

La télédétection et GéoBretagne : méthodes, produits et analyses

July 24, 2017

Abstract

GéoBretagne a intégré des données de télédétection à 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.

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 (télécommande, capteur thermique)
 - les micro-ondes (téléphone, radar)

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

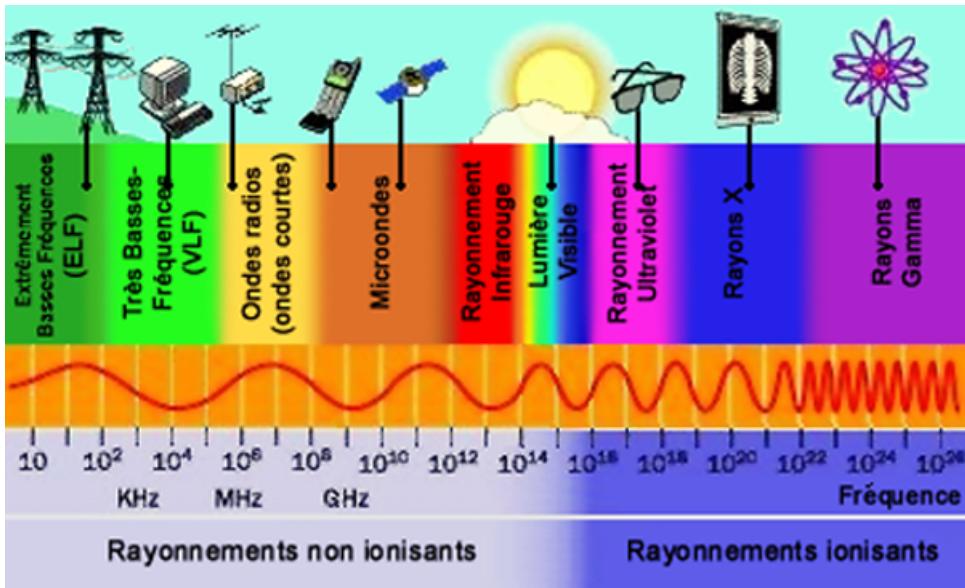


Figure 1: Représentation du spectre électromagnétique (source : astronoo.com)

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 par l'United States Geological Survey (USGS) .

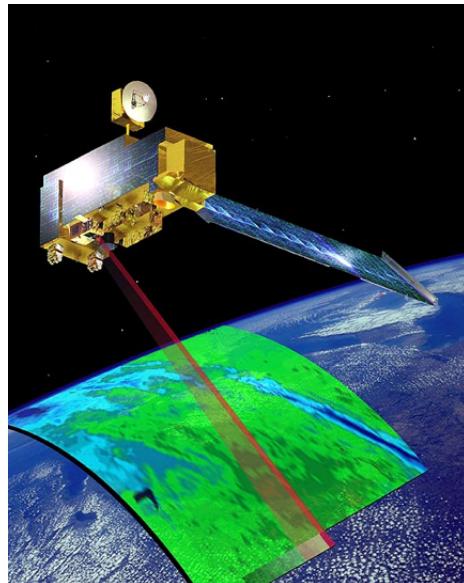


Figure 2: Représentation du satellite Terra avec le capteur MODIS

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

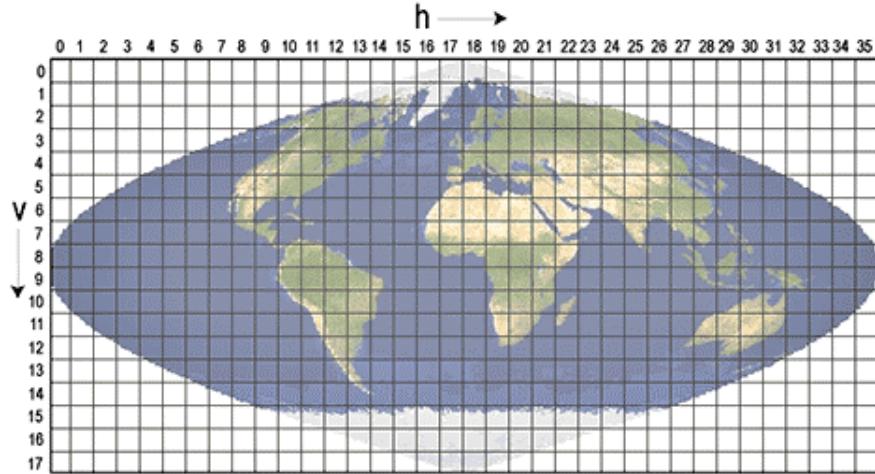


Figure 3: Grille d'acquisition des images MODIS

Ce capteur a été sélectionné pour plusieurs de ses caractéristiques, bien que 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 :

- une résolution temporelle journalière et des synthèses de 8 jours (valeur moyenne ou maximale, selon les produits, sur 8 jours)
- un capteur acquérant des informations dans l'infrarouge thermique (nécessaire pour calculer EF), particulièrement de jour et de nuit
- des archives importantes (il est possible d'avoir des données à partir de l'an 2000) pour l'aspect temporel mis en avant sur GéoBretagne

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 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).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{Pir} - R}{\text{Pir} + R}$$

Ces bandes sont employées d'après l'interaction des bandes du rouge et du proche infrarouge 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). De même, plus la végétation sera dynamique, plus il y aura d'absorption dans la bande du rouge et de réflectance pour celle du proche infrarouge.

La figure 4 permet de distinguer la réflectance type de la végétation (en vert), de l'eau (en bleu) et du sol (en rouge). Les bandes sont représentées par les zones grisées avec celle du rouge (3) et du proche infrarouge (4). Ainsi, le NDVI calcule la différence de réflectance entre les 2 bandes. Plus cette différence est importante (comme sur la figure 4), plus la végétation sera dynamique et le NDVI proche de 1. Concernant l'eau, sa réflectance est nulle dans le proche infrarouge, 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.

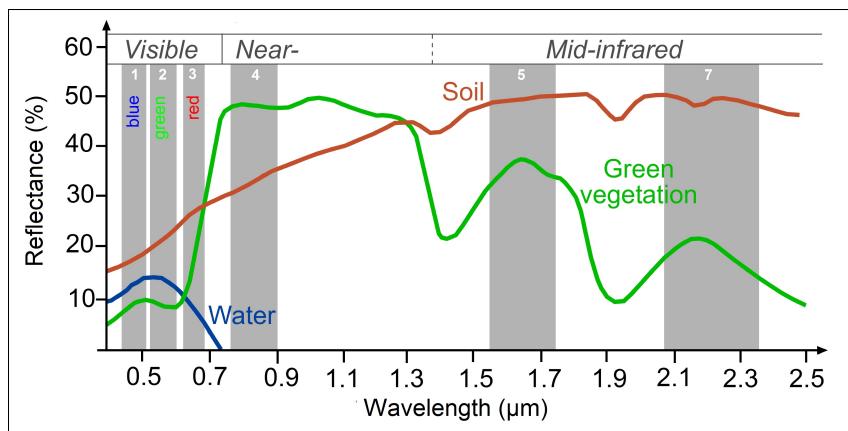


Figure 4: Signatures spectrales du sol, de l'eau et de la végétation vis à vis du spectre électromagnétique entre 350 et 2500nm. Source: SEOS Project

Cet indice permet 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. De cette manière, il est possible de déterminer l'usage des sols (Patakamuri et al., 2014).

1.2.2 Evaporative Fraction

L'Evaporative Fraction est un indice mettant en valeur 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). Elle est aussi une donnée servant à alimenter des modèles qui permettront l'estimation de l'évapotranspiration réelle des surfaces continentales. Cet indice se calcule avec le NDVI et des mesures de températures de jour et de nuit que ce soit par télédétection (in-

frarouge thermique) ou non (thermomètre). 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.

De cette manière, il est possible de définir le stress hydrique de la végétation, particulièrement à partir d'une série temporelle (disponible sur GéoBretagne), mais aussi en combinant d'autres informations. En effet, si le sol évapore beaucoup, alors que les précipitations sont faibles, il est probable d'observer une sécheresse.

1.2.3 Température de jour et de nuit

Ces deux données sont mis à disposition par l'USGS-LP DAAC 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. Cette donnée est utilisée pour calculer EF. Ces températures sont également disponibles sur GéoBretagne étant donné que plusieurs informations sont accessibles, tel les îlots de chaleur urbains avec les températures de nuit ou les milieux humides/aquatiques avec les températures de jour ou 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 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 (dans la configuration actuelle) 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 et du proche infrarouge) à 250m de résolution spatiale et MOD11A2 (température de jour et de nuit) à 1km. La tuile à télécharger est la h17v04. Ces produits sont disponibles sur la plateforme de téléchargement LP DAAC de l'USGS https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool. Les archives pour ces produits débutent au 18 Février 2000 et une nouvelle image est ajoutée tous les 8 jours (approximativement).

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

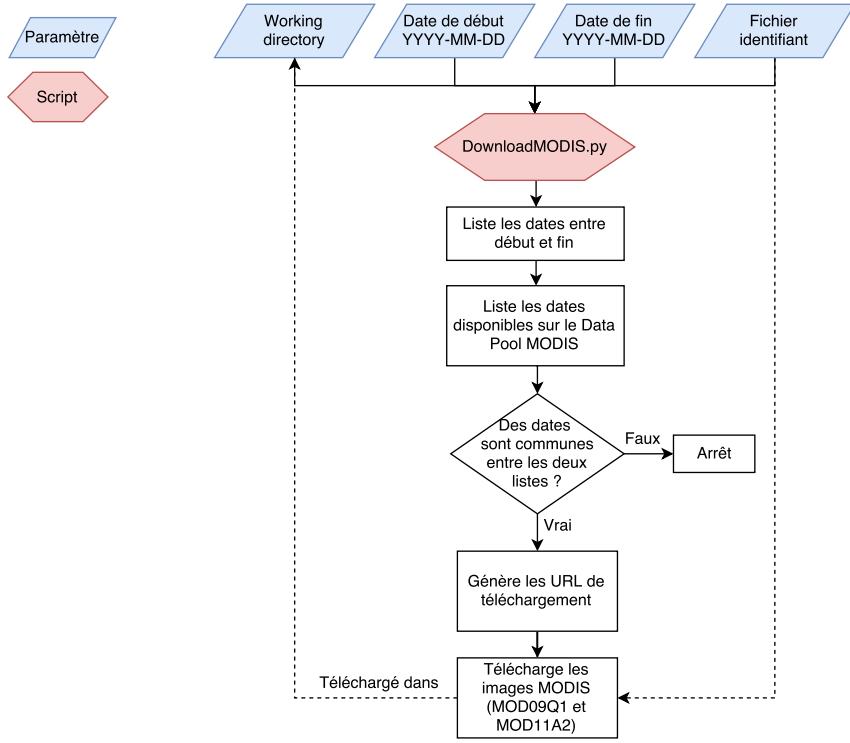


Figure 5: Organigramme des étapes nécessaires pour le téléchargement des produits MODIS.

2.2 Génération des produits

La production des produits diffusés s'opère en 3 étapes :

1. Contrôle des dates déjà traitées
2. Prétraitement des images
3. Génération des produits

Le fonctionnement du script pour réaliser les produits diffusés sur GéoBretagne est le suivant (figure 6) :

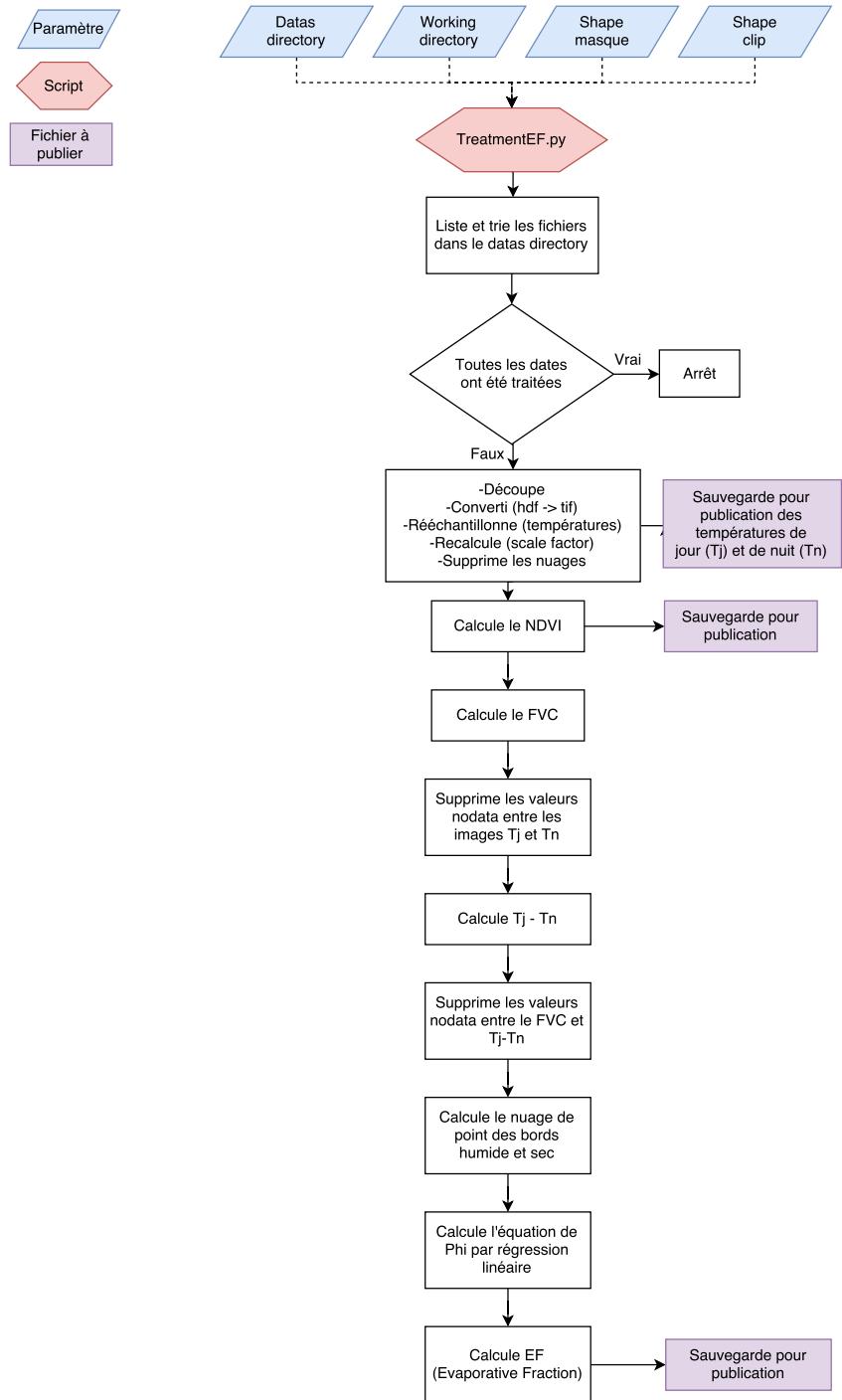


Figure 6: Organigramme des étapes pour la génération des indices diffusés sur GéoBretagne.

Les paramètres en entrée du script sont :

- le dossier contenant les images téléchargées précédemment
- le dossier où enregistrer les produits générés
- un shapefile pour découper les images (échelle de la Bretagne)
- un shapefile pour masquer les pixels de la mer

2.2.1 Prétraitements

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

- découper les images à l'échelle de la Bretagne et supprimer les pixels de la mer
- changer le format de fichier des images (hdf vers tif)
- rééchantillonner les images des températures (1km vers 250m)
- recalculer les valeurs selon un facteur indiqué sur le site de l'USGS
- éliminer les nuages des images

Les températures sont directement publiables, aucun traitement supplémentaire ne sera effectué.

2.2.2 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 pouvoir 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

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 Tj - Tn

Pour calculer cette valeur, il est d'abord 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.

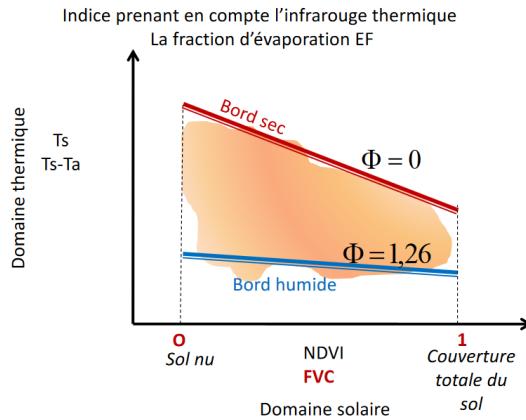


Figure 7: Graphique représentant le modèle S-SEBI pour générer le coefficient de Priestley-Taylor afin de calculer l'Evaporative Fraction.

Avec le FVC et l'image $T_j - T_n$, nous pouvons produire le nuage de point des valeurs (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).

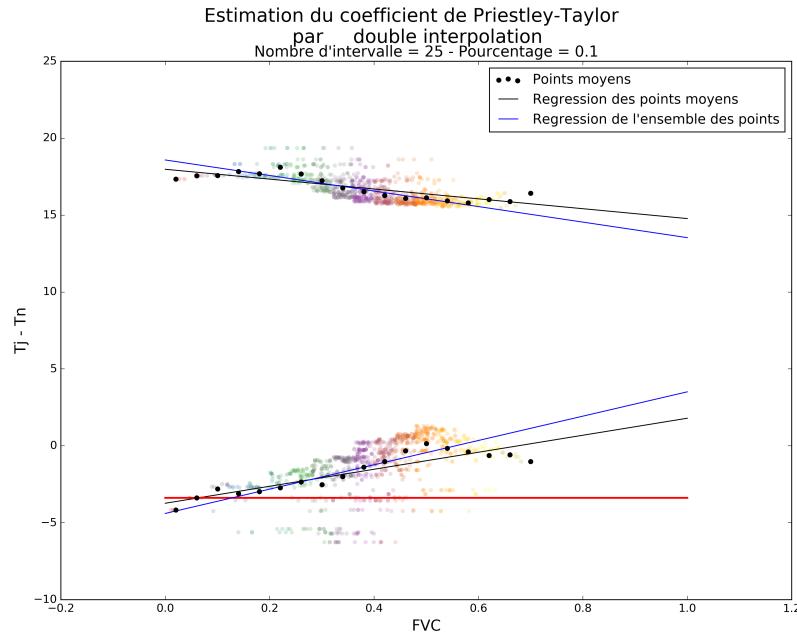


Figure 8: Estimation du coefficient de Priestley-Taylor par double interpolation afin de calculer l'Evaporative Fraction.

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 :

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

3. Calcul de la température moyenne :

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

4. Calcul de ESatTa :

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

5. Calcul de delta :

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

6. Calcul de EF :

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

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. copier les images sur le GeoServer si elles n'ont pas été produites sur 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

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.

Remarque : si les produits ne sont pas accessible par le GeoServer, il est impératif de les déplacer sur le serveur de celui-ci. De plus, ce script effectue uniquement une mise à jour, le workspace et le store sont à générer manuellement.

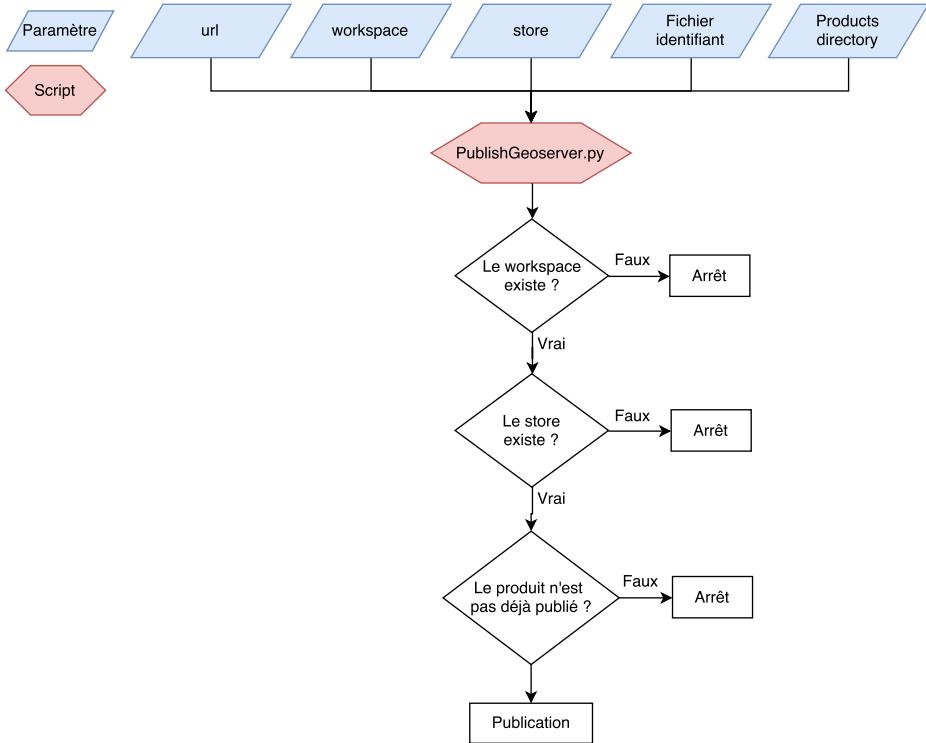


Figure 9: Organigramme des étapes pour la publication des indices sur un GeoServer.

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.

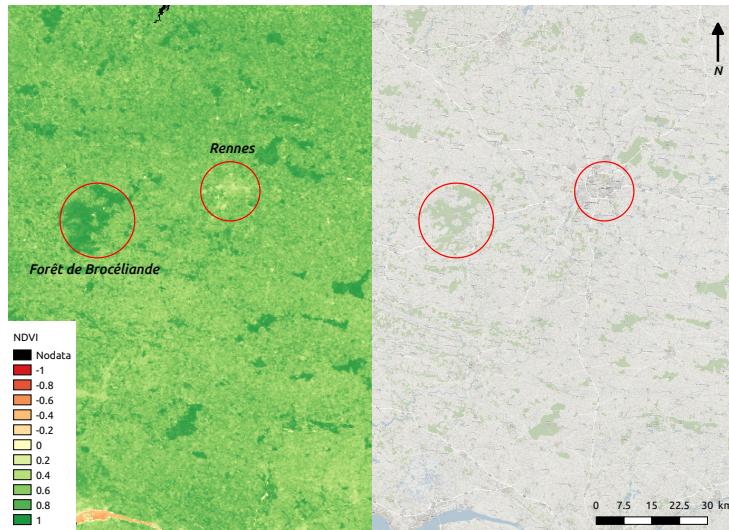


Figure 10: NDVI au 18 Juin 2017 (à gauche) permettant de distinguer les espaces forestiers, la ville de Rennes et l'embouchure de la Loire.

3.2 Interprétation de l’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 11, la moitié sud de l’image évapore peu, sauf quelques endroits correspondants aux espaces forestiers et au Parc Naturel Régional (PNR) de Brière. Ainsi, ne pas observer cette différence d’évaporation signifierait un stress hydrique important mettant en péril ces espaces.

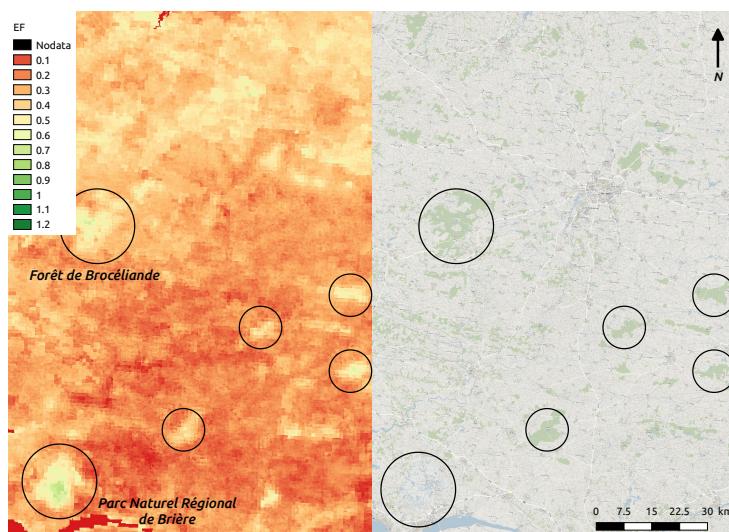


Figure 11: Evaporative Fraction au 18 Juin 2017 (à gauche) permettant de distinguer les espaces forestiers et le PNR de Brière et d’estimer le stress hydrique.

3.3 Température de jour

La température de jour correspond à la température moyenne sur 8 jours par temps clair. Cette mesure, en kelvin, est un produit diffusés 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 12), il a été décidé de mettre à disposition cette information.

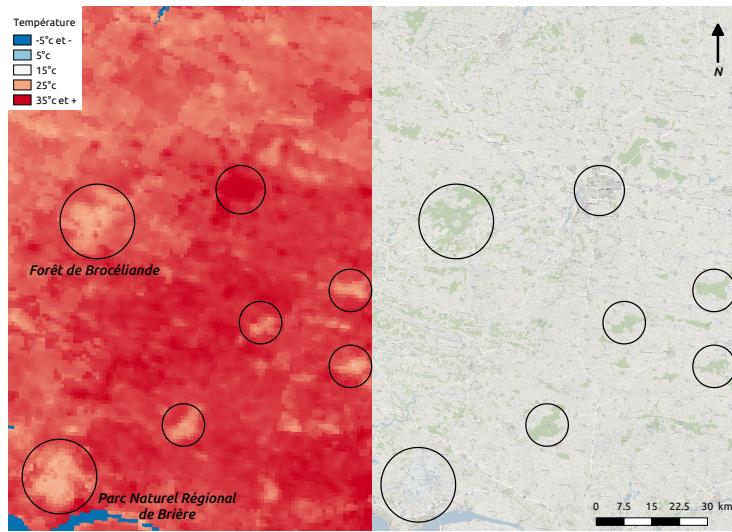


Figure 12: Température de jour au 18 Juin 2017 (à gauche) permettant de distinguer les espaces forestiers, le PNR de Brière et Rennes.

3.4 Température de nuit

La température de nuit correspond à la température moyenne sur 8 jours par temps clair. Cette mesure, en kelvin, est un produit diffusés 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 13), il a été décidé de mettre à disposition cette information.

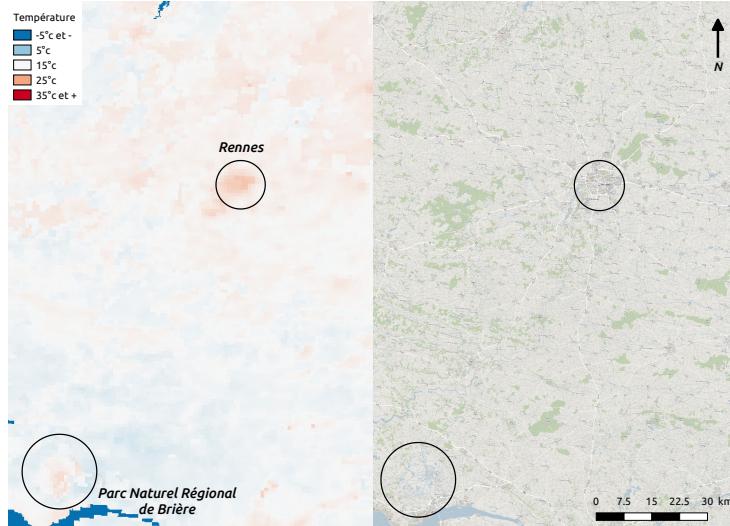


Figure 13: Température de nuit au 18 Juin 2017 (à gauche) permettant de distinguer la ville de Rennes (îlot de chaleur urbain) et le PNR de Brière.

4 Autres

Ce chapitre a pour objectif de référencer quelques éléments intéressants pour intéragir avec le visualiseur et les produits.

- 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 et le time en remplaçant l'année, le mois et le jour par la date souhaitée.

5 Perspectives

Les produits diffusés actuellement sur GéoBretagne possèdent plusieurs limites :

- la résolution spatiale de MODIS n'est pas adaptée au paysage Breton particulièrement fragmenté. Il n'est donc pas possible d'observer les bosquets, petites parcelles et les haies, entre autres. Il est donc envisagé d'utiliser le capteur Landsat (résolution spatiale de 30 mètres et une bande dans l'infrarouge thermique (critère obligatoire)).

6 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.
- Morton, D. C., DeFries, R. S., Shimabukuro, Y. E., Anderson, L. O., Arai, E., del Bon Espirito-Santo, F., Freitas, R. et Morisette, 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.