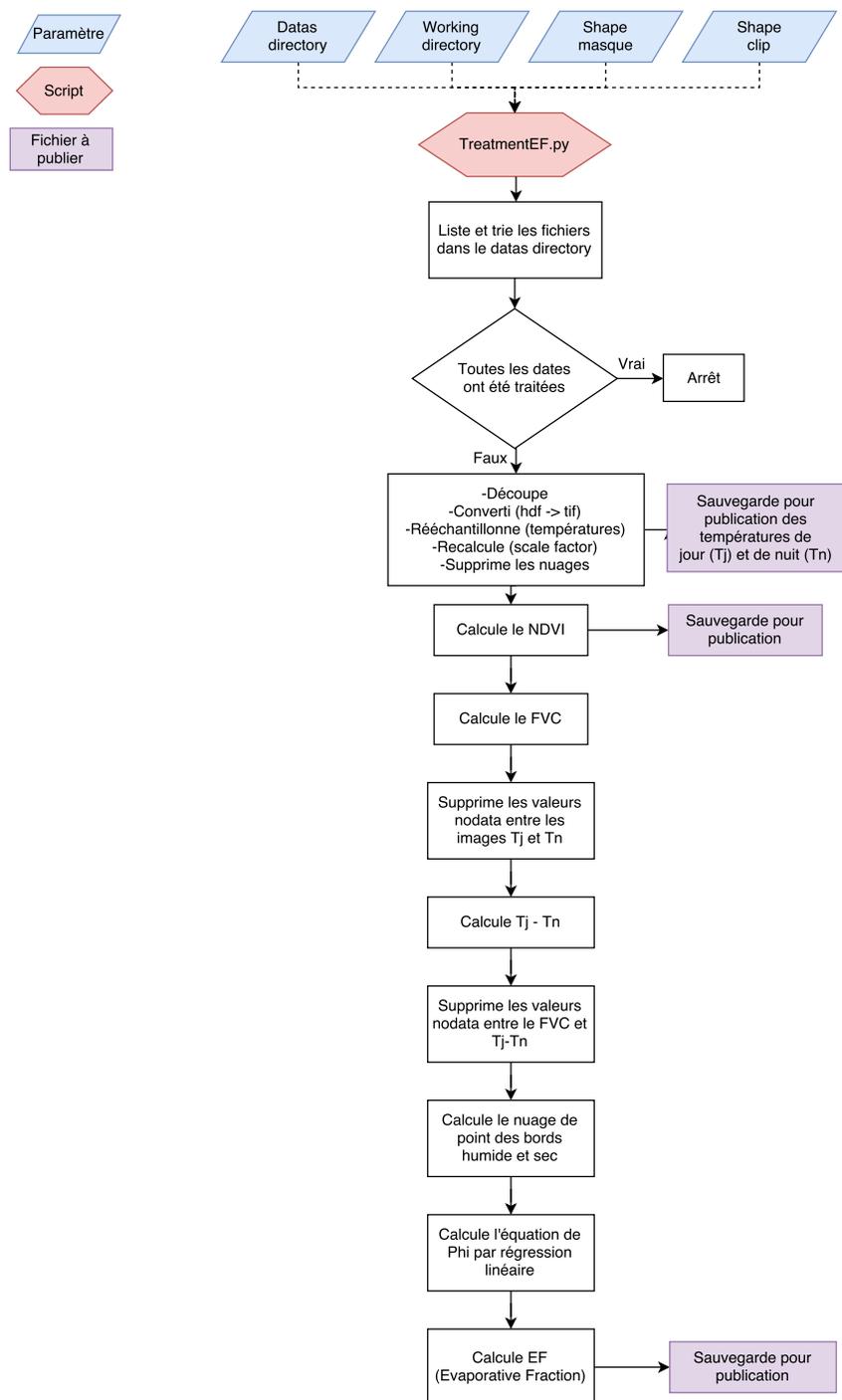


Figure 6: Organigramme de la génération des indices diffusés sur GéoBretagne.

Tout d'abord, le script va lister tous les fichiers téléchargés. Puis, pour chaque date n'ayant pas encore été traitée (test sur l'existence du fichier EF de la date en cours), exécute le script de génération des produits.

2.2.1 Prétraitements

Les images téléchargées nécessitent des prétraitements avant de générer les produits. Ils consistent à :

- Extraction des images : les images téléchargées sont au format HDF faisant que toutes les images d'un produit sont dans un seul fichier. Il est donc nécessaire d'extraire celles-ci. Pour cela, l'outil "gdal_translate" est employé.
- Reprojection : les images sont reprojctées en Lambert 93 (epsg:2154) en respect envers la directive INSPIRE avec l'outil "gdalwarp".
- Découpage et masquage : les images couvrent un territoire plus vaste que la Bretagne et la mer ne possède pas d'informations pertinente vis à vis des indices diffusés. Il est donc nécessaire de découper les images et de supprimer les pixels de mer. Le découpage s'effectue avec "gdalwarp" et la suppression des pixels de mer s'effectue en 3 étapes :
 - créer un raster vide de même dimension que la zone découpée
 - superposer ce raster avec le fichier shape servant de masque pour faire un masque binaire avec "gdal_rasterize"
 - appliquer ce masque pour modifier les valeurs
- Rééchantillonnage : les deux produits téléchargés ont une résolution spatiale différente, il n'est donc pas possible de les superposer (pour effectuer des traitements). Un rééchantillonnage est donc nécessaire. Les températures à 1km de résolution sont rééchantillonnées à 250m.
- Recalcul des valeurs : pour une raison de stockage, les images téléchargées ont des valeurs entières. Un facteur d'échelle à appliquer à tous les produits est accessible sur le site de la LP DAAC pour obtenir les réflectances.
- Suppression des nuages : malgré le fait que ce sont des synthèses de 8 jours qui sont utilisées pour générer les produits diffusés sur GéoBretagne, des nuages peuvent subsister. Dans un soucis de compréhension simplifié, il a été décidé qu'il était préférable de diffuser des zones sans données. Ainsi, d'après l'image "qualité" disponible dans le produit MOD09Q1, toutes les zones nuageuses ont été supprimées.

2.2.2 Calcul du NDVI

L'étape suivante consiste à calculer le NDVI. Pour calculer EF, les valeurs inférieures à 0 et supérieures à 1 (quelques pixels de mer non masqués ayant des valeurs aberrantes) sont supprimés. Ce changement de valeurs n'est pas répercuté sur le produit NDVI diffusé sur GéoBretagne.

2.2.3 Modèle S-SEBI et coefficient Priestley-Taylor

Pour appliquer le modèle S-SEBI et générer le coefficient de Priestley-Taylor, il est nécessaire de calculer le Fractional Vegetation Cover (FVC) et calculer la température de surface (figure 7).

(a) FVC

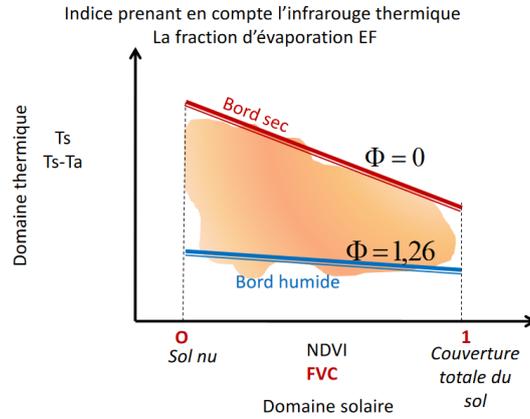


Figure 7: Graphique représentant le modèle S-SEBI pour générer le coefficient de Priestley-Taylor afin de calculer l'Evaporative Fraction.

Cet indice représente la couverture de la végétation sur le sol. Plus l'indice est proche de 1, plus le sol est recouvert par la végétation et inversement. Il se calcule de la manière suivante :

$$FVC = \left(\frac{NDVI - \min NDVI}{\max NDVI - \min NDVI} \right)^2$$

(b) Température $T_j - T_n$

Pour calculer cette valeur, il est nécessaire de reporter les pixels sans données d'une image sur l'autre. Si cette étape n'est pas effectuée, des températures aberrantes vont être générées suite à la soustraction. Ces pixels sans données seront également à supprimer sur le FVC avant d'opérer le traitement suivant. Rq : Il arrive que certaines dates ne disposent pas de mesures de températures (couverture nuageuse permanente sur 8 jours).

Avec le FVC et l'image $T_j - T_n$, nous pouvons produire un nuage de points représentant les pixels (figure 7) et récupérer uniquement les points composant les bords sec et humides pour calculer le coefficient de Priestley-Taylor. Ce coefficient, ainsi que l'équation de droite associé, sont obtenus après une double interpolation pour ces deux bords suivis d'une régression linéaire entre eux (figure 8).

2.2.4 Evaporative Fraction

Le calcul de cet indice se déroule en plusieurs étapes :

1. Calcul de la température maximale d'après l'équation de droite obtenue précédemment
2. Avec cette température, calcul du coefficient de Priestley-Taylor :

$$\Phi = \left(\frac{T_{max} - T_j T_n}{T_{max} - T_{min}} \right) * 1.26$$

3. Calcul de la température moyenne :

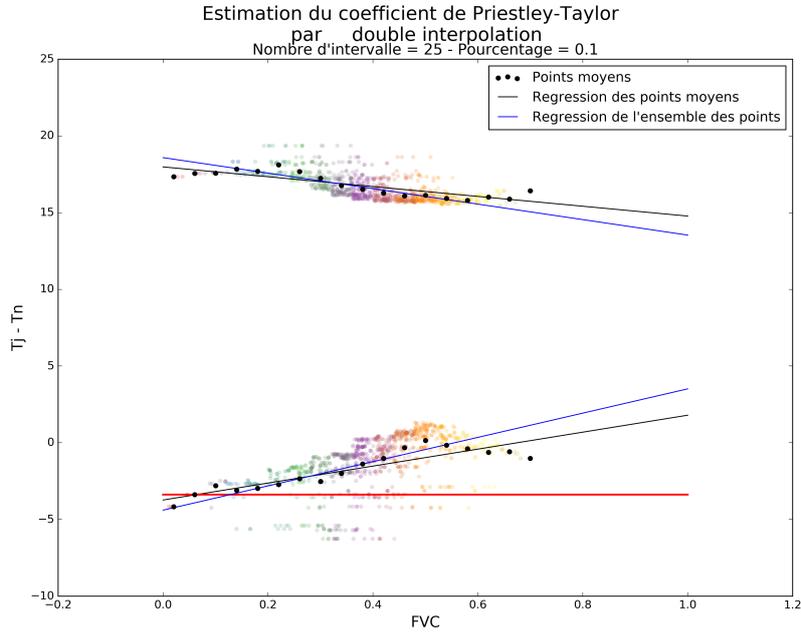


Figure 8: Estimation du coefficient de Priestley-Taylor par double interpolation afin de calculer l'Evaporative Fraction.

$$T_{moy} = (T_j + T_n) / 2$$

4. Calcul de ESatTa :

$$ESatTa = (1000 * \exp(52.57633 - (\frac{6790.4985}{T_{moy}}) - 5.02808 * \log(T_{moy})))$$

5. Calcul de delta :

$$delta = (\frac{ESatTa}{T_{moy}}) * ((\frac{6790.4985}{T_{moy}}) - 5.02808)$$

6. Calcul de EF :

$$EF = (\frac{delta}{(delta + 66)}) * Phi$$

Nous obtenons une image renseignant sur la capacité d'un sol à évaporer. L'étape suivante consiste à publier ces données sur un GeoServer.

2.3 Publication des produits sur un GeoServer

2.3.1 Initialisation du workspace, du store et du répertoire de données pour des données temporelles

Ci-dessous la démarche à adopter pour générer un store temporel avec des données formalisés pour celui-ci.

1. Création du workspace en nommant celui-ci.
2. Créer un dossier puis placer les images correspondant à la série temporelle dans celui-ci. De plus, ajouter dans ce dossier deux fichiers de configurations pour exploiter la dimension temporelle des images :
 - `indexer.properties` avec :
 - `TimeAttribute=time` (nom de l'attribut temporel)
 - `ElevationAttribute=elevation` (dans le cas d'une dimension altitudinale)
 - `Schema=*the_geom:Polygon,location:String,time:java.util.Date,elevation:Integer`
 - `PropertyCollectors=TimestampFileNameExtractorSPI[timeregex](time)`
 - `timeregex.properties` avec :
 - `regex=[0-9]8` (pour indiquer que la date est au format YYYYMMDD)
3. Création du store avec l'extension `ImageMosaic` et en indiquant le répertoire contenant les images et les deux fichiers de configuration.
4. Création du layer en renseignant :
 - onglet `Data` : dans la cellule `sorting` "`time D`" pour trier les dates (time correspondant au nom de l'attribut indiqué dans `indexer.properties`) par ordre décroissant (`D`)
 - onglet `Dimensions` : activer le `time` et choisir une présentation "`List`"
5. Le store temporel est configuré, la mise à jour passera par un script.

Ces étapes sont à effectuer manuellement.

2.3.2 Mise à jour d'un store temporel existant

Un script effectue cette étape et possède 5 paramètres en entrée :

- l'url du Geoserver
- le workspace du produit
- le store du produit
- un fichier d'identifiant pour le GeoServer
- le répertoire sur le serveur contenant le produit à publier

Ce script publie un seul produit à la fois, il est donc à exécuter autant de fois que nécessaire.

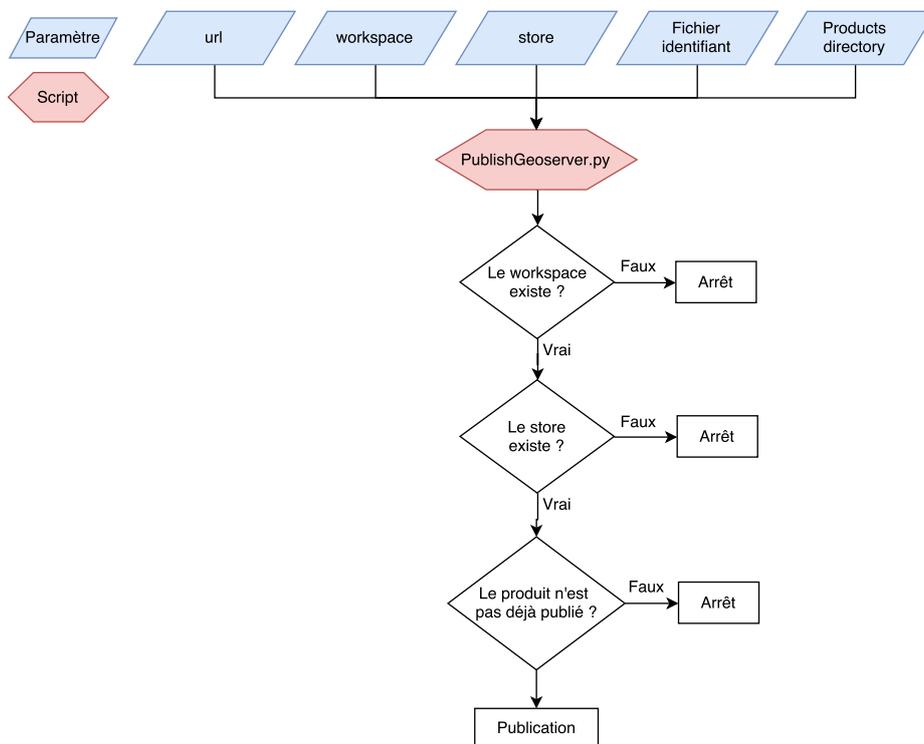


Figure 9: Organigramme des étapes pour la publication des indices sur un GeoServer.

Ainsi, la publication passe par plusieurs test afin de contrôler si le workspace, le store et la couche existent déjà (figure 9). Dans les deux premiers test, il n'est pas possible de publier la couche en leur absence et le troisième test évite de publier plusieurs fois la même image.

Si les tests sont réussis, alors cette commande est exécutée pour publier l'image :

```
"curl -v -u login:password -XPOST -H 'Content-type: text/plain'
-d 'file://data/XX_YYYYMMDD.tif' 'http://geoserver/rest
/workspaces/workspace/coveragestores/store/external.imagemosaic'"
```

3 Exemples d'interprétation des produits

Ce chapitre a pour objectif de présenter l'interprétation de chacun des produits diffusés.

3.1 Interprétation du NDVI

Le NDVI est un indice de végétation permettant de déterminer l'occupation du sol. D'après le fonctionnement de cet indice (1.2.1), il est possible de distinguer sur la figure 10 les espaces forestiers avec un NDVI élevé, la ville de Rennes avec un NDVI nul et l'embouchure de la Loire avec des valeurs négatives.

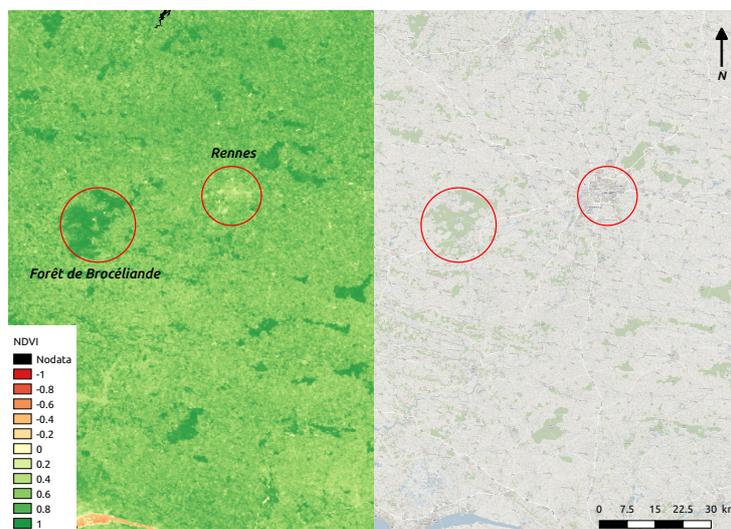


Figure 10: NDVI au 18 Juin 2017 (à gauche) permettant de distinguer les espaces forestiers, la ville de Rennes et l’embouchure de la Loire.

3.2 Interprétation de l’évolution temporelle du NDVI

L’intérêt d’une série temporelle est de pouvoir suivre l’évolution d’un phénomène. Il est important de prendre en compte l’occupation et l’usage des sols qui en est fait chaque année. Par exemple, dans le cas de parcelles agricoles, il est primordial de prendre en compte la rotation des cultures pour effectuer une analyse pertinente.

Dans le cadre de cet exemple, nous allons observer l’évolution du NDVI sur le marais du Parc Naturel Régional (PNR) de Brière. Avant tout, à cause des nuages, certaines dates ne disposent pas d’informations sur le PNR. Ce manque de données s’identifie par des ruptures dans la courbe de la figure 11.

Cette courbe présente une forme sinusoïdale correspondant aux saisons de végétations (croissance, stagnation, diminution). Ces différentes étapes peuvent être décalées dans le temps selon les objets observés. Par exemple, une culture de blé aura une phase de croissance à partir de novembre-décembre (tallage) au contraire d’une prairie où la croissance s’effectuera à partir de mars.

La série temporelle accessible sur GéoBretagne présente l’avantage de couvrir différents aléas comme la canicule de 2003. Pour cet exemple, 2 années ont été sélectionnées avant et après celui-ci (figure 11).

Sur le marais du PNR de Brière, cet aléa ne se distingue pas vis à vis des autres années, probablement pour deux raisons :

- le marais, ayant une réserve en eau importante, a su conserver un niveau correct durant la canicule induisant aucun impact sur la végétation
- l’arrêt du traitement chimique visant à éliminer la Jussie, en plus de la canicule, a considérablement accéléré le développement de la Jussie (Leplat M., 2005), raison pour laquelle nous n’observons aucune diminution du NDVI

De même, le NDVI ne diminue plus autant en hiver à partir de 2003, laisser supposer une colonisation important de la Jussie au détriment des surfaces en eau libre.

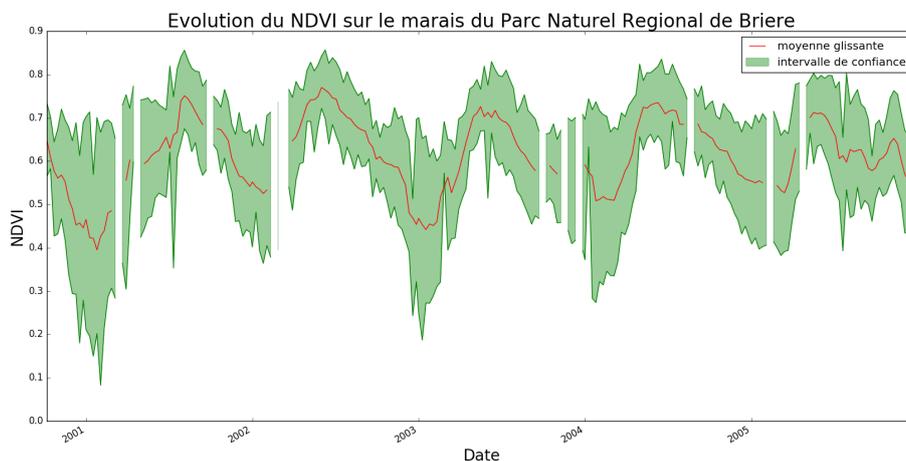


Figure 11: Représentation de l'évolution du NDVI entre début 2001 et fin 2005 sur le Parc Naturel Régional de Brière.

3.3 Interprétation de l'Evaporative Fraction

EF est un indice renseignant sur la capacité d'une surface à évaporer, qu'elle soit composée de végétation ou non. D'après la figure 12, la moitié sud de l'image évapore peu, sauf quelques endroits correspondant aux espaces forestiers et au PNR de Brière. Ainsi, ne pas observer cette différence d'évaporation signifierai un stress hydrique important mettant en péril ces espaces.

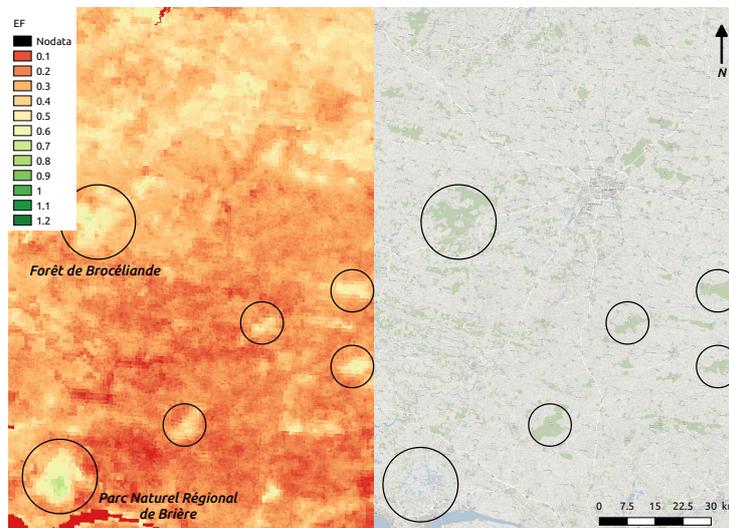


Figure 12: Evaporative Fraction au 18 Juin 2017 (à gauche) permettant de distinguer les espaces forestiers et le PNR de Brière et d'estimer le stress hydrique.

3.4 Interprétation des températures de jour

La température de jour correspond à la température moyenne sur 8 jours par temps clair. Cette mesure, en kelvin, est un produit diffusé par l'USGS sous le terme MOD11A2. Cette donnée est nécessaire pour calculer EF. Compte-tenu des éléments discernables (zones humides, forêts, zones urbaines) à partir de cette température (figure 13), il a été décidé de mettre à disposition cette information.

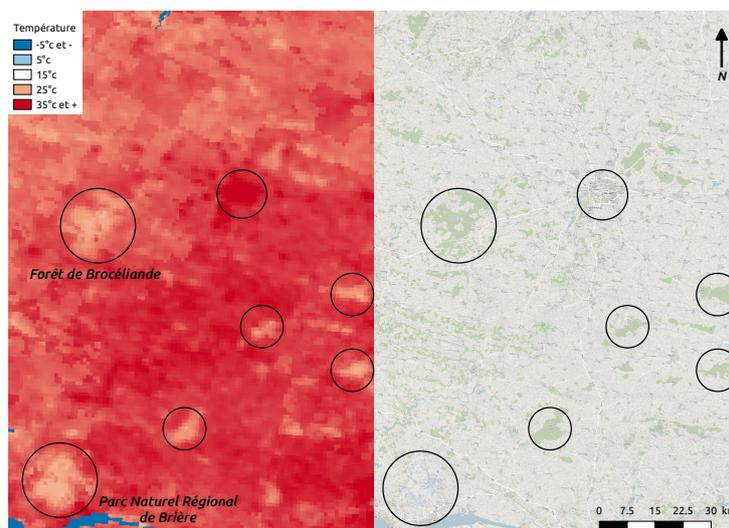


Figure 13: Température de jour au 18 Juin 2017 (à gauche) permettant de distinguer les espaces forestiers, le PNR de Brière et Rennes.

3.5 Interprétation des températures de nuit

La température de nuit correspond à la température moyenne sur 8 jours par temps clair. Cette mesure, en kelvin, est un produit diffusé par l'USGS sous le terme MOD11A2. Cette donnée est nécessaire pour calculer EF, et compte-tenu des éléments discernables (principalement les îlots de chaleur urbains tel que Rennes) à partir de cette température (figure 14), il a été décidé de mettre à disposition cette information.

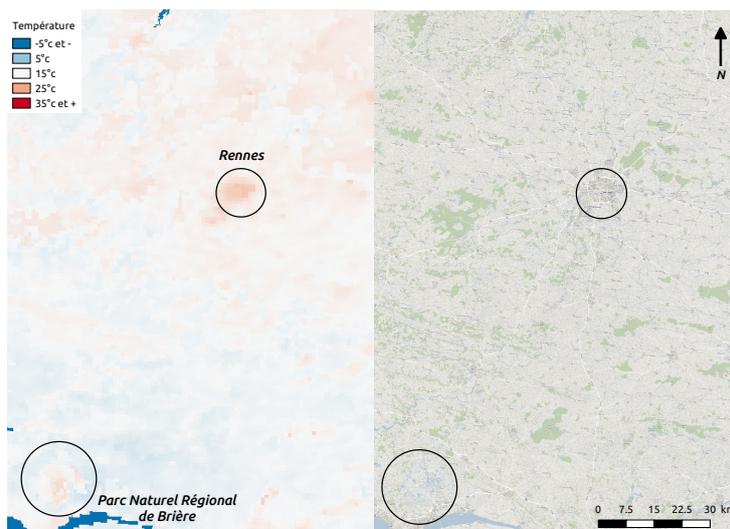


Figure 14: Température de nuit au 18 Juin 2017 (à gauche) permettant de distinguer la ville de Rennes (îlot de chaleur urbain) et le PNR de Brière.

4 Conclusion et perspectives

La télédétection est un outil permettant d'acquérir des informations invisibles à l'oeil sans avoir besoin d'aller sur le terrain pour les acquérir. Elle permet également d'optimiser des enquêtes nécessitant du personnel et coûteuses en temps. Il est donc possible d'effectuer un suivi sur un paysage ou tout autre éléments composant la biosphère à moindre coût et de manière plus constante. En effet, certains phénomènes ne peuvent être décrit et compris sans cette dimension (déforestation, urbanisation, érosion).

GéoBretagne souhaite donc rendre accessible nombre de ces informations pour permettre d'optimiser les études effectués en Bretagne en fournissant des produits permettant de répondre aux problématiques actuelles et futures du territoire.

Cependant, la résolution spatiale de MODIS n'est pas adaptée pour observer les bosquets, petites parcelles et les haies, entre autres. Il est donc envisagé d'utiliser le capteur avec une meilleure résolution (Landsat, Sentinel) afin d'apporter toujours plus d'informations sur le territoire.

5 Bibliographie

- Bastiaanssen W.G.M., Ali, S. (2003). "A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan". *Agric. Ecosyst. Environ.* 94, pp.321–340.
- Gao B.-C. (1996). "NDWI : A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space", *Proceeding of SPIE*. Vol.58, no.3, pp.257-266.
- Leplat Mélody.(2005). "Les proliférations de Jussies sous l'angle économique". Mémoire. Université de Bretagne occidentale - Agrocampus Rennes
- Morton, D. C., DeFries, R. S., Shimabukuro, Y. E., Anderson, L. O., Arai, E., del Bon Espirito-Santo, F., Freitas, R. et Morissette, J., (2006). "Crop-land expansion changes deforestation dynamics in the southern Brazilian Amazon", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(39):14637.
- Nutini F., Boschetti M., Candiani G., Bocchi S., Brivio P.A., (2014). "Evaporative Fraction as an indicator of moisture condition and water stress status in semi-arid rangeland ecosystems". *Remote sens.*, 6, pp.6300-6323.
- Patakamuri S.K., Agrawal S., Krishnaveni M. (2014). "Time-series analysis of MODIS NDVI data along with ancillary data for land use/land cover mapping of Uttarakhand". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XL-8, ISPRS Technical Commission VIII Symposium, pp.1491–1500
- Roerink G., Su Z., Menenti M. (2000). "S-SEBI: A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance". *Phys. Chem. Earth Part B* 25, pp.147–157.
- Rouse and Haas, (1973). "Monitoring vegetation systems in the great plain with ERTS", *Third ERTS Symposium*, Washington DC: NASA, no.1, pp.309-317.
- Tucker, (1979). "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation", *Remote Sensing of the Environment*, no.8, pp.127–150.
- Wardlow, B.D., Kastens, J.H. et Egbert, S.L. (2006). "Using USDA crop progress data for the evaluation of greenup onset date calculated from MODIS 250meter data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 72(11), 1225-1234.

6 Crédits

- The MOD09Q1 and MOD11A2 datas products were retrieved from the online Data Pool, courtesy of the NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC), USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota, <https://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/>.

- Limitation d'utilisation Usage libre sous réserve des mentions obligatoires sur tout document de diffusion : "Source : UMR 1069 SAS INRA - Agrocampus Ouest / US 1106 InfoSol INRA"

7 Annexes

- Pour télécharger une image, il faut produire ce type de requête :
`http://geowww.agrocampus-ouest.fr/geoserver/wcs?
request=GetCoverage&service=WCS&version=2.0.1&
coverageId=psn__ndvi_modis_bretagne&
Format=image/geotiff&
SUBSET=time("2017-06-10T00:00:00.000Z")`

Les variables à modifier sont :

- coverageId en remplaçant ndvi par ef, tempjour ou tempnuit
- time en remplaçant l'année, le mois et le jour par la date souhaitée