Suivi de la sécheresse dans les territoires insulaire du Pacifique

Rapport d'exécution technique

Hugo Roussaffa

24-03-2025

Conformément aux exigences de la convention AFD CNC 226 01 S passée entre l'AFD et l'OEIL, ce rapport présente les résultats et les livrables obtenus dans le cadre du projet de suivi de la sécheresse dans les territoires insulaires du Pacifique. Il comprend une description des objectifs, de la méthodologie, des résultats, des livrables. Le rapport est accompagné d'annexes comprenant des informations complémentaires, des graphiques et des tableaux.

Table des matières

1 Contexte général du projet **1**

2 Description du projet "Suivi de la sécheresse dans les territoires insulaire du Pacifique" **2**

2.1 Parties prenantes . . . 3
2.2 Méthodologie . . . 4
2.2.1 VAI : La chaine locale . . . 6
2.2.2 VHI : La chaine globale . . . 7
2.2.3 MAI : La chaine d'alerte . . . 7
2.2.4 Indicateur prévisionnel . . . 8
2.2.5 Actualisation et livraison des produits . . . 9
2.2.6 Etudes complémentaires réalisées au cours du projet . . . 10
2.3 Outils et technologies utilisés . . . 10
2.3.1 Télédétection à partir de données accessibles . . . 10
2.3.2 Utilisation du langage Python pour le développement des chaines de traitement . . . 11
2.3.3 Utilisation du langage R pour le développement de la chaine prévisionnelle 11
2.3.4 Utilisation de Google Earth Engine . . . 11

2.3.5 Utilisation de docker pour l'orchestration des chaines de traitement . . . 11
2.3.6 Utilisation de Azure devops . . . 11
2.3.7 Déploiement continu (CI/CD) . . . 12

3 Déroulement du projet **12**
3.1 Phasage du projet . . . 12
3.2 Bilan des actions réalisées . . . 12
3.2.1 Exemple de résultats obtenus . . . 13
3.2.2 Proposition pour la valorisation des résultats des chaines . . . 15
3.2.3 Livrables . . . 18
3.2.4 Réunions et échanges . . . 19
3.2.5 Restitutions publiques . . . 20

4 Annexes **21**
4.1 Conventions Météo-France Nouvelle-Calédonie et l'OEIL . . . 21
4.2 Documentation des chaines de traitement . . . 28
4.3 Documentation des chaines de traitement . . . 35
4.4 Dépendances python des chaines version 1.0.0 . . . 37
4.5 Etudes réalisées . . . 37
4.5.1 Etude gapfilling Landsat 7 . . . 37
4.5.2 Etude pour le choix du DataCube (GEE, Sentinel Hub, Data-Terra, Digital Earth Pacific) . . . 40
4.5.3 Etude de faisabilité d'intégration des produits CHIRPS et SMAP dans la chaine Alertes - Sécheresse . . . 53
4.5.4 Etude de faisabilité d'intégration des produits VIIRS dans la chaine Sécheresse . . . 61
4.6 Aide au contrôle qualité des données des chaines . . . 70
4.7 Restitution - PGRSC . . . 72

OEIL
Observatoire de l'environnement
Nouvelle-Calédonie

FONDS PACIFIQUE

AFD
AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT

1 Contexte général du projet

Les évènements extrêmes de plus en plus présents dans le Pacifique (phénomènes El Nino & La Nina) ont des conséquences non négligeables sur les territoires insulaires. L'effet de la montée des eaux ou des épisodes de sécheresse est donc au centre des préoccupation dans de nombreuses îles du Pacifique (Vanuatu, Wallis-et-Futuna, Polynésie Française, etc.). Les évènements de sécheresse intenses ont des impacts indéniables sur la biodiversité, la ressource en eau et sur les cultures agricoles comme cela a pu être le cas en 2019 pour la Nouvelle-Calédonie.

Actuellement, le suivi et l'anticipation de ces épisodes de sécheresse se fait via des mesures météorologiques informant sur le déficit pluvieux et non pas sur le stress hydrique des plantes. Par ailleurs, les données sont uniquement disponibles sur quelques points de mesure et ne sont pas continues sur les territoires.

2 Description du projet "Suivi de la sécheresse dans les territoires insulaire du Pacifique"

Le projet proposé ici s'inscrit dans la continuité du travail mené dans le cadre du projet Space Climate Observatory, nommé EO4DroughtMonitoring[1] sur la Nouvelle-Calédonie avec comme objectif principal de démontrer l'applicabilité et l'utilité d'un tel outil dans d'autres territoires insulaires du Pacifique. La démarche globale est ainsi de disposer d'un procédé adapté pour l'ensemble des territoires insulaires du Pacifique et qui pourrait par la suite être délivré en libre accès de façon opérationnelle en lien avec les acteurs centraux de la région.

Le projet présenté ici vise :

- à construire un indicateur de sécheresse végétale permettant de caractériser la situation actuelle mais aussi historique et prévisionnelle, en fonction des données disponibles, obtenues sur les différents plateformes satellitaires et des instruments météorologiques du territoires concernés,
- mettre en production l'indicateur sur la Nouvelle-Calédonie, l'objectif étant de démontrer le caractère opérationnel de la solution,
- décliner la chaine de production pour certains territoires de la région Pacifique,
- le valoriser à travers des interfaces et des services de consultation et de mise à disposition des données.

[1] Pour plus de détails concernant le projet EO4DroughtMonitoring veuillez consulter cette url

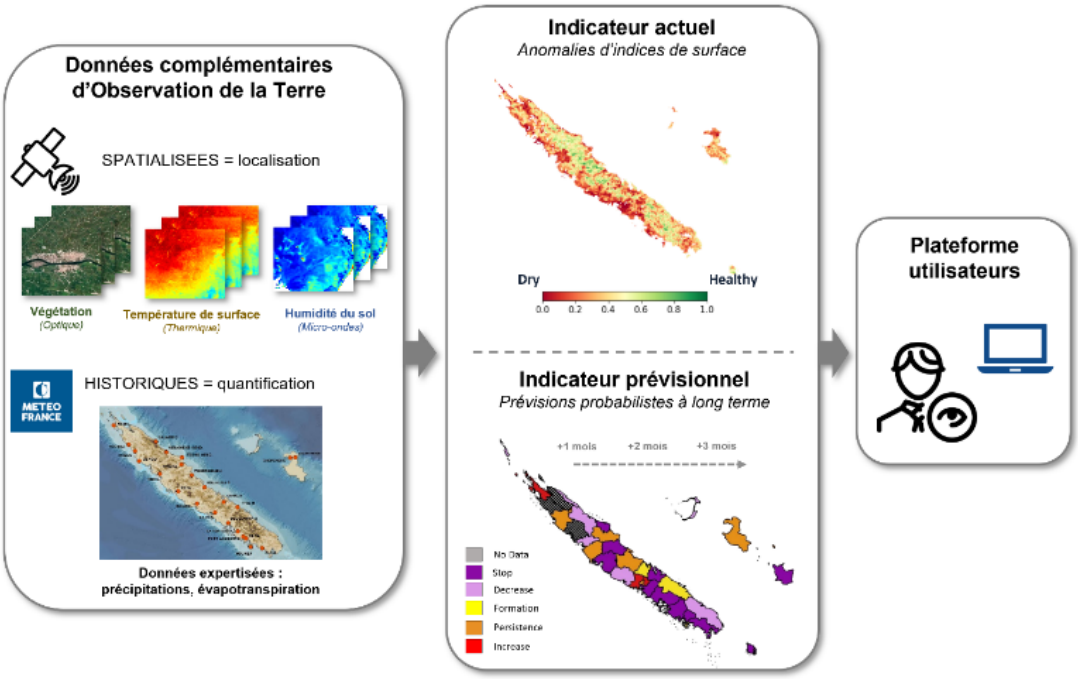


Figure 1: présentation générale du système

Cette solution fournit des données constituant une source d'informations importante dont les valorisations et apports peuvent être multiples : agriculture, gestion des ressources, sécurité civile (surveillance du risque incendie), état de l'environnement. Les produits satellites utilisés dans cet outil couvrent l'intégralité des territoires. L'ensemble des livrables est mis à disposition de la communauté sous licence open source type BSD[2].

2.1 Parties prenantes

Le projet implique plusieurs partenaires techniques et scientifiques, notamment l'OEIL, INSIGHT, l'IRD Nouvelle-Calédonie, Météo-France Nouvelle-Calédonie, CSIRO, CPS, la Polynésie Française, Fidji et le Vanuatu.

Le travail est mené par 3 entités principales :

L'Observatoire de l'Environnement pour la Nouvelle-Calédonie (OEIL) réalise le suivi de l'environnement sur le territoire en fournissant, via leurs plateformes opérationnelles, plusieurs indicateurs et outils de surveillance environnementale. Porteur du projet, l'OEIL a le rôle de cadrage global du projet, de valorisation et de portage final de l'indicateur sécheresse

[2]Pour plus d'informations sur la licence BSD, veuillez consulter l'article correspondant sur Wikipédia.

développé pour la NC. Grâce à son expertise dans le domaine, il s'assurera également du bon déroulement du travail mené par les différents partenaires sur les aspects techniques, thématiques via un soutien scientifique du **Conseil Scientifique de l'OEIL**.

INSIGHT est une startup néo-calédonienne du Groupe CIPAC (Compagnie Industrielle du Pacifique) dédiée à l'observation de la Terre par imagerie spatiale. INSIGHT a été en charge des développements de l'indicateur de sécheresse biophysique sur la Nouvelle-Calédonie, en collaboration avec Météo-France NC au moment du projet SCO. Dans la présente étude, INSIGHT est en charge de la mise en production des différentes chaines d'indicateur sur la Nouvelle-Calédonie, d'études techniques et scientifiques, et des développements supplémentaires pour l'accès et le traitement d'images satellites sur tous les territoires identifiés.

L'IRD Nouvelle-Calédonie (UMR EspaceDEV) apporte un soutien scientifique et technique à ce projet. De par son expertise en Observation de la Terre dédiée à l'étude de l'environnement Néo-Calédonien, cet organisme de recherche suivra de près les développements réalisés pour aider au bon déroulement du projet.

D'autres acteurs ont été identifiés pour être sollicités au cours de l'étude afin de disposer d'un soutien technique et thématique : **METEO-FRANCE NOUVELLE-CALEDONIE**, en tant que le développeur actuel de la chaine des prévisions. Une convention avec Météo-France sur l'utilisation de la chaine en production et sur d'autres territoires a été signée (disponible en annexe 4.1)

CSIRO : expertise attendue dans l'exploitation des données Radar et du DataCube Australien.

CPS : expertise attendue sur l'exploitation du DataCube Digital Earth Pacifique.

La Polynésie Française : utilisateur potentiel des données d'indicateurs produites et collaboration attendue pour la mise à disposition de données météo in situ.

Le Vanuatu : utilisateur potentiel des données d'indicateurs produites et collaboration attendue pour la mise à disposition de données météo in situ.

AGENCE RURALE Nouvelle Calédonie : utilisateur potentiel des données d'indicateurs produites.

2.2 Méthodologie

La chaine de production sur la Nouvelle-Calédonie est présentée en Figure 3. La production de l'indicateur actuel est réalisée via trois sous chaines permettant d'accéder aux trois niveaux d'information sécheresse (communal, intra-communal, parcellaire).

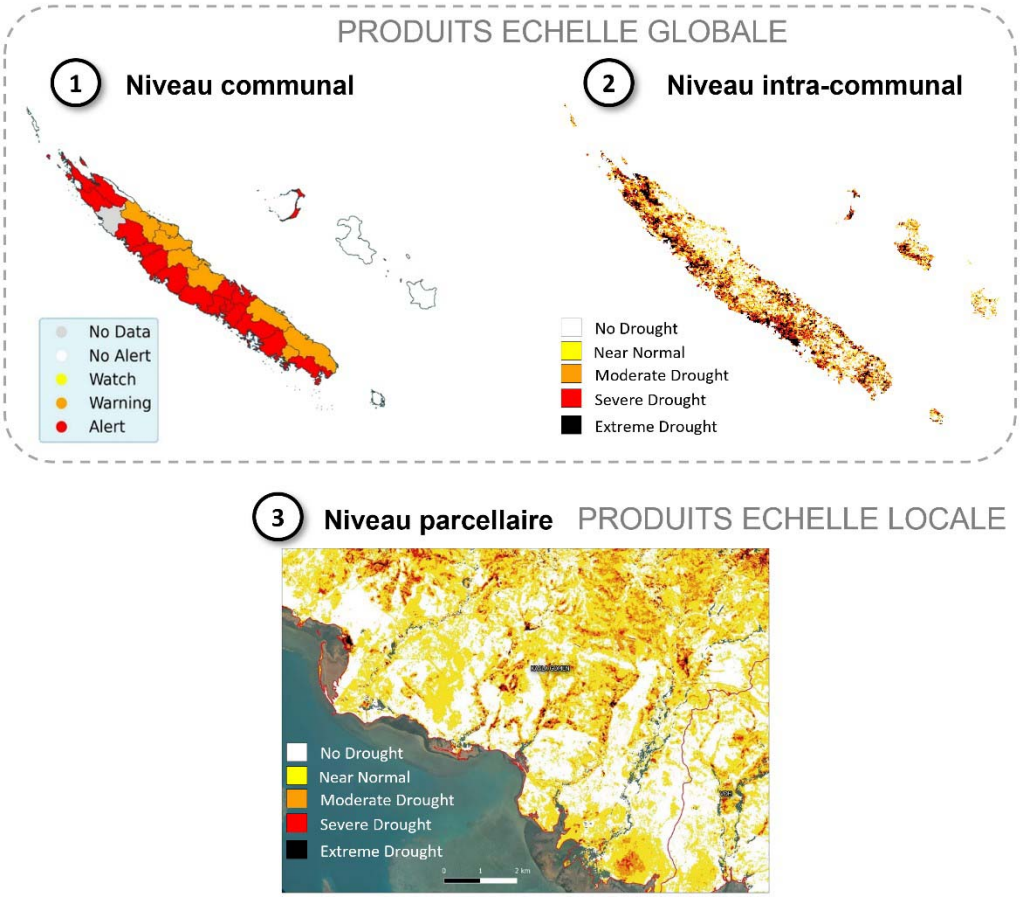


Figure 2: 3 échelles d'information sécheresse

L'ensemble des chaines forme un système de suivi et de prévision de la sécheresse dans les territoires du Pacifique. Chaque chaine est composée de plusieurs étapes de traitement, de calcul et de contrôle qualité. Les données d'entrée sont issues de différentes sources (satellites, données météo in situ, etc.) et sont traitées pour produire des indicateurs de sécheresse végétale (VAI, VHI, MAI, prévision).

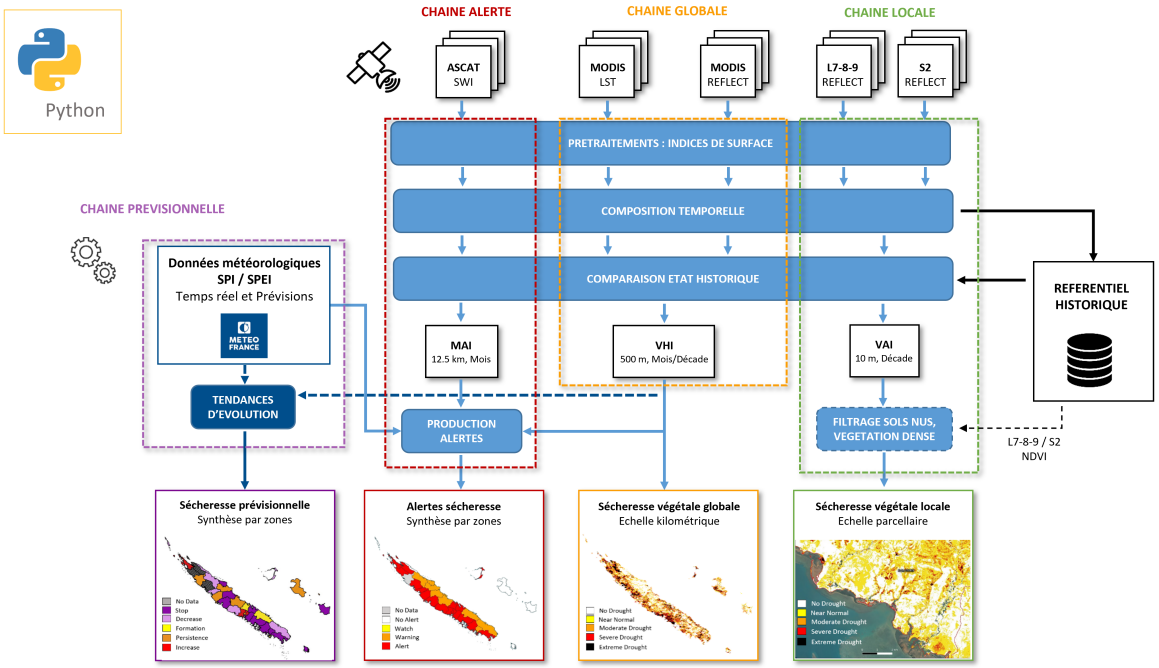


Figure 3: Le système de suivi et la prévision de la sécheresse dans les territoires du Pacifique

2.2.1 VAI : La chaine locale

La chaine locale fournit l'indicateur au niveau parcellaire (10 m), calculé à partir des indices NDWI issus de L7, L8, L9 et S2 préalablement pré-traités et calibrés. L'indicateur VAI (Vegetation Anomaly Index ; Amri et al., 2011 ; Peters et al., 2002) sera estimé par comparaison au référentiel selon l'équation

$$VAI = NDWI - \frac{\overline{NDWI}}{\sigma NDWI}$$

avec $\overline{NDWI}$ la moyenne et $\sigma NDWI$ l'écart-type calculés pour une décade (10 jours), sur tout l'historique. Cet indicateur est centré en 0, avec des valeurs négatives indiquant un état de stress anormal, et des valeurs positives indiquant un état favorable. A noter que pour cette échelle spécifique, une phase de post-traitement peut être intégrée afin de filtrer les régions de sols nus ou à végétation dense pouvant être d'un intérêt moindre pour un suivi parcellaire. Cette étape peut être réalisée à partir d'indices de NDVI calculés à partir des mêmes images L7/L8/L9/S2, mais impliquant également, une calibration radiométrique.

2.2.2 VHI : La chaine globale

La chaine globale fournit l'indicateur au niveau intra-communal (1 km) à partir des indices MODIS (NDWI, LST). Ici, l'indicateur VHI (Vegetation Health Index ; Kogan, 1997, 2000) est estimé selon l'équation suivante :

$$VHI = \alpha * VCI + (1 - \alpha) * TCI$$

avec $\alpha = 0.5$, et où le VCI et le TCI sont définis selon Kogan (1995, 1997) et obtenus respectivement à partir du NDWI et de la LST. Les TCI sont les *Temperature Condition Index* (raster) obtenus à partir des températures LST MODIS : $TCI = (LSTmax–LST)/(LSTmax–LSTmin)$ Les VCI sont les *Vegetation Condition Index* (raster) obtenus à partir des indices NDWI MODIS : $VCI = (NDWI–NDWImin)/(NDWImax–NDWImin)$

Cet indicateur est centré en 0,5. Un VHI de 0 correspondra à l'état le plus défavorable (végétation sèche), alors qu'une valeur de 1 correspondra à l'état le plus favorable (végétation en bonne santé).

2.2.3 MAI : La chaine d'alerte

La chaine d'alerte fournit un indicateur communal issu de la combinaison d'indicateurs satellites et météorologiques. L'objectif ici est de déterminer à quel stade se situe le déficit dans la relation de cause à effet de la sécheresse agricole (Sepulcre-Canto, 2012) : un déficit pluviométrique entraînant un déficit d'humidité du sol, ayant lui-même pour effet le stress hydrique de la végétation. Pour cela, nous intégrons les indicateurs fournis par Météo-France sur leurs stations (SPI, SPEI), l'indicateur VHI ainsi que l'indicateur d'anomalies d'humidités du sol MAI (Moisture Anomaly Index ; Amri et al., 2012 ; Le Page et Zribi, 2019), provenant des données micro-ondes ASCAT.

Trois niveaux d'alerte sécheresse seront alors fournis par commune :

- **Watch** : Niveau d'alerte minimale correspondant à une détection de déficit pluviométrique, mais sans impact observé sur la surface végétalisé.
- **Warning** : Niveau intermédiaire avec détection de déficit observé au niveau de la surface (humidité du sol, évapotranspiration), mais sans stress hydrique directement observé sur la végétation.
- **Alert** : Niveau d'alerte maximale avec détection d'un état de stress hydrique de la végétation.

2.2.4 Indicateur prévisionnel

L'indicateur prévisionnel est issu des développements réalisés par Météo-France NC. Le produit se présente sous la forme de cartes à l'échelle communale informant sur les tendances d'évolution de la sécheresse végétale à +1 mois, +2 mois et +3 mois (à partir du mois en cours). Cet indicateur est obtenu à partir de la connaissance de deux types d'informations :
- La forte corrélation observée entre les produits de sécheresse météorologique (en particulier le SPI-3 mois issus des stations) et l'indicateur global de sécheresse végétale (produit satellite VHI). Le SPI-3 mois est alors qualifié de « proxy » météorologique de la sécheresse végétale.
- Les prévisions de précipitation informant sur les probabilités d'évolution de SPI (Lavaysse, 2020). Ces produits correspondent aux prévisions d'ensemble accessibles via le Global Drought Observatory, et qui ont été évaluées et calibrées localement via les données SPI issues des stations (réadaptation des scores et classes d'évolution au territoire).

Ces 4 indicateurs peuvent ensuite être utilisés pour étudier, surveiller, analyser et prévoir les périodes de sécheresse dans les territoires monitorés.

L'algorithmie de chaque chaine est détaillée précisément dans la Figure 4.

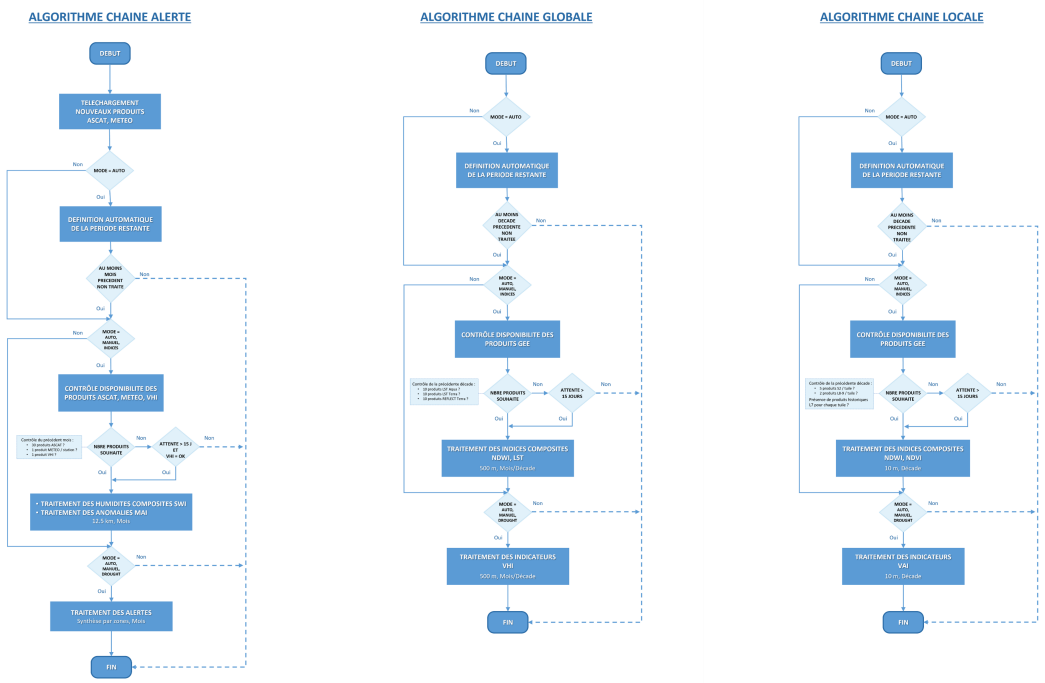


Figure 4: Déscription du fonctionnement détaillée des chaines

La méthodologie pour les développements et validations scientifiques des indicateurs et des chaines de traitement est détaillée dans les rapports de production du projet SCO. Nous invitons le lecteur à se référer à ces rapports pour tout complément d'information à ce sujet: - RAPPORT MI-PARCOURS - RAPPORT FINAL

2.2.5 Actualisation et livraison des produits

Afin de limiter l'impact des nuages sur les produits satellites tout en gardant une répétitivité adaptée à l'évolution de la sécheresse, le pas de temps sélectionné pour l'actualisation de l'indicateur de sécheresse locale (VAI) est de 10 jours, et de 8 jours pour l'indicateur de sécheresse globale (VHI).

Du fait de la mise à disposition des données météorologiques à un pas de temps mensuel, les cartes d'alertes et cartes de prévisions seront fournits au mois (milieu du mois suivant).

Les données météorologiques, incluant les produits observés (SPI, SPEI) et le les produits prévisionnels (tendances d'évolution), sont déposées par Météo-France NC sur un serveur dédié. L'accès à ce serveur se fait à travers un accès ftp fournis dans le cadre de la convention 4.1, et se chargera de récupérer les fichiers autour du 15 du mois suivant, date à laquelle les données seront complètes et validées par Météo-France.

Le chronogramme ci-dessous Figure 5 présente l'actualisation des indicateurs sur deux mois. Ce schéma est répété de manière à couvrir la totalité de la période en mode opérationnel. Il s'agit notamment de mettre en évidence la procédure de mise à disposition des produits pour leur production et leur diffusion opérationnelle.

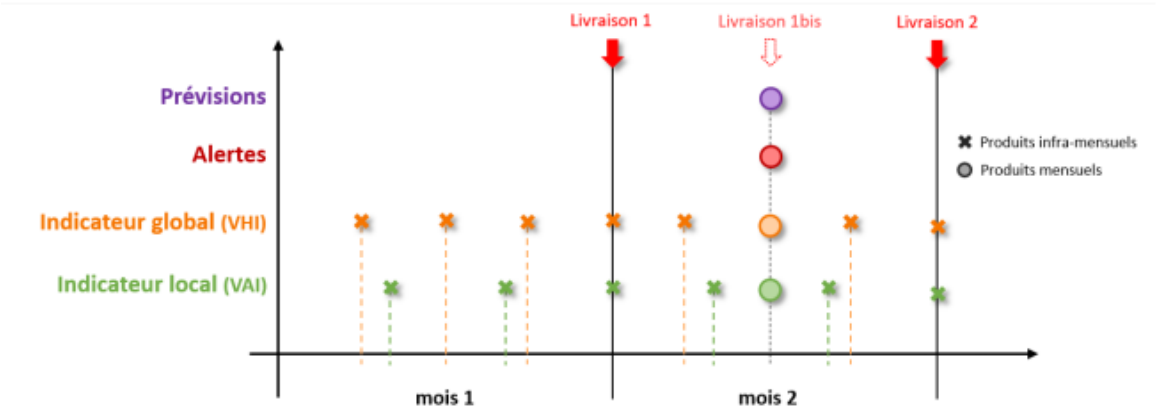


Figure 5: Chronogramme de l'actualisation des produits

- Livraison 1, au début du mois 2 incluant les produits infra-mensuels :
  - indicateurs de sécheresse locale VAI obtenus durant le mois 1
  - indicateurs de sécheresse globale VHI obtenus durant le mois 1

- Livraison 1bis, en milieu du mois 2 incluant :
  - les produits mensuels d'alertes du mois 1
  - les produits mensuels de prévisions du mois 1
  - une synthèse mensuelle des indicateurs VAI et VHI agrégés sur le mois 1
- La livraison 2, en début du mois 3 incluant les produits infra-mensuels VAI et VHI du mois 2

2.2.6 Etudes complémentaires réalisées au cours du projet

Le projet à permis d'améliorer la chaine issu du SCO, sur certains points méthodologiques à travers la réalisation des études suivantes :

- Intégration des données de Landsat 9 dans la chaine de production
- Étude d'une solution de gapfilling pour les données Landsat 7
- Etude pour le choix du DataCube (GEE, Sentinel Hub, Data-Terra, Digital Earth Pacific)
- Etude pour l'intégration du capteur VIIRS en remplacement de MODIS
- Etude pour l'intégration du produit CHIRPS pour le calcul des indices SPI et SPEI

Ces études font partie des livrables du projet et sont disponibles en annexe Section 4.

2.3 Outils et technologies utilisés

2.3.1 Télédétection à partir de données accessibles

Le projet repose sur l'utilisation de données open data pour la télédétection de la sécheresse végétale. Ces données sont essentielles pour l'analyse et la surveillance des variations de la santé de la végétation, de l'humidité et la température.

- Landsat 7, 8, 9 et Sentinel 2 pour l'optique multispectrale (NDVI, NDWI)
- MODIS: Aqua, Terra pour le thermique
- ASCAT pour les micro-ondes

2.3.2 Utilisation du langage Python pour le développement des chaines de traitement

Le langage Python est utilisé pour le développement des chaines de traitement. Il est largement utilisé dans le domaine de la télédétection et de l'analyse de données. De plus, nous utilisons conda pour la gestion des dépendances et des environnements virtuels de développement, de qualification et de production. Les dépendances de la version 1.0.0 sont disponible en Section 4.4.

La documentation de l'ensemble des chaines de traitement est disponible sur le dépôt git de l'OEIL et en annexe Section 4.2

2.3.3 Utilisation du langage R pour le développement de la chaine prévisionnelle

Le langage R est utilisé pour le développement de la chaine prévisionnelle. R est un langage de programmation et un environnement logiciel utilisé pour le traitement statistique et graphique des données. Il est largement utilisé dans le domaine de la météorologie et de la climatologie pour l'analyse et la modélisation des données météorologiques. La documentation de la chaine prévisionnelle est disponible en Section 4.3

2.3.4 Utilisation de Google Earth Engine

Google Earth Engine est utilisé pour accéder aux sources de données et pour réaliser certains traitements sur les données satellitaires. Cette plateforme cloud permet d'analyser de grandes quantités de données géospatiales de manière efficace et rapide.

2.3.5 Utilisation de docker pour l'orchestration des chaines de traitement

Docker est utilisé pour l'orchestration des chaînes de traitement. Cette technologie de conteneurisation garantit la portabilité et la reproductibilité des environnements de développement, facilitant ainsi le déploiement et la gestion des applications.

2.3.6 Utilisation de Azure devops

Azure DevOps est une suite d'outils utilisés dans le cadre du projet pour le déploiement des chaînes de traitement (CI), la gestion de projet, la collaboration, la gestion du code source (GIT), la documentation, le suivi des version, des bugs et des évolutions.

2.3.7 Déploiement continu (CI/CD)

Une pipeline a été développé pour automatiser les tests, la compilation, la validation et le déploiement des applications de manière reproductible. C'est cette "brique" qui permet de paramétrer et d'orchestrer le déploiement en production de l'ensemble des chaine.

3 Déroulement du projet

3.1 Phasage du projet

- **Phase 0** (Septembre 2022 – Mars 2023): Réunion de démarrage, montée en compétence et, études préalables.
- **Phase 1** (Janvier 2023 – Septembre 2023): Adaptation de la chaine développée pendant le projet SCO [3] pour la Nouvelle-Calédonie.
- **Phase 2** (Septembre 2023 – Janvier 2024): Adaptations et évolutions de la chaine pour Fidji, la Polynésie Française et le Vanuatu Pacifique.
- **Phases 3** (Juin 2023 – Avril 2024) : Orchestration de la chaine et monitoring.
- **Phases 4** (Décembre 2023 – Août 2024): Restitutions, finalisation.

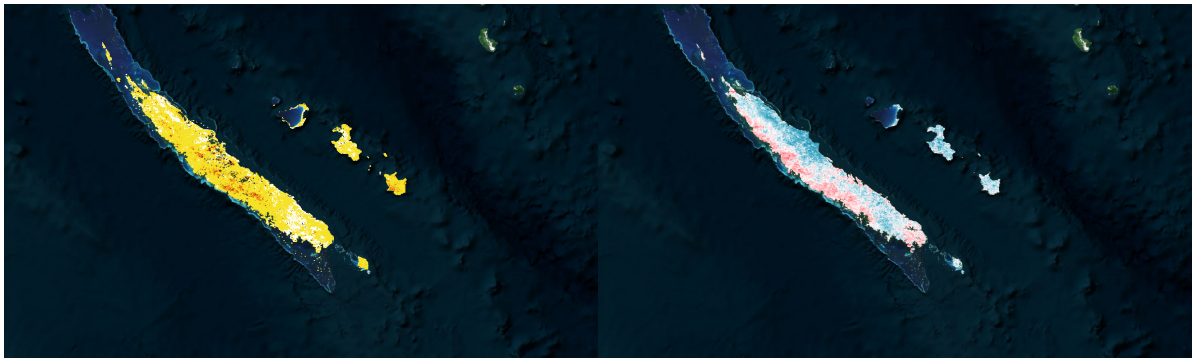
3.2 Bilan des actions réalisées

Le développement et la mise en production du système sécheresse végétale est effectif. Les indicateurs VAI (locale), VHI (globale) et d'alerte MAI pour la Nouvelle-Calédonie sont produits de manière continue sur le serveur hébergé par INSIGHT. Les indicateurs ne sont pas encore accessibles directement par une interface web de consultation et de téléchargement mais ce point est en cours de réflexion. La chaine prévisionnelle vient d'être finalisée et demande encore un effort pour son intégration dans le système. Ce point est en cours de mise en oeuvre.

La collaboration entre les différents partenaires techniques et scientifiques de la région pacifique ont bien eu lieu à travers des échanges et de restitutions. Nous avons adapté les chaines de traitement et produit les indicateurs pour certaines partie du territoire de Fidji, du Vanuatu et de la Polynésie Française. Le système n'a toutefois pas les indicateur nécessitant des données météo in situ (alerte et prévision).

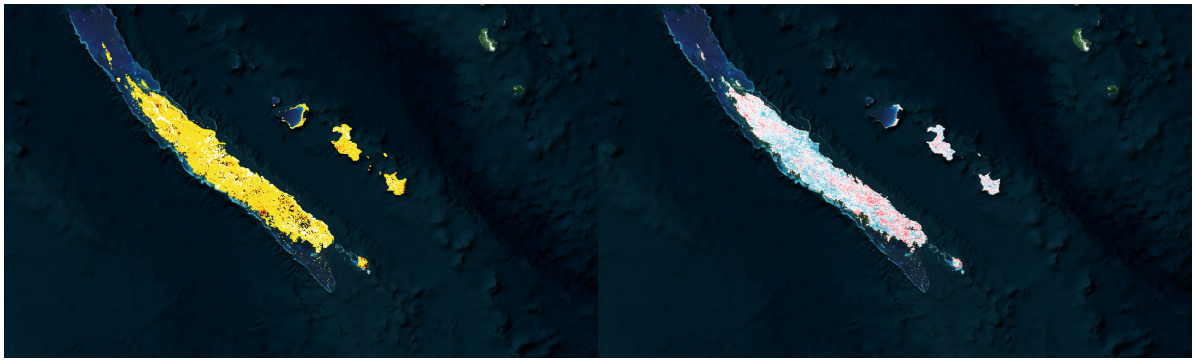
[3] Space Climate Observatory - lien vers le projet

3.2.1 Exemple de résultats obtenus



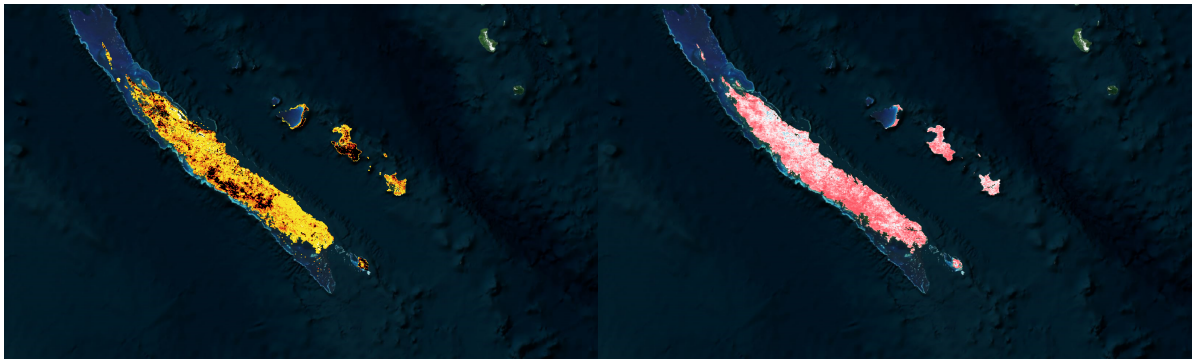
(a) carte VAI 2018/12 (b) carte VHI 2018/12

Figure 6: Comparaison des cartes VAI et VHI pour le mois de décembre 2018



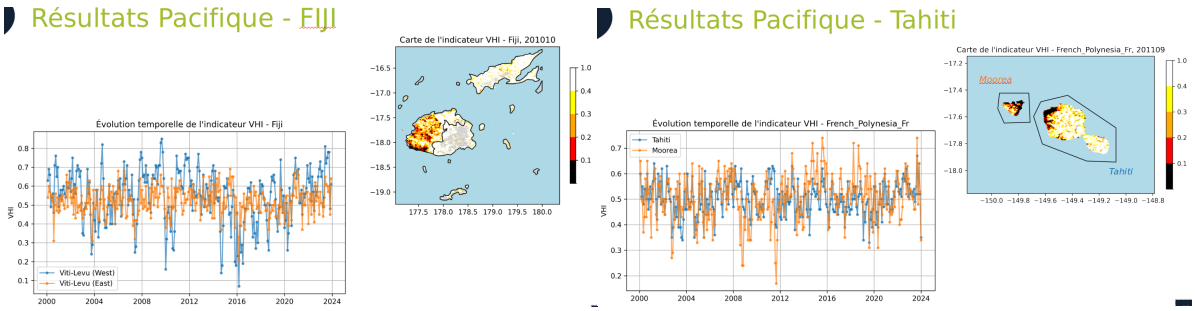
(a) carte VAI 2019/04 (b) carte VHI 2019/04

Figure 7: Comparaison des cartes VAI et VHI pour le mois d'avril 2019

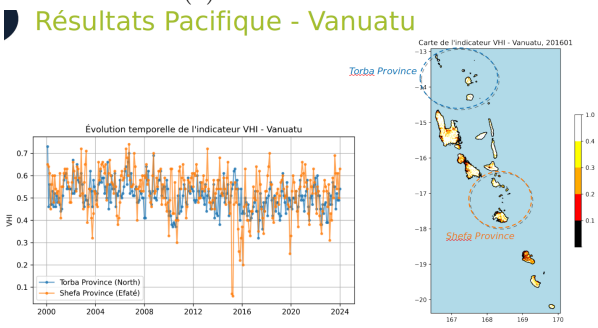


(a) carte VAI 2019/12 (b) carte VHI 2019/12

Figure 8: Comparaison des cartes VAI et VHI pour le mois de décembre 2019



(a) carte VHI FIDJI (b) carte VHI Vanuatu



(c) carte VHI Polynesie

Figure 9: Cartes VHI sur les territoires de la région Pacifique

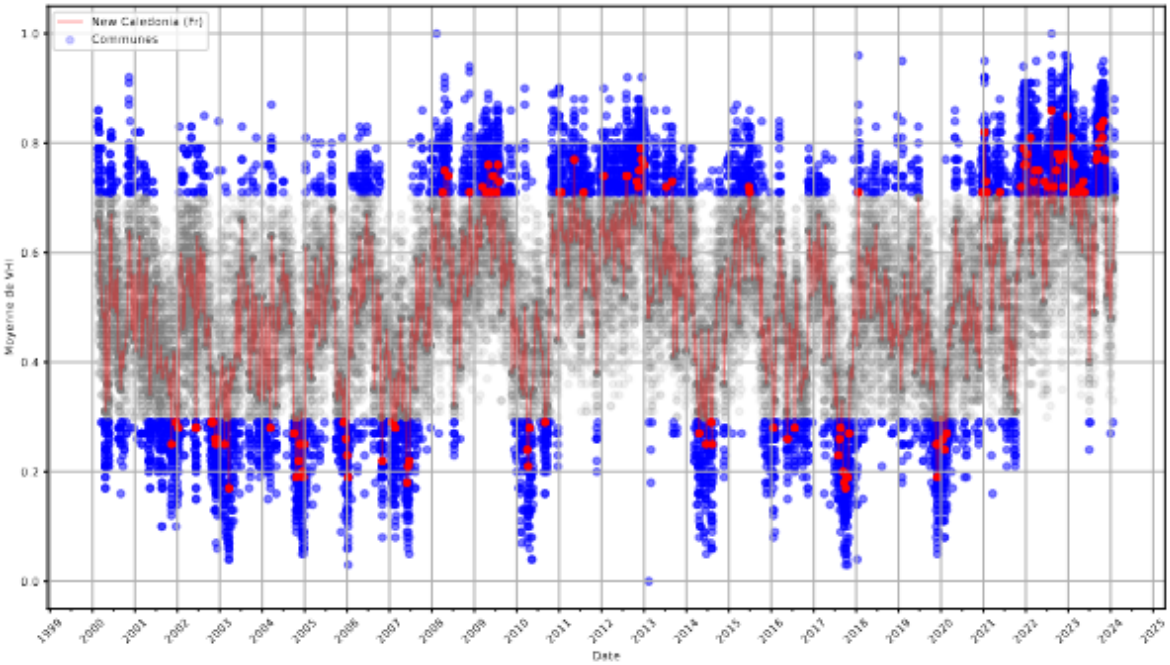
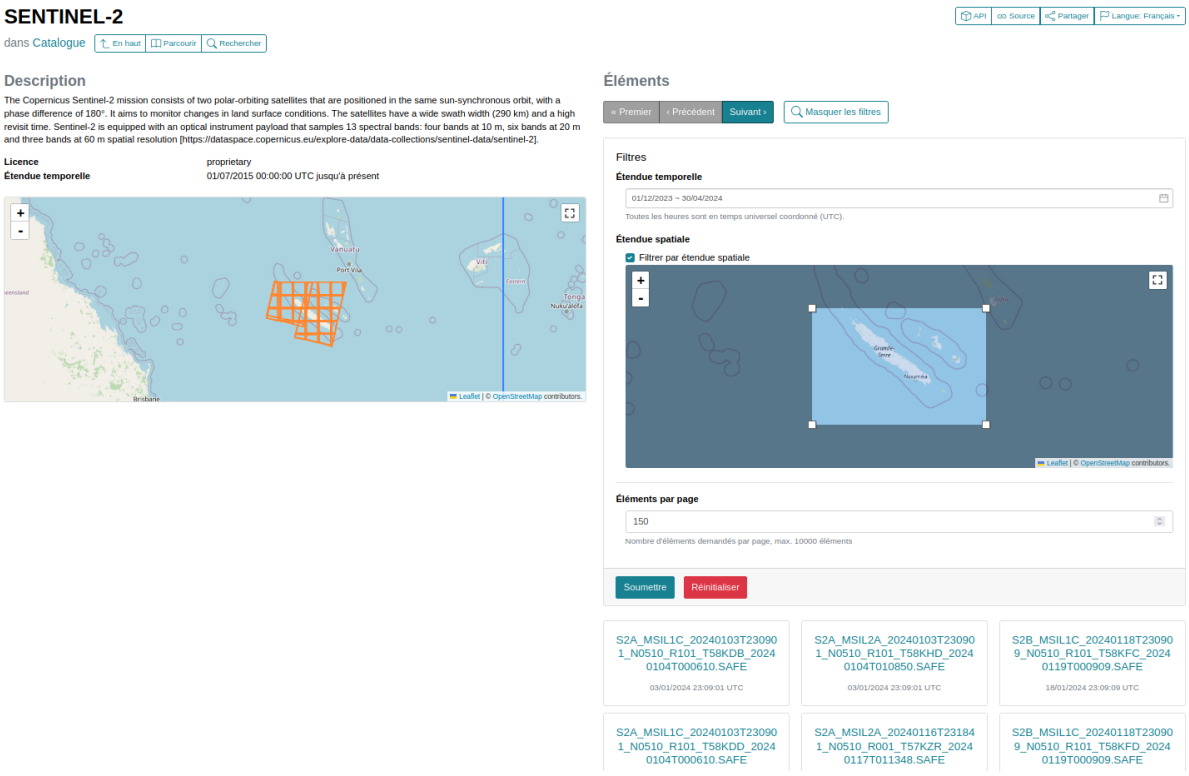


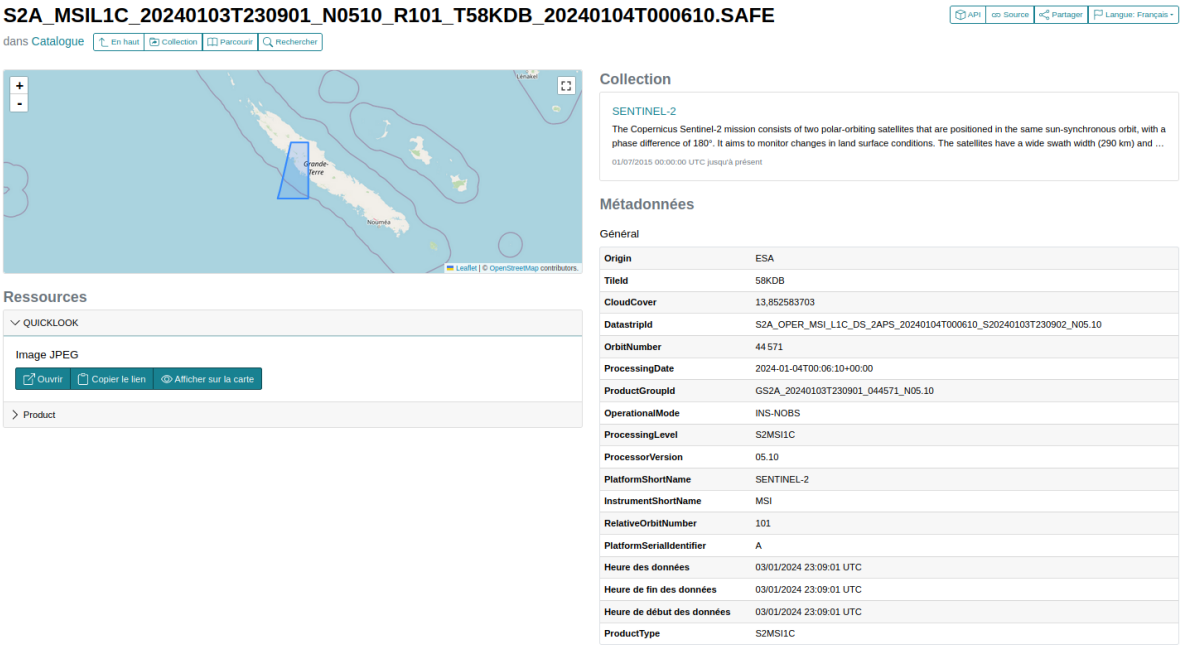
Figure 10: Evolution temporelle des moyennes de VHI par commune et par mois

3.2.2 Proposition pour la valorisation des résultats des chaines

3.2.2.1 Catalogue STAC (SpatioTemporal Asset Catalog)

Rendre l'accès aux données facilitée via la mise en place d'un catalogue STAC (SpatioTemporal Asset Catalog) pour permettre aux utilisateurs de découvrir, explorer et accéder aux données de manière efficace.





Ce type de catalogue permettrait par ailleurs de faciliter le partage et le moissonnage par d'autre plateforme comme la plateforme Data du Gouvernement de Nouvelle Calédonie et/ou

le Pacifique Data Hub mis en place par la CPS.

3.2.2.2 Intégration des données dans le cube Digital Earth Pacific

La récente mise en production du DataCube Digital Earth Pacific offre une opportunité pour intégrer les données de sécheresse végétale dans ce cube. Cette intégration permettrait de faciliter l'accès et l'exploitation des données par les utilisateurs finaux, notamment les décideurs et les gestionnaires de ressources naturelles.

Des échanges avec la CPS sont prévus prochainement dans ce sens afin de déterminer les modalités de mise en oeuvre d'une telle intégration.

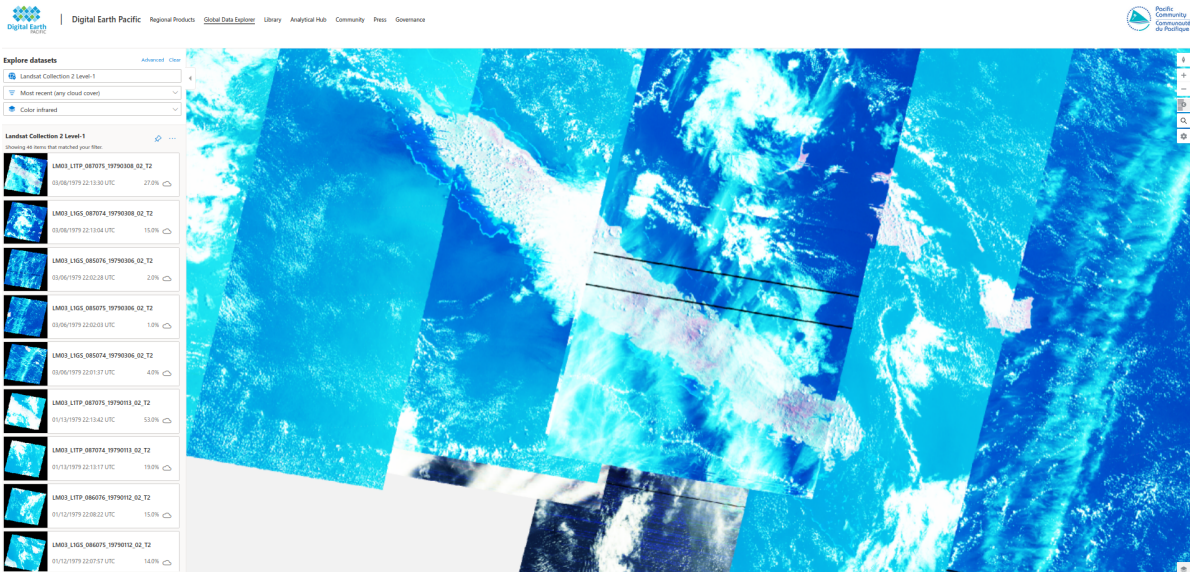


Figure 11: Interface de Digital Earth Pacific

3.2.2.2.1 Développement d'une application web de consultation de données

Nous souhaitons mettre a disposition d'utilisateur une interface de consultation simplifié et intuitive pour accéder aux données du **dispositif sécheresse végétale**. Cette application web pourrait permettre de visualiser les données de sécheresse dans leurs dimensions temporelle et spatiale. Le développement d'un telle application nécessite l'appui de partenaires locaux (Agence rurale, Chambre de l'agriculture de Nouvelle-Calédonie) pour définir les fonctionnalités à prévoir en cohérences à leurs besoins spécifiques et soutenir financièrement le ce dispositif.

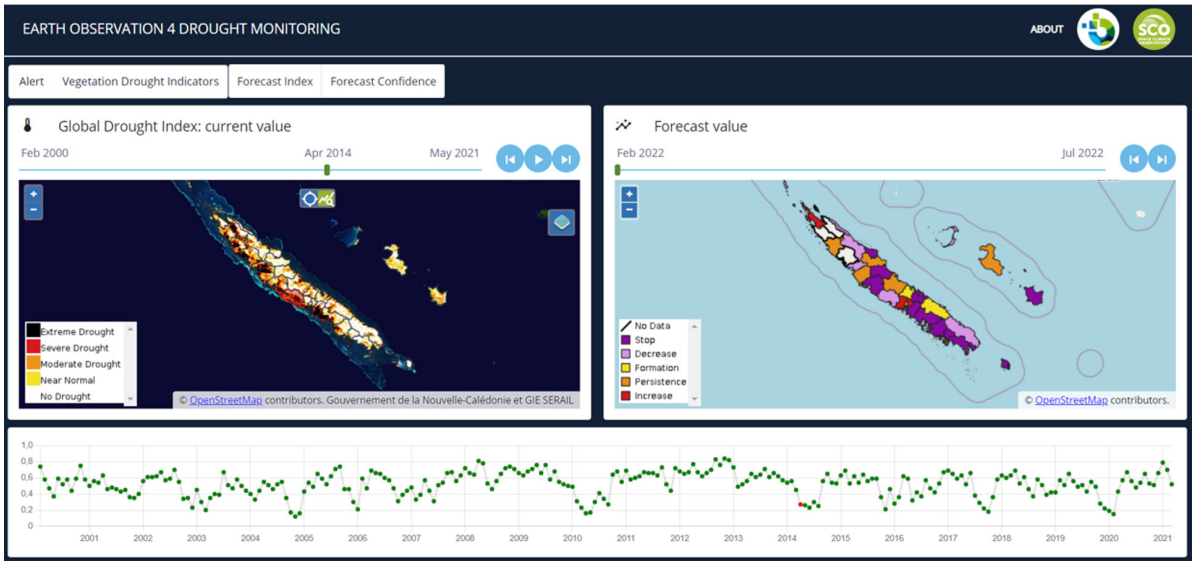


Figure 12: Exemple de plateforme Web de consultation des résultats

3.2.3 Livrables

- Etude gapfilling Landsat 7 Section 4.5.1
- Etude pour le choix du DataCube (GEE, Sentinel Hub, Data-Terra, Digital Earth Pacific) 4.5.2
- Etude de faisabilité d'intégration des produits CHIRPS et SMAP dans la chaine Alerte sécheresse 4.5.3
- Etude pour l'intégration du capteur VIIRS en remplacement de MODIS 4.5.4
- Document d'aide au contrôle qualité des données des chaines Section 4.6
- Présentation PGRSC (OperationalVegetationDroughtProcessing_PGRSC_Neuhauser_et_al_2023) 4.7
- Code source
  - chaine locale (documentation d'exploitation et documentation de code associées)
  - chaine globale (documentation d'exploitation et documentation de code associées)
  - chaine alerte (documentation d'exploitation et documentation de code associées)
  - chaine prévisionnelle - MFNC (documentation d'exploitation et documentation de code associées)
  - code source du calcul SPI et SPEI avec GEE via l'utilisation des données du programme CHIRPS (documentation de code associées)

- Données/fichiers produits en continu

3.2.3.1 Nombre de fichiers produit à ce jour

Indice/indicateur	Source	Fréquence	Nombre de fichiers
NDVI/NDWI	Landsat 7 8 9/Sentinel 2	par décade	**4816**
LST	MODIS	par décade	**1724**
LST	MODIS	par mois	**577**
SwI	ASCAT	par jour	**6102**
SwI	ASCAT	par mois	**205**
VHI	chaine global	par decade	**864**
VHI	chaine global	par mois	**290**
VAI	chaine locale	par decade	**4020**
MAI	chaine alerte	par mois	**206**

Le volume de stockage nécessaire à la production de l'indicateur sur la Nouvelle-Calédonie a été estimé dans Figure 13

	Volume MOIS (Go)			Volume HISTORIQUE (Go)	
Produits	**Sources**	**Indices**	**Indicateurs**	**Indices**	**Indicateurs**
MODIS	0,05	0,01	0,01	0,16	0,24
ASCAT	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
LANDSAT-S2	145	15	5	150	250
TOTAL	**145 Go**	**AJOUT HISTO = + 20 Go**		**HISTO = 400 Go**	

Figure 13: Estimation des volumes de stockage nécessaire

3.2.4 Réunions et échanges

- 3 COPILS
- 2 restitutions des études réalisées
- 15 Ateliers de travail
- 1 réunion avec le conseil Scientifique de l'OEIL
- 3 visio-conférences avec les partenaires de la région pacifique

3.2.5 Restitutions publiques

Une présentation de la chaine a été faite à la conférence du 27 Novembre au 1 Décembre 2023 à Fiji - PGRSC: An Operational Vegetation Drought Processing Chain based on Google Earth Engine satellite imagery and meteorological products. Cette conférence a retenue l'attention de **250 participants**. Le contenu de la présentation est disponible en annexe 4.7

4 Annexes

4.1 Conventions Météo-France Nouvelle-Calédonie et l'OEIL

OEIL

CONVENTION D'ECHANGES DE DONNEES ET D'OUTILS ENTRE METEO FRANCE NOUVELLE-CALEDONIE ET L'OEIL DANS LE CADRE DU SUIVI DE LA SECHERESSE VEGETALE

Entre :

- L'**Observatoire de l'Environnement en Nouvelle-Calédonie** (OEIL), association loi 1901, , dont le siège social se situe au 12 rue Tourville 98800 Nouméa, représentée par Fabien Albouy, Directeur, dûment habilité à cet effet,

  ci-après dénommé "l'OEIL"

Et :

- La Direction interrégionale de Météo France en Nouvelle-Calédonie et à Wallis-et-Futuna, représenté par [Nom et titre du représentant de Météo France Nouvelle-Calédonie] située à [adresse], dûment habilité à cet effet

  ci-après dénommé " MF-NC"

Il a été convenu ce qui suit :

Article liminaire

Réalisé en 2022 en collaboration avec MF-NC, le projet *EO4DroughtMonitoring*, labellisé SCO (Space for Climate Observatory), a permis la conception d'un prototype pour le suivi et la prévision des épisodes de sécheresse environnementale et agricole en Nouvelle-Calédonie, combinant les images satellites et les données météorologiques (SCO, 2022).

Au titre de sa mission de surveillance de l'environnement, l'OEIL mène le projet « **Indicateur de sécheresse végétal »** co-financé par le Fonds Pacifique ; il vise à rendre opérationnel le prototype *EO4DroughtMonitoring* et à diffuser publiquement les informations produites via une plateforme web dédiée.

Conformément à la convention relative au concours de Météo-France à l'exercice de la compétence de la Nouvelle-Calédonie en matière de météorologie, MF-NC accompagne les autorités publiques dans l'optimisation de leur gestion des risques naturels. Dans le cadre de cette mission, MF-NC fournit des informations et prestations au gouvernement de la Nouvelle-Calédonie pour apprécier et anticiper les déficits pluvieux. MF-NC effectue un suivi régulier des épisodes de sécheresse à partir d'indicateurs spécialement adaptés à la pluviosité de la Nouvelle-Calédonie (OMM, 2016).

Afin de renforcer leur soutien aux politiques de gestion des situations de sécheresse agricole, MF-NC et l'OEIL ont décidé de mettre en commun les données et les logiciels nécessaires à la réalisation du projet.

Article 1 : Objet de la convention

La présente convention a pour objet de définir les modalités de mise à disposition :

- Par Météo France Nouvelle-Calédonie :
  - des données relatives aux indices de sécheresse météorologique, SPI (Standardized Precipitation Index) et SPEI (Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index) ,
  - du code source permettant le calcul de l'indicateur prévisionnel de sécheresse végétale, développé pour *EO4DroughtMonitoring* à l'échelle communale,
  - des fichiers de configuration (un par commune et par échéance de prévisions) établis sur la période d'apprentissage (2000-2021) et indispensable au calcul de l'indicateur prévisionnel de sécheresse végétale.

- Par l'OEIL :
  - des données relatives aux indices de sécheresse végétale, VHI (Vegetation Health Index) et VAI (Vegetation Anomaly Index),
  - d'un accès à la plateforme web de suivi et de prévision des indicateurs de sécheresse végétal.

L'OEIL opère une chaîne de traitement des données satellite permettant le calcul à fréquence mensuelle de la valeur moyenne du VHI pour chacune des 33 communes. Les informations produites alimentent au fil de l'eau une base de données composé d'un historique (2000-2021) issu du projet *EO4DroughtMonitoring.* Le calcul de la moyenne communale repose sur un masque de végétation de résolution 1 km. Ce masque est élaboré à partir d'une cartographie du Mode d'occupation des Sols (DINUM, OEIL, 2014) en ne gardant que les éléments 322 (strate herbacée), 321 (strate arbustive), 333 (végétation clairsemée), 230 (terres pastorales).

MF-NC opère une chaîne de traitement des données pluviométriques permettant le calcul à fréquence mensuelle des données SPI et SPEI nécessaires au suivi des épisodes de sécheresse météorologique. Ces données sont produites pour un ensemble de stations, dont la liste est fournie en annexe. Les informations produites alimentent au fil de l'eau une base de données constituée d'un historique sur la période 2000-2021.

MF-NC a élaboré pour le projet *EO4DroughtMonitoring* une modélisation statistique permettant de calculer des probabilités prévues de dépassement de seuil de VHI à un, deux et trois mois d'échéance pour chaque commune. Les modèles statistiques ont été ajustés à partir des données historiques de VHI et de SPI (2000-2021). Afin de garantir que les prévisions nouvellement produites ne seront entachées d'aucun biais, les partenaires conviennent de ne pas modifier les modes de calcul des indices VHI et SPI durant la période de la présente convention.

Pour simplifier la production de l'indicateur prévisionnel et limiter les sources potentielles de panne, les partenaires conviennent que le code source du logiciel de prévision conçu par MF-NC soit partagé et mis en œuvre par l'OEIL.

Article 2 : Modalités de mise à disposition des données entre les partenaires

Sur la durée de la convention, MF-NC s'engage :

- à livrer une fois par mois les données SPI et SPEI calculées pour le mois échu et pour toutes les stations mentionnées en annexe, sur un serveur de fichiers mis à disposition de MF-NC (serveur FTP) et qui seront ensuite dupliqués sur le serveur de l'OEIL.
- à fournir les données anciennes SPI et SPEI sur la période (2000-2022) dès la mise en œuvre de la convention.
- à remettre le code source du logiciel de prévision, accompagné du fichier de licence (CeCILL-B), dès la mise en œuvre de la convention.
- à fournir les fichiers de configuration du logiciel de prévision (un par commune et par échéance de prévisions) établis sur la période (2000-2021), ainsi que l'historique des prévisions (2000-2022), dès la mise en œuvre de la convention.

L'OEIL s'engage sur la durée de la convention :

- à fournir sur demande de MF-NC, dès la mise en œuvre de la convention, les données VHI et VAI anciennes (2000-2022) et celles produites dans le cadre de cette convention sur un serveur de fichiers hébergé par l'OEIL.
- à ouvrir un accès libre à la plateforme web de suivi et de prévision des indicateurs de sécheresse végétal.

Les deux organismes disposent d'un accord réciproque d'utilisation des données de l'autre partie. Chaque organisme utilise les données conformément aux missions qui lui sont attribuées par son statut. Il ne peut les transmettre en toute ou partie à un tiers. Par ailleurs, l'origine des données doit être citée dans toute publication ou production les utilisant.

Chaque organisme s'engage :

- à alerter dès que possible l'autre organisme de son impossibilité temporaire à respecter un quelconque de ces engagements, à l'informer des dispositions prises et de la date probable du retour à la situation normale antérieure,
- à fournir sur demande de l'autre organisme les données anciennes produites sous sa responsabilité, dès la mise en œuvre de la convention.

Article 3 : Dispositions financières

La mise à disposition des données dans le cadre de la présente convention ne donne lieu à aucune contrepartie financière. Les frais de mise à disposition demeurent à la charge de chaque partenaire.

Article 4 – Responsabilités

Chaque organisme ne saurait être tenu pour responsable, d'une part de l'exactitude des données et d'autre part des événements pouvant résulter de l'interprétation et de l'utilisation par l'autre organisme, directe ou indirecte, des données fournies dans le cadre de cette convention.

Article 5 : Durée et avenants

La présente convention est valable à compter de sa date de signature, pour une durée de 3 ans, renouvelable deux fois par tacite reconduction. Elle pourra faire l'objet d'avenant.

Article 6 – Suivi de l'exécution

Un comité de suivi responsable du bon déroulement de la convention est mis en place. Il réunit les représentants des signataires :

- pour MF-NC : Alexandre Peltier et Christophe Point-Dumont
- pour l'OEIL : Hugo Roussaffa et Fabien Albouy

Il se réunit une fois au démarrage du projet pour valider la mise en ligne de plateforme web de suivi et de prévision des indicateurs de sécheresse végétal.

Il se réunit ensuite une fois par an pour :

- faire le bilan du fonctionnement technique de la présente convention sur l'année écoulée (problèmes rencontrés et évolution des aspects techniques),
- faire un état de la qualité de l'indicateur prévisionnel,
- établir un éventuel avenant,
- ou renouveler la convention.

Chaque organisme convoque alternativement l'autre, la première réunion, à l'initiative de l'OEILI, aura lieu dans un délai d'un mois suivant la date anniversaire de signature de la présente convention.

Des comptes rendus seront établis à chaque réunion du comité de suivi et seront envoyés aux signataires de la convention. Au-delà de la révision des annexes, qui sera consignée dans le compte-rendu, toute modification de la convention fera l'objet d'un avenant.

Article 7 – Résiliation

En cas de manquement par l'un des organismes à une ou plusieurs de ses obligations, dûment constaté et qui aura fait l'objet d'une mise en demeure par l'autre organisme par lettre recommandée et avis de réception, la présente convention est résiliée de plein droit si la mise en demeure reste sans effet au-delà de 30 jours.

Article 8 – Suspension et cas de force majeure

Si, par suite d'un cas de force majeure, les partenaires sont conduits à ne pas assumer leurs obligations, l'exécution de la présente convention est suspendue de plein droit pendant le temps où ceux-ci seraient dans l'impossibilité de le faire.

Article 9 – Règlement des litiges

Les organismes s'engagent à tenter de résoudre à l'amiable tout litige susceptible d'intervenir entre eux à l'occasion de l'interprétation et/ou de l'exécution de la présente convention.

En cas de désaccords persistants, ces litiges sont portés devant la juridiction compétente.

Article 10 – Droits de timbres et d'enregistrement

La présente convention est dispensée de frais de timbre et d'enregistrement.

☒ J'accepte de recevoir la présente convention signée par l'ensemble des parties en format numérique.
Adresse mail : contact.nouvelle-caledonie@meteo.fr

☐ Je refuse de recevoir la présente convention signée par l'ensemble des parties en format numérique.

Fait à Nouméa le, 05/12/2023

Pour l'OEIL,

Fabien ALBOUY, Directeur

Pour Météo France Nouvelle-Calédonie,

Gilles PERRET, Directeur régional

ANNEXE

Définition des indicateurs

SPI (Standardized Precipitation Index)

L'indicateur météo SPI est un indice standardisé de précipitation qui permet de caractériser la sécheresse météorologique sur une zone donnée. Le SPI est calculé à partir de données de précipitation historiques et temps réel. L'indice permet d'évaluer si une période donnée de précipitations est sèche, moyenne ou humide par rapport à la normale de la région étudiée. Le SPI est largement utilisé dans les études de la sécheresse, la planification de la gestion de l'eau et les prévisions météorologiques.

SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)

Le SPEI (Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index) est une version améliorée de l'indicateur SPI (Standardized Precipitation Index) qui tient compte à la fois des précipitations et de l'évapotranspiration, c'est-à-dire de la quantité d'eau perdue par évaporation à partir de la surface du sol et de la transpiration des plantes. Le SPEI est calculé à partir de données de précipitation et de température, qui sont utilisées pour estimer l'évapotranspiration réelle de la région étudiée. Comme le SPI, le SPEI est un indice standardisé de sécheresse qui permet de caractériser la sécheresse météorologique sur une zone donnée, mais il prend en compte des facteurs supplémentaires qui peuvent affecter la disponibilité de l'eau pour les plantes et les écosystèmes. Le SPEI est également utilisé dans les études de la sécheresse, la planification de la gestion de l'eau et les prévisions météorologiques.

***VHI (Vegetation Health Index* ; *Kogan, 1997, 2000*)**

L'indice de santé de la végétation (Vegetation Health Index ou VHI) est un autre indicateur utilisé pour évaluer l'état de la végétation à partir de données de télédétection. Il a été développé par le scientifique russe Dr. Gregory Kogan en 1997 et 2000.

L'indice VHI combine deux mesures de la végétation : l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) et la température de surface (ST). L'indice NDVI mesure la quantité de lumière réfléchie dans le spectre de la lumière visible et de l'infrarouge proche, tandis que la ST mesure la chaleur émise par la surface terrestre. En combinant ces deux mesures, l'indice VHI peut fournir une estimation de la vigueur et de la santé de la végétation.

L'indice VHI est calculé sur une échelle de 0 à 1, où des valeurs proches de 1 indiquent une végétation saine et vigoureuse, tandis que des valeurs proches de 0 indiquent une végétation très stressée ou morte. Il peut être utilisé pour surveiller la santé des cultures, des prairies, des forêts et des écosystèmes en général, ainsi que pour prévoir les conditions de production agricole et la sécurité alimentaire.

L'indice VHI a été largement utilisé dans la surveillance de la sécheresse et des conditions météorologiques extrêmes, car il peut aider à identifier les zones qui sont les plus touchées et nécessitent une aide d'urgence. Il est également utilisé pour étudier les tendances de la végétation sur une période donnée et pour évaluer l'impact des changements climatiques sur la santé de la végétation.

Organisation météorologique mondiale (OMM) et Partenariat mondial pour l'eau (GWP), 2016 : Manuel des indicateurs et indices de sécheresse (M. Svoboda et B.A. Fuchs), Programme de gestion intégrée des sécheresses, Integrated Drought Management Programme Tools and Guidelines Series 2, Genève.

Mode d'occupation du Sol de Nouvelle-Calédonie 2014 : Production du gouvernement de la Nouvelle-Calédonie et de l'Observatoire de l'environnement (OEIL) (2014) : Mode d'occupation du sol 2014, des provinces nord, sud et îles loyauté. Occupation du sol 2014 au format Géodatabase. URL (consulté le 01/08/2023) :
https://sig-public.gouv.nc/plateforme_telechargement/MOS2014_PN_PS_PI_GDB.zip

SCO, 2022 :
EO4DroughtMonitoring New Caledonia, URL (consulté le 01/08/2023) :
https://www.spaceclimateobservatory.org/eo4droughtmonitoring-new-caledonia

4.2 Documentation des chaines de traitement

6.2 Préconisations de configuration pour un premier test de lancement (MODE = MANUEL) . . . 8
6.2.1 Préconisations de configuration pour lancement historique (MODE = AUTO) . . . 9
6.2.2 Calcul des indices ou indicateurs uniquement (MODE = INDICES/DROUGHT) . . . 10

7 Intégration Continue (CI) 10
7.1 Agent Azure DevOps . . . 10
7.2 Déclenchement . . . 10
7.3 Déploiement en PROD . . . 11

1 Présentation générale

Ce dépôt contient la pipeline de traitement permettant la production des indicateurs de sécheresse développés dans le cadre du projet EO4DM (Earth Observation For Drought Monitoring). A la racine, se trouvent les fichiers servant à l'installation, l'intégration continue ainsi que la configuration de lancement de la pipeline.

Le dossier "dmpipeline" contient les différents packages et scripts en python pour le traitement des produits intervenant dans la pipeline (images satellites, données météorologiques). On y trouve les scripts principaux des trois chaines LOCALE, GLOBALE et ALERTE : - LocalDrought_ProcessingChain.py : sécheresse végétale à haute résolution spatiale (10 m) - GlobalDrought_ProcessingChain.py : sécheresse végétale à moyenne résolution spatiale (500 m) - AlertDrought_ProcessingChain.py : alertes sécheresse à échelle régionale (synthèse par zones)

Quatre sous-dossiers correspondent aux modules (packages) suivants : - ALERT_Processing : scripts de la chaine Alerte et identifiants pour l'accès aux produits Copernicus (ftp_accounts) - DROUGHT_Processing : scripts pour le calcul des indicateurs sécheresse aux échelles locales et globales - GEE_Processing : scripts pour l'accès, le prétraitement et le téléchargement des produits GEE (Google Earth Engine), ainsi que les identifiants Google (gee_accounts) - GEOSTATS_Processing : scripts pour le calcul de statistiques spatiales des indicateurs

Le sous-dossier tests_notebooks contient des notebooks jupyter pour le test de certaines fonctionnalités des chaines. Certains tests unitaires restent à faire.

Le sous-dossier ANNEX_Data contient des données annexes pouvant être nécessaires à la pipeline : - Landsat_Grid_World : contours des différentes tuiles landsat sur l'ensemble du globe, nécessairement utilisées par la chaine LOCALE - Territory : exemple de données pouvant être utilisées par la chaine GLOBALE pour le calcul de statistiques spatiales (/Areas, /Landcover), et nécessairement utilisées par la chaine ALERTE (/Stations) . Ici, à titre d'exemple,

les produits fournis sont ceux de la Nouvelle-Calédonie et devront être adaptés/modifiés pour d'autres territoires d'étude.

Un sous-dossier DOC contient de la documentation utile.

La pipeline peut s'utiliser de deux manières : - Utilisation "Test", pour un production en un seul coup, chaine par chaine, et qui est recommandée pour une première prise en main des chaines (cf. section Utilisation "Test") - Utilisation "Service-Régulier, pour une production continue et parallelisée des chaines via un environnenent Docker, adaptée à la mise en place d'un service de production régulier (cf. section Utilisation "Service-Régulier")

2 Configuration Google Earth Engine (GEE)

Pour collecter et prétraiter les produits satellites MODIS, LANDSAT-7-8-9 et SENTINEL-2, les chaines LOCALES et GLOBALES se basent sur l'API python GEE (earthengine-api).

Afin que la pipeline appelle correctement l'API, l'utilisateur doit au préalable : 1) S'enregistrer sur GEE et créer un projet dédié à l'utilisation de la pipeline (cf. Register) 2) Créer un compte de service Google dédié qui permettra l'authentification/initialisation automatique de l'API GEE à chaque lancement de la pipeline (cf. Service Acccount) 3) Générer une clé privée au format JSON contenant les identifiants du compte 4) Placer la clé privée dans le dossier gee_accounts

Depuis l'espace en ligne du projet GEE (Asset Manager, Code Editor) : 1) Créer un nouveau dossier 'Annex' (cf. Managing Assets) 2) Importer le fichier Landsat_Grid_World.zip dans 'projects/id-du-projet-gee/assets' (cf. Importing Table Data) 3) Déplacer le fichier Landsat_Grid_World dans 'Annex'

Pour la chaine LOCALE, il est possible de définir une zone selon laquelle les indices GEE seront découpés (par défault la découpe est faite selon l'emprise des tuiles Landsat). Pour cela : 1) Générer une couche vecteur au format shapefile contenant la (les) contour(s) de la zone (plusieurs polygones sont possibles) 2) Compresser dans un fichier zip nommé 'Landmask_Grid_ROI.zip' 3) Depuis l'espace en ligne du projet GEE, importer le fichier Landmask_Grid_ROI dans 'projects/id-du-projet-gee/assets', puis le déplacer dans 'Annex'

3 Utilisation "Test"

Le fichier setup.py installe les différents modules de la pipeline.

Les librairies python nécessaires sont : - rasterio - pandas - geopandas - gdal - earthengine-api - PyDrive - python-dotenv - setuptools - scipy - tqdm

3.1 Fichier de configuration

Le fichier Config_process.env configure le lancement des chaines. Plusieurs variables d'environnement sont à définir selon l'usage souhaité. Pour une utilisation via Docker, ne pas modifier ce fichier et se référer directement à la section Utilisation "Service-Régulier.

Les différentes variables de configuration et leur fonction sont décrites dans le fichier, dont certaines sont facultatives. On y trouve tout d'abord les chemins vers les dossiers d'écriture (WRK_DIR) et de lecture (DATA_HISTO, ANNEX_DIR) des chaines, spécifiques à l'environnement d'installation de la pipeline. Ensuite, un certain nombre de variables de fonctionnement permettent de paramétrer les traitements à réaliser. Voici les principales variables à renseigner : - TERRITORY : nom anglais du Territoire/Pays à traiter, nécessaire dans GEE pour collecter les produits satellites - MODE : Mode de fonctionnement des chaines (AUTO, MANUAL, INDICES, DROUGHT) - PERIOD_START : Date de début de la période à traiter (inclusive) - PERIOD_END : Date de fin de la période à traiter (exclusive) - TILES_L : Nom des tuiles landsat à traiter (facultatif) - TILES_S2 : Nom des tuiles sentinel-2 à traiter (facultatif)

3.2 Installer via pip

Le fichier libraries décrit les dépendances nécessaires.

S'assurer d'avoir installé virtualenv, se placer à la racine (dossier EO4DM), et exécuter :

```
python -m venv dmpipeline
source dmpipeline/bin/activate (linux)
./dmpipeline/Scripts/Activate.ps1 (windows)
pip install -r libraries.txt
python setup.py install
```

Installer `rasterio` avec pip peut être problématique, en particulier avec Windows (cf. link). Si c'est le cas, privilégier conda.

3.3 Installer via conda

Le fichier environment.yml décrit les dépendances nécessaires.

Exécuter :

```
conda env create --file environment.yml
conda activate dmpipeline
python setup.py install
```

3.4 Exécution

Une fois le fichier de configuration complété, chaque chaine se lance de manière indépendante. Ici, chaque chaine sera exécutée une seule fois sur la période et la région souhaitées. Une fois l'ensemble des indicateurs calculés, la chaine s'arrête et c'est à l'utilisateur de la relancer si nécessaire.

Exécuter la chaine locale :

```
localDM
```

Exécuter la chaine globale :

```
globalDM
```

Exécuter la chaine alerte :

```
alertDM
```

4 Utilisation "Service-Régulier"

Il est possible de lancer et exécuter les différentes chaines via Docker. Chaque chaine aura ainsi son conteneur Docker associé, mais basée sur une image commune qui contiendra l'ensemble des librairies nécessaires au projet en utilisant un environnement Conda. Cette image est basée sur Linux, avec une installation de Python et Conda : - Dockerfile contient les instructions pour la construction de l'image Docker - docker-compose.yml définit les services des différents dockers (variables entrées/sorties, image docker utilisée)

4.1 Fonctionement Docker

Afin de pouvoir exécuter la pipeline selon différents modes, le dockerfile lance le fichier entrypoint.sh. Celui-ci prend en entrée la variable d'environnement MODE définie dans le docker-compose et permettant un lancement : - soit automatique et continue, qui fait appel au script python control_autorun.py dans lequel une boucle while exécute la chaine de traitement en continue - soit en un seul coup (autres valeurs de MODE), équivalent à l'utilisation "Test" de la pipeline.

Tous les conteneurs sont regroupés dans le fichier docker-compose.yml où il est possible de paramétrer le script à exécuter via des variables d'environnement. Ces variables sont ensuite lues par le fichier de configuration Config_process.env. S'assurer donc de bien remplir le dockercompose avec les variables attendues en configuration. Toute variable non fournie dans

le dockercompose sera considérée comme None dans le fichier de configuration, ce qui entrainera une erreur si les variables obligatoires ne sont pas définies.

La variable d'environnement WRK_DIR est par défaut reliée à la variable définie dans le fichier azure-pipelines.yml (cf. Intégration Continue (CI)). Dans le cas d'une utilisation sans CI de la pipeline, paramétrer directement le chemin du WRK_DIR dans le dockercompose (-WRK_DIR=chemin…).

Le fichier docker-compose.yml décrit à minima 3 dockers pour le lancement des 3 chaines principales. Néanmoins, il peut contenir autant de descriptions dockers que souhaitées, correspondant par exemple à différents cas d'usages : territoires, périodes, modes de lancements, etc. S'assurer de garder les mêmes paramètres d'entrées/sorties, en les mettant à jour selon l'usage souhaité (TERRITORY=…, MODE=…, PERIOD=…).

Les logs des scripts sont redirigés vers la sortie du conteneur pour les voir apparaître dans les logs via `docker logs <container> -f`. Pour cela, la sortie des scripts est redirigée vers le fichier `/proc/1/fd/1` qui est en fait la sortie du conteneur. L'instruction `2>&1` est également ajoutée pour que les erreurs soient retournées à la sortie du conteneur.

4.2 Exécution Docker

S'assurer au préalable d'avoir installé Docker sur sa machine.

Pour construire, créer/recréer les dockers et démarrer en mode détaché (arrière plan), exécuter :

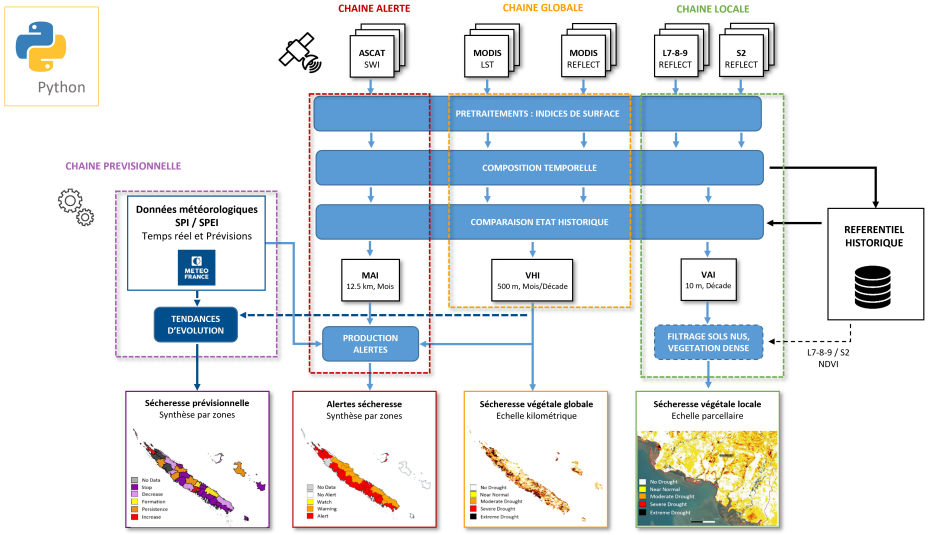
```
docker-compose up -d --build --force-recreate
```

Pour stopper les dokers, exécuter :

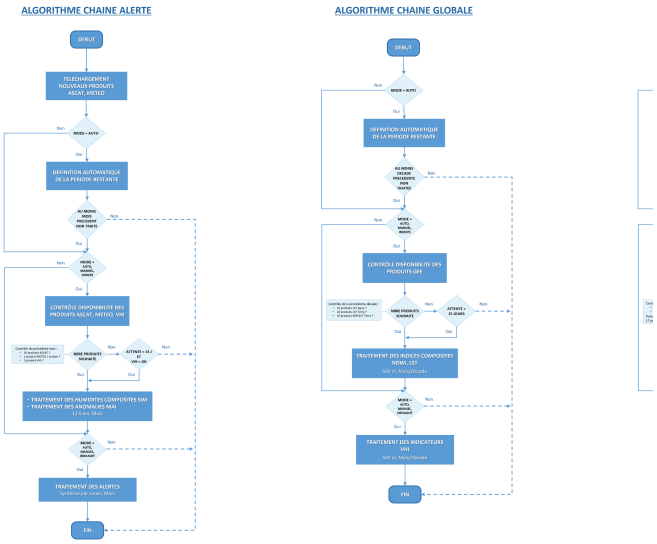
```
docker-compose down
```

5 Algorithmes

Les différentes chaines de la pipeline, les étapes principales de traitements, ainsi que les produits d'entrée et de sortie, sont synthétisés dans le schéma SCHEMA_GENERAL_EO4DM.png :



Le fichier ALGO_CHAINES_EO4DM.png présente et décrit les algorithmes des chaines



ALERTES, GLOBALES et LOCALES :

4.3 Documentation des chaines de traitement

==========
Vegetation Drought Index Forecast Program (R version) ==========

Author: Alexandre Peltier Contact: alexandre.peltier@meteo.fr

==========
Program Description ==========

This program generates vegetation drought index forecasts for New Caledonia based on rainfall measurements from previous months and Global Drought Observatory (GDO) seasonal forecasts. The forecasts are generated using statistical models implemented in R.

==========
Required R Packages ==========

The program requires the following R packages to be installed:

- ncdf4
- tidyr
- dplyr
- forcats
- ordinal
- sp
- gstat
- spacetime
- rgdal
- rgeos
- maps
- mapdata
- mapproj
- maptools
- sf
- curl
- rvest
- rlang

You can install these packages using the `install.packages()` function in R.

==========
Useful Functions ==========

The program includes several custom functions for handling data retrieval from FTP servers, data processing, and modeling. These functions are documented within the code.

==========
Data Sources and Repositories ==========

- **GDO Data**: Retrieved from the European Commission's Joint Research Centre (JRC) Drought Observatory datasets.
- **OKAPI Data**: Retrieved from the French Meteorological Service (Météo-France) FTP server.
- **Remote Sensing Data (VHI)**: Retrieved from a local repository.
- **Statistical Models**: Ordinal logistic models are used for forecasting drought indices.

==========
Input Data Files ==========

The program requires the following input data files:

- **VHI Data**: Monthly Vegetation Health Index (VHI) data for New Caledonia.
- **GDO Data**: Global Drought Observatory (GDO) seasonal forecast data.
- **OKAPI Data**: Standardized Precipitation Index (SPI) data.
- **Communal Contours Shapefile**: Defines the boundaries of municipalities in New Caledonia.
- **Mask File**: Used for calculating the remote sensing index.

==========
Output Data Files ==========

The program generates the following output data files:

- **Model Inputs**: CSV file containing input data for statistical models.
- **Forecast Probabilities**: CSV file containing forecast probabilities.
- **Vegetation Indices**: CSV file containing vegetation drought indices.
- **Rainfall Indices**: CSV file containing rainfall indices.

==========
How to Run the Program ==========

1. Ensure that all required R packages are installed.
2. Make sure that the necessary input data files are available.
3. Run the R script "Vegetation_Drought_Index_Forecast.R".

==========
Disclaimer ==========

This program is provided as-is, without any warranty, expressed or implied. The author is not responsible for any damages or losses arising from the use of this program.

==========

4.4 Dépendances python des chaines version 1.0.0

4.5 Etudes réalisées

4.5.1 Etude gapfilling Landsat 7

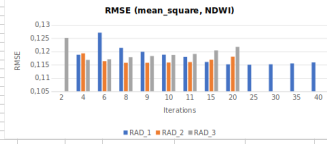
L'étude réalisée sur le gapfilling des données Landsat 7 a permis de mettre en évidence l'efficacité de la méthode de gapfilling utilisée pour combler les données manquantes. Les résultats obtenus montrent une amélioration significative de la qualité des données après gapfilling. Les images obtenues après gapfilling présentent une cohérence spatiale et temporelle satisfaisante, ce qui permet d'obtenir des indicateurs de sécheresse plus fiables et précis.

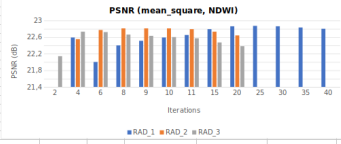
ROI test	*Zone autour de La Tontouta en bord de tuile (082075) où il y a le plus d'effets du SLC, occupation du sol variée, quasi aucun nuage*				
Date good	*09/05/2003 (SANS erreur SLC)*				
Date bad	*24/08/2013 (AVEC erreur SLC)*				
Méthodes	**Paramètres**	***Observations NOYAUX***	***Observations RADIUS***	***Observations ITERATIONS***	***GENERAL***
Focal mean	noyau, radius, itérations,	*Square/Diamond proposent meilleur remplissage. Diamond semble apporter de meilleurs détails.* Meilleures perf avec SQUARE	Meilleurs perf avec RAD=3	Meilleures perf avec ITER=4	*- Le FillScore est identique selon MEAN ou MEDIAN*
Focal median	noyau, radius, itérations,	*Idem*	Idem	Idem	*- Meilleures perf avec MEAN* *- Essais suivants à réaliser avec bande NDWI, et plus d'itérations*

Noyau	Radius	Iteration	FillingScore	RMSE_FULL	PSNR_FULL (dB)	RMSE_GAP	PSNR_GAP (dB)	*Remarques*
Square	1	8	0,997	0,0112	43,13	0,0180	39	*Reste nan sur bords image*
		9	0,999	0,0111	43,19	0,0178	39,06	*Reste nan sur bords image*
		10	1	0,0110	43,22	0,0177	39,1	*Reste nan bords mais très peu*
		11	1	0,0110	43,23	0,0177	39,11	*Reste nan bords mais très peu*
	2	4	0,997	0,0105	43,64	0,0169	39,51	*Reste nan sur bords image*
		5	1	0,0103	43,82	0,0166	39,7	*Reste nan bords mais très peu*
		6	1	0,0101	43,97	0,0163	39,85	OK
	3	2	0,988	0,0106	43,6	0,0171	39,45	*Reste nan sur bords image*
		3	0,999	0,0101	44	0,0162	39,88	*Reste nan sur bords image*
		4	1	**0,0099**	**44,18**	**0,0159**	**40,06**	OK
Diamond	1	8	0,992	0,0115	42,85	0,0186	38,71	*Reste nan sur bords image*
		9	0,996	0,0115	42,86	0,0185	38,73	*Reste nan sur bords image*
		10	0,999	0,0115	42,87	0,0185	38,74	*Reste nan sur bords image*
		11	1	0,0115	42,87	0,0185	38,75	*Reste nan bords mais très peu*
	2	4	0,992	0,0111	43,21	0,0178	39,06	*Reste nan sur bords image*
		5	0,999	0,0109	43,35	0,0175	39,22	*Reste nan sur bords image*
		6	1	0,0108	43,44	0,0173	39,32	*Reste nan bords mais très peu*
	3	2	0,925	-		-		*Strip lines non comblées*
		3	0,996	0,0107	43,52	0,0172	39,39	*Reste nan sur bords image*
		4	1	0,0104	43,75	0,0167	39,62	*Reste nan bords mais très peu*

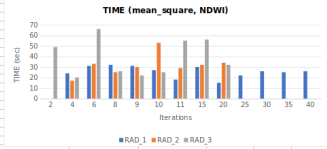
Noyau	Radius	Iteration	FillingScore	RMSE_FULL	PSNR_FULL (dB	RMSE_GAP	PSNR_GAP (dB	*Remarques*
Square	1	8	0,997	0,0105	43,65	0,0169	39,52	*Reste nan sur bords image*
		9	0,999	0,0104	43,77	0,0167	39,65	*Reste nan sur bords image*
		10	1	0,0103	43,86	0,0165	39,74	*Reste nan bords mais très peu*
		11	1	0,0102	43,94	0,0163	39,82	*Reste nan bords mais très peu*
	2	4	0,997	0,0102	43,94	0,0164	39,81	*Reste nan sur bords image*
		5	1	0,0100	44,11	0,0160	39,99	*Reste nan bords mais très peu*
		6	1	0,0099	44,2	0,0159	40,08	*OK*
	3	2	0,988	0,0105	43,7	0,0169	39,55	*Reste nan sur bords image*
		3	0,999	0,0099	44,13	0,0160	40,01	*Reste nan sur bords image*
		4	1	**0,0098**	**44,26**	**0,0157**	**40,14**	OK
Diamond	1	8	0,992	0,0108	43,4	0,0174	39,25	*Reste nan sur bords image*
		9	0,996	0,0107	43,53	0,0171	39,4	*Reste nan sur bords image*
		10	0,999	0,0105	43,64	0,0169	39,51	*Reste nan sur bords image*
		11	1	0,0104	43,72	0,0168	39,6	*Reste nan bords mais très peu*
	2	4	0,992	0,0107	43,52	0,0172	39,38	*Reste nan sur bords image*
		5	0,999	0,0104	43,77	0,0167	39,64	*Reste nan sur bords image*
		6	1	0,0102	43,92	0,0164	39,8	*Reste nan bords mais très peu*
	3	2	0,925	-				*Strip lines non comblées*
		3	0,996	0,0104	43,75	0,0167	39,62	*Reste nan sur bords image*
		4	1	0,0101	44	0,0162	39,88	*Reste nan bords mais très peu*

METHOD	ITER	TIME_RAD1	FS_RAD1	RMSE_FULL_RAD1	PSNR_FULL_RAD1	RMSE_GAP_RAD1	PSNR_GAP_RAD1	TIME_RAD2	FS_RAD2	RMSE_FULL_RAD2	PSNR_FULL_RAD2	RMSE_GAP_RAD2	PSNR_GAP_RAD2	TIME_RAD3	FS_RAD3	RMSE_FULL_RAD3	PSNR_FULL_RAD3	RMSE_GAP_RAD3	PSNR_GAP_RAD3
	2													49	0,988	0,07755	26,29	0,12506	22,14
	4	24	0,717	0,06631	27,65	0,11874	22,59	17	0,997	0,07416	26,68	0,11925	22,55	20	1	0,07272	26,85	0,1168	22,73
	6	31	0,988	0,07876	26,16	0,12705	22	33	1	0,07239	26,89	0,1163	22,77	66	1	0,07286	26,83	0,11703	22,72
	8	32	0,997	0,07543	26,53	0,12132	22,4	25	1	0,07204	26,93	0,11572	22,81	26	1	0,07337	26,77	0,11783	22,66
	9	31	0,999	0,07457	26,63	0,11985	22,51	30	1	0,07204	26,93	0,11572	22,81	22	1	0,07363	26,74	0,11825	22,63
	10	27	1	0,07391	26,71	0,11876	22,59	53	1	0,07211	26,92	0,11582	22,81	25	1	0,07388	26,71	0,11866	22,6
Mean_square	11	18	1	0,0734	26,77	0,11794	22,65	29	1	0,07221	26,91	0,11598	22,79	55	1	0,07412	26,68	0,11904	22,57
	15	30	1	0,07221	26,91	0,11601	22,79	32	1	0,07276	26,84	0,11686	22,73	56	1	0,07496	26,59	0,12038	22,47
	20	15	1	0,07167	26,98	0,11513	22,86	34	1	0,07348	26,76	0,11801	22,64	32	1	0,07578	26,49	0,1217	22,38
	25	22	1	0,07157	26,99	0,11497	22,87												
	30	26	1	0,07169	26,97	0,11515	22,86												
	35	25	1	0,07189	26,95	0,11547	22,83												
	40	26	1	0,07213	26,92	0,11586	22,8												





Best Quality :	SCORE	RAD	ITER
RMSE_GAP	0,11497	1	25
PSNR_GAP	22,87	1	25
Worst Quality :			
RMSE_GAP	0,12705	1	6
PSNR_GAP	22	1	6



METHOD	ITER	TIME_RAD1	FS_RAD1	RMSE_FULL_RAD1	PSNR_FULL_RAD1	RMSE_GAP_RAD1	PSNR_GAP_RAD1	TIME_RAD2	FS_RAD2	RMSE_FULL_RAD2	PSNR_FULL_RAD2	RMSE_GAP_RAD2	PSNR_GAP_RAD2	TIME_RAD3	FS_RAD3	RMSE_FULL_RAD3	PSNR_FULL_RAD3	RMSE_GAP_RAD3	PSNR_GAP_RAD3
	2														0,988	0,0778	26,26	0,12546	22,11
	4		0,717	0,0669	27,57	0,1198	22,51		0,997	0,0744	26,65	0,11964	22,53		1	0,07282	26,84	0,11697	22,72
	6		0,988	0,07918	26,11	0,12772	21,96		1	0,07264	26,86	0,1167	22,74		1	0,0729	26,83	0,11708	22,71
	8		0,997	0,07579	26,49	0,1219	22,36		1	0,07226	26,9	0,11608	22,79		1	0,07332	26,78	0,11775	22,66
	9		0,999	0,07495	26,59	0,12045	22,47		1	0,07224	26,91	0,11604	22,79		1	0,07354	26,75	0,11811	22,64
	10		1	0,0743	26,66	0,11939	22,54		1	0,07228	26,9	0,1161	22,79		1	0,07377	26,73	0,11847	22,61
Mean_square	11		1	0,07381	26,72	0,11859	22,6		1	0,07236	26,89	0,11622	22,78		1	0,07398	26,7	0,11881	22,59
	15		1	0,07263	26,86	0,11669	22,74		1	0,0728	26,84	0,11692	22,72		1	0,07475	26,61	0,12004	22,5
	20		1	0,07207	26,93	0,11577	22,81		1	0,07341	26,77	0,1179	22,65		1	0,07554	26,52	0,12131	22,4
	25		1	0,07193	26,94	0,11554	22,83		1	0,07397	26,7	0,1188	22,59						
	30		1	0,07198	26,94	0,11561	22,82		1	0,07447	26,64	0,11959	22,53						
	35		1	0,07212	26,92	0,11583	22,81		1	0,07491	26,59	0,1203	22,48						
	40		1	0,0723	26,9	0,11612	22,78		1	0,07531	26,55	0,12093	22,43						

Best Quality :	SCORE	RAD	ITER
RMSE_GAP	0,11554	1	25
PSNR_GAP	22,83	1	25
Worst Quality :			
RMSE_GAP	0,12772	1	6
PSNR_GAP	21,96	1	6

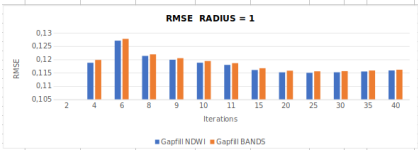
	RADIUS = 1		
	SCORE	METHOD	ITER
Best Quality RMSE_GAP	0,11497	Gapfill NDWI	25
PSNR_GAP	22,87	Gapfill NDWI	25
Worst Quality RMSE_GAP	0,12772	Gapfill BANDS	6
PSNR_GAP	21,96	Gapfill BANDS	6

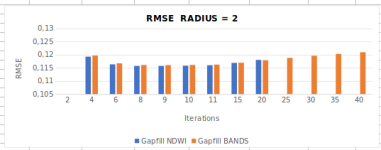
	RADIUS = 2		
	SCORE	METHOD	ITER
Best Quality RMSE_GAP	0,11572	Gapfill NDWI	8 ; 9
PSNR_GAP	22,81	Gapfill NDWI	8 ; 9 ; 10
Worst Quality RMSE_GAP	0,11964	Gapfill BANDS	4
PSNR_GAP	22,53	Gapfill BANDS	4

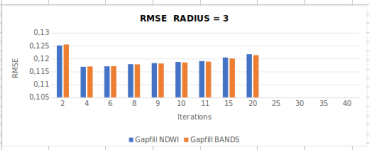
Comparaisons réalisées sur plages d'itérations communes [4 - 20]

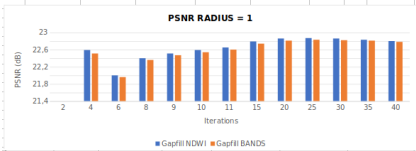
	RADIUS = 3		
	SCORE	METHOD	ITER
Best Quality RMSE_GAP	0,1168	Gapfill NDWI	4
PSNR_GAP	22,73	Gapfill NDWI	4
Worst Quality RMSE_GAP	0,12546	Gapfill BANDS	2
PSNR_GAP	22,11	Gapfill BANDS	2

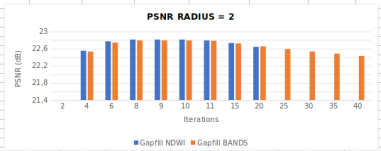
		SCORE	METHOD	RADIUS	ITER	TIME (sec)
FINAL	1rst	RSME_GAP 0,11497 PSNR_GAP 22,87	Gapfill NDWI	1	25	22
	2nd	RSME_GAP 0,11572 PSNR_GAP 22,81	Gapfill NDWI	2	8 ; 9	25 ; 30

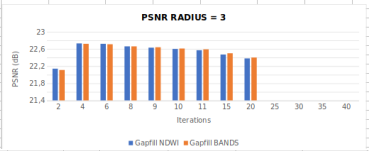






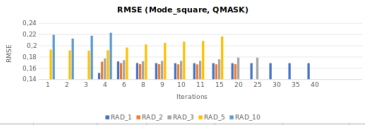


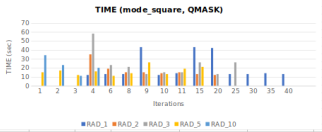




ROI test	*Zone autour de La Tootouta en bord de tuile (082075) où il y a le plus d'effets du SLC, occupation du sol variée*
Date good	*01/04/2001 SANS erreur SLC NUAGES 40 %*
Date bad	*24/08/2013 AVEC erreur SLC NUAGES 0 %*
Method	*Mode*
	Valeur dominante

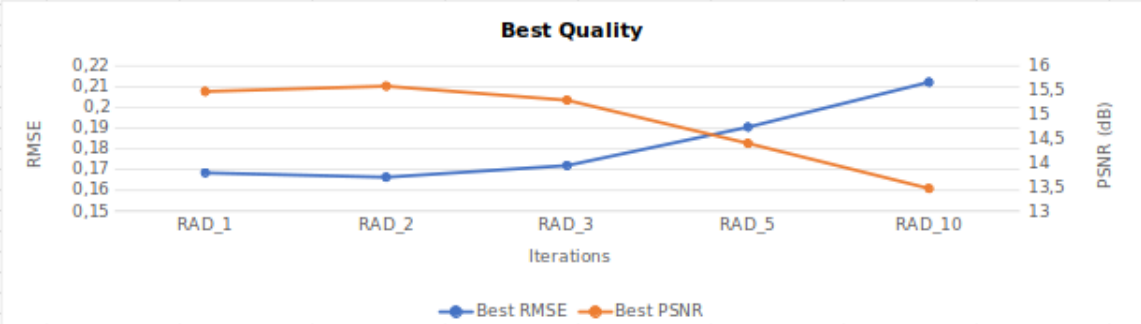
METHOD	ITER	TIME_RAD1	FS_RAD1	RMSE_FULL_RAD1	PSNR_FULL_RAD1	RMSE_GAP_RAD1	PSNR_GAP_RAD1	TIME_RAD2	FS_RAD2	RMSE_FULL_RAD2	PSNR_FULL_RAD2	RMSE_GAP_RAD2	PSNR_GAP_RAD2	TIME_RAD3	FS_RAD3	RMSE_FULL_RAD3	PSNR_FULL_RAD3	RMSE_GAP_RAD3	PSNR_GAP_RAD3
	1																		
	2																		
	3																		
	4	12	**0,717**	0,08438	21,48	0,15115	16,41	35	**0,997**	0,10641	19,46	0,17119	15,33	58	1	0,10999	19,17	0,1768	15,05
	6	13	**0,988**	0,10634	19,47	0,17158	15,31	19	1	0,10493	19,58	0,16868	15,46	23	1	0,10813	19,32	0,17381	15,2
	8	13	**0,997**	0,10486	19,59	0,16871	15,46	15	1	0,10376	19,68	0,1668	15,56	21	1	**0,10699**	**19,41**	**0,17199**	**15,26**
	9	43	**0,999**	0,10482	19,59	0,16853	15,47	15	1	0,10376	19,68	0,1668	15,56	13	1	0,10724	19,39	0,17239	15,27
	10	12	1	**0,1048**	**19,59**	**0,16847**	**15,47**	14	1	0,10363	19,69	0,16659	15,57	15	1	0,10738	19,38	0,1726	15,26
Mode_square	11	14	1	0,1048	19,59	0,16847	15,47	15	1	**0,1035**	**19,7**	**0,16638**	**15,58**	15	1	0,10738	19,38	0,1726	15,26
	15	43	1	0,1048	19,59	0,16847	15,47	13	1	0,10363	19,69	0,16659	15,57	26	1	0,10914	19,24	0,17541	15,12
	20	42	1	0,1048	19,59	0,16847	15,47	12	1	0,10376	19,68	0,1668	15,56	13	1	0,11098	19,09	0,17837	14,97
	25	13	1	0,1048	19,59	0,16847	15,47							26	1	0,11086	19,1	0,17818	14,98
	30	13	1	0,1048	19,59	0,16847	15,47												
	35	14	1	0,1048	19,59	0,16847	15,47												
	40	13	1	0,1048	19,59	0,16847	15,47												





Best Quality :	SCORE	RAD	ITER
RMSE_GAP	0,16638	2	11
PSNR_GAP	15,58	2	11
Worst Quality :			
RMSE_GAP			
PSNR_GAP			

	RAD_1	RAD_2	RAD_3	RAD_5	RAD_10
Best RMSE	0,16847	0,16638	0,17199	0,19048	0,21211
Best PSNR	15,47	15,58	15,29	14,4	13,47
TIME	12	15	21	12	23
ITER	10	11	8	3	2



4.5.2 Etude pour le choix du DataCube (GEE, Sentinel Hub, Data-Terra, Digital Earth Pacific)

Note de synthèse sur la faisabilité des services et plateformes de type "Data Cube"

Projet EO4DM - Fonds Pacifique

1 Introduction

Dans le cadre du projet EO4DroughtMonitoring (EO4DM), une phase préalable a été menée afin d'évaluer la faisabilité d'utilisation et d'intégration des services de type Data Cube dans la chaine de production opérationnelle des indicateurs satellites de sécheresse végétale. Nous rappelons dans la figure ci-dessous le principe général des différentes sous-chaines telles qu'elles ont été développées initialement :

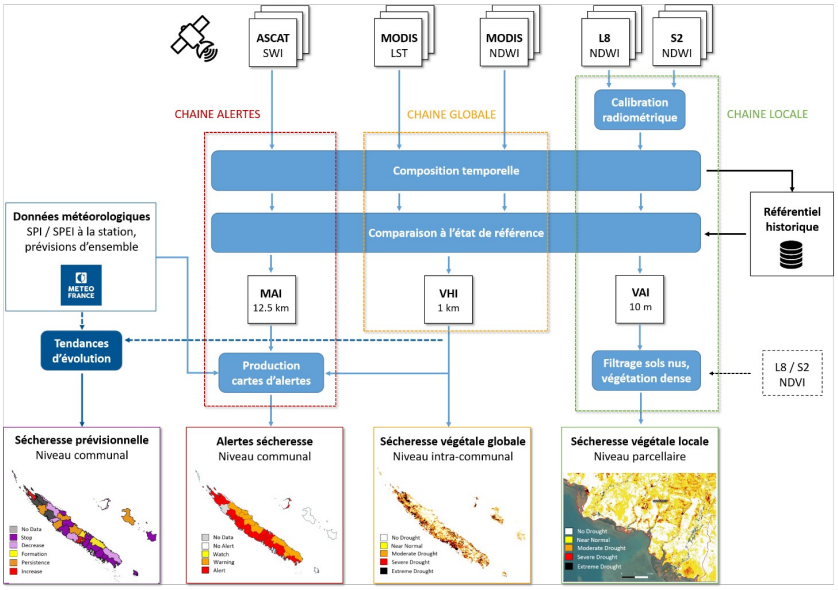


Figure Chaine de production de l'indicateur sécheresse

Pour rappel, un data cube désigne un tableau de données à plusieurs dimensions. Cette représentation est notamment utilisée pour faciliter le traitement de grande quantité de données comme les séries d'images satellites. En particulier dans le domaine de l'Observation de la Terre, plusieurs services/plateformes ont été développés ou sont en cours de développements se basant sur des data cubes en ligne d'images satellites.

L'apport de ces services/plateformes dans le projet EO4DM serait d'une part de s'affranchir du stockage, téléchargement et prétraitement en local des produits satellites (indices précalculés, produits composites, nuages masqués, etc.), et d'autre part de permettre la réalisation de certains traitements directement en ligne sur le cube.

2 Services/plateformes étudiés

Nous nous sommes concentrés sur les services dédiés à l'Observation de la Terre et proposant un panel important de produits et fonctionnalités en imagerie spatiale. Ceux que nous avons étudiés sont parmi les plus connus, comprenant des plateformes reconnues au niveau mondial, ainsi qu'une plateforme spécifique à la région du Pacifique. Certains services sont en cours de développement, donc non intégrables en l'état à date dans le projet en cours EO4DM, mais nous les avons tout de même ajoutés à l'étude car présentant un intérêt potentiel pour le futur. Voici la liste :

- Google Earth Engine :
  Plateforme développée par Google mettant à disposition un large catalogue de produits sur l'ensemble du globe, ainsi que plusieurs fonctionnalités de stockage (Google cloud, Google drive) et de traitements en ligne des produits (Earth Engine Code Editor, API Python).
- Euro Data Cube / Sentinel Hub :
  Plateforme de l'Agence Spatiale Européenne (ESA) se basant sur le service Sentinel-Hub d'accès et de traitement en ligne des produits satellites open-data et commerciaux. Cette plateforme intègre, en plus, des services de stockage et de traitement haute performance sur le cloud adaptés aux données cubes (EDC EOxHub). Elle inclut également des services de création et mise en place de data cubes par les utilisateurs (EDC xcube Generator).
- Data-Terra :
  Infrastructure de recherche mettant à disposition des catalogues de produits via leur service en ligne d'accès aux produits très haute résolution (Dimamis) ainsi que les services du pôle THEIA qui rassemble divers produits thématiques spécifiquement dédiés à l'étude des surfaces continentales. Un projet en cours (GAIA-DATA) vise à développer des services de stockage et de traitement en ligne des produits.
- Digital Earth Pacific :
  Plateforme en cours de développement portée par la Communauté du Pacifique Sud (CPS) regroupant divers produits satellites opérationnels (prétraités) sur le Pacifique et visant un accès gratuit de ces données aux différents territoires de la région.

3 Critères d'évaluation

Voici la liste des critères qui ont été utilisés pour évaluer la faisabilité et l'intérêt des services dans le projet, regroupés en trois catégories :

1) Catalogue :

- Capteurs satellites disponibles : catalogue de capteurs en relation avec notre besoin
- Niveaux de prétraitements : indices calculés, synthèse temporelle, filtres nuages, interpolation spatiale (gap-filling)
- Délai de mise à disposition : temps entre la date d'acquisition des produits et leur disponibilité sur les plateformes

2) Fonctionnalités proposées :
   - Possibilité d'opérer certains traitements en line (si pas déjà proposés dans le catalogue)
   - Interfaces de programmation (avantages/limites de l'API, langage, etc.)
   - Capacité de stockage sur cloud et Import/Export de données
   - Coûts éventuels

3) Autres critères :
   A cela s'ajoutent des critères annexes tels que la présence ou non d'une forte communauté autour du service (forums, codes disponibles, aide en ligne...) ou encore l'ergonomie des plateformes (facilité de prise en main des services, explorateur, prévisualisation des produits avant téléchargement...).

Un mois après le lancement du projet EO4DM, nous avons appris le décommissionnement des deux satellites embarquant le capteur MODIS : le satellite Terra décommissionné courant octobre 2022, et le satellite Aqua qui sera décommissionné courant 2023. Nous avons donc vérifié dans cette étude la disponibilité de produits pouvant remplacer dans la chaine les produits optiques et thermiques moyenne résolution issus de MODIS, à savoir : les produits VIIRS pour la partie optique, et Sentinel-3 (S3) pour le thermique.

4 Synthèse générale et préconisations

Le tableau 1 ci-après fait la synthèse de l'évaluation pour les quatre services. Les résultats sont présentés pour chaque critère (colonnes du tableau) et chaque produit/capteur attendu en entrée de la chaine de traitement EO4DM (lignes). *Ici nous n'avons pas intégré le délai de mise à disposition des produits (voir analyse spécifique en section suivante).*

Tout d'abord, concernant le catalogue, nous remarquons qu'aucune plateforme ne met à disposition l'ensemble des capteurs nécessaires au projet. Néanmoins, les quatre plateformes proposent les capteurs haute résolution (Sentinel, Landsat) présentant le plus d'intérêt ici. Seuls Google Earth Engine (GEE) et Euro Data Cube (EDC) intègrent les produits moyennes résolution MODIS et S3. Pour les produits S3, seuls les produits de niveau L1B sont fournis à chaque fois (pas de correction atmosphériques). Seul GEE propose les produits thermiques VIIRS, et aucune plateforme ne propose les produits ASCAT ou SMAP-S1.

Pour ce qui est des niveaux de prétraitements déjà réalisés, GEE propose seulement un indice NDWI MODIS (pas d'indices haute résolution). EDC et Digital Earth Pacific proposent quelques indices de végétation (agricoles) haute résolution précalculés. Data-Terra ne propose pas de produits déjà prétraités à ce stade. Aucune plateforme ne propose de produits Landsat-7 corrigés (gap-filling).

En termes de traitements réalisables en ligne, seules les plateformes GEE et EDC proposent des services opérationnels à ce jour. A priori, Data-Terra vise à

permettre ces services *(en cours de développement)*. Digital Earth Pacific ne semble pas inclure ces fonctionnalités, proposant a priori uniquement des services d'accès aux produits.

Les interfaces de programmation proposées par GEE sont gratuites. Il s'agit d'un éditeur de texte en ligne codé en JavaScript (Earth Engine Code Editor) ainsi qu'une API Python pouvant être utilisée en ligne sous forme de notebooks (Google Colab) ou en local afin d'être intégrée aux applications des utilisateurs (libraire *earthengine-api*). EDC propose en revanche des services payants (cf. prix standard minimum affiché dans le tableau) : une API Python sentinel-hub intégrant plusieurs librairies pour le traitement d'images et de données cubes (analyse multi-dimensionnelle via la librairie *xcube*), ainsi qu'une API Euro Data Cube (EDC EOxHub) pour accéder à un environnement plus performant.

Pour ce qui est de l'espace de stockage disponible, GEE propose un espace gratuit de 250 Go (pouvant être augmenté par paiement mensuel). EDC propose un espace gratuit durant la première année d'utilisation, qu'il faut ensuite payer au mois et en fonction de la quantité de données stockées (0.03€/Go/mois). Pour les deux services (GEE et EDC), l'import de produits par l'utilisateur sur la plateforme est possible, tout comme l'export des produits prétraités issus de la plateforme. EDC demande néanmoins de disposer d'un entrepôt de type bucket Amazon S3 pour intégrer ses propres données.

Préconisations :

Au vu de ces premiers résultats, les services/plateformes qui présenteraient à ce stade le plus d'intérêt sont GEE et EDC. Ils présentent à la fois un catalogue de produits répondant en majeure partie aux besoins du projet tout en permettant des fonctionnalités de traitement et stockage en ligne. Pour ce qui est de Data Terra et Digital Earth Pacific, ces plateformes ne sont pas assez matures pour pouvoir les intégrer au projet en cours.

GEE présente une interface de visualisation et de programmation claire et facile d'utilisation, avec un panel de librairies prêtes à l'emploi. En revanche l'export en local se fait via un espace intermédiaire dédié de type Google Drive ou Google Cloud, qui s'avère être limité pour les versions gratuites (15 Go pour G-Drive) et avec un temps d'export relativement long (~10 min pour une tuile de 500 Mo). Cela peut donc être limitant si l'utilisateur souhaite exporter une masse importante de données de manière récurrente.

➔ *Au vu de ces caractéristiques, le service GEE pourrait être utilisé dans ce projet afin de prétraiter les produits directement en ligne via l'interface de programmation (API Python notamment). Ces produits prétraités (indices calculés et filtrés avec masque de nuage) seraient ensuite exportés par l'utilisateur chaque mois en local (sur pc ou serveur utilisateur), où serait réalisé le calcul des indicateurs de sécheresse. Etant données les limitations de stockage, ce service serait surtout intéressant pour la mise en œuvre en mode routine de la chaine.*

EDC se base sur une forte communauté Sentinel Hub qui met à disposition de nombreux codes en ligne via des forums et blogs (forum sentinel-hub, blog sentinel-hub) et dépôts de scripts pour le traitement d'images satellites (Github, Customs script). Néanmoins, EDC ne propose pas d'accès gratuit, impliquant un

coût minimal de 30€/mois via Sentinel Hub pour une utilisation maximale de 30 000 unités par mois et 300 unités/min (unité = image 512x512, 3 bandes). Un accès plus adapté aux besoins des entreprises (batch processing) est proposé pour 400€/mois. Il est également possible de faire une demande d'accès gratuit à ce service dans le cadre de projets sponsorisés par l'ESA.

➔ *Au vu de ces caractéristiques, le service EDC pourrait être utilisé de la même manière que GEE, c'est-à-dire comme service d'accès et de prétraitement en ligne des produits satellites. Le service minimal (Sentinel Hub à 30€/mois) pourrait suffire à la mise en œuvre du mode routine de la chaine (~ 2500 unités/mois nécessaires à notre besoin).*

Tableau : Synthèse des critères d'évaluation pour les différents services (en rouge les éléments en cours de développement et/ou pour lesquels nous n'avons pas encore d'informations sûres).

SERVICES/PLATEFORMES	CAPTEURS	DISPONIBILITE	NIVEAUX PRODUITS	TRAITEMENTS EN LIGNE	INTERFACE PROGRAMMATION	STOCKAGE CLOUD, IMPORT/EXPORT	POINTS ANNEXES POSITIFS	POINTS ANNEXES NEGATIFS
GOOGLE EARTH ENGINE	**Sentinel**	S2 = OK S1 = OK	S2 = L2A ESA S1 = GRD - Calibré *(pas filtre speckle)*	S2 = Nuages, Indices, Composites, Gap-filling S1 = Composites, Speckle	Editeurs en ligne : Earth Engine Code Editor (JavaScript) Google colab (notebook Python) API Python en local : librairie *earthengine-api*	Stockage Gratuit : G-cloud, 250 Go Stockage Payant : G-Workspace, +10 To=300$/mois Export Gratuit : 5 Go (G-cloud), 15 Go (G-Drive) Import données : OK	Visualisation rapide via explorateur, Prise en main facile et efficace de l'éditeur, Communauté (codes), Traitements gratuits	Export drive = ~10 min/tuile (500 Mo)
	Landsat	L7, L8, L9 = OK	L2 - Collection 2 *(L7 non gap-fille)*	Nuages, Indices, Composites, Gap-filling				
	MODIS	OK	Optique = Réflectances, 8j, 1j Thermiques = LST, 8j, 1j NWI = Journalier *(pas composites)*	Nuages, Indices, Composites				
	VIIRS	OK	Optique = Réflectances, 1j Thermique = NON	Nuages, Indices, Composites				
	S3	NON *(que radiances L1B)*	-	-				
	ASCAT	NON	-	-				
	SMAP-S1	NON *(autres produits à 10km)*	-	-				
EURO DATA CUBE / SENTINEL HUB	**Sentinel**	S2 = OK S1 = OK	S2 = L2A ESA, indices, 10j S1 = GRD *(pas calibré)*	S2 = Nuages, Indices, Composites S1 = Composites, Speckle	SENTINEL HUB : API Python en ligne ou local (Payant) librairie *sentinelhub* -> Standard (min)=30€/mois -> Entreprise (bach process) = 400€/mois EURO DATA CUBE : espace haute performance en ligne (Payant) Jupyter notebooks (Python) -> Standard (min) 2CPU, 8 Go RAM = 100€/mois -> Perf GPU 16 Go, 4 CPUs 16Go RAM = 600€/mois	SENTINEL HUB (Payant) : Besoin bucket Amazon S3, 1 Go = 0,03€/mois (1 an gratuit) EURO DATA CUBE (Payant) : -> Standard (min) 30 Go = 100€/mois Import données : OK	Communauté (codes)	Pas d'accès restreint gratuit
	Landsat	L7, L8, L9 = OK	L2 - Collection 2 *(L7 non gap-fille)*	Nuages, Indices, Composites, Gap-filling				
	MODIS	OK	Optique = Réflectances, 16j Thermiques = NON	Nuages, Indices, Composites				
	VIIRS	NON	-	-				
	S3	NON *(que radiances L1B)*	-	-				
	ASCAT	NON	-	-				
	SMAP-S1	NON	-	-				
DATA-TERRA	*Dinamis : uniquement S2 ESA (tout territoire)* *THEIA : S2 THEIA et L8 THEIA (uniquement NC...)*			*Prévus dans le cadre du projet en cours GAIA-DATA...*	*Prévus dans le cadre du projet en cours GAIA-DATA...*	*Pas d'informations à ce stade...*	Explorateurs informatifs, claires et synthétiques (Dinamis, Theia)	Services non opérationnels à ce stade
DIGITAL EARTH PACIFIC	**Sentinel**	S2 = OK S1 = *pas encore disponibles*	S2 = L2A ESA, indices agri, NDWI *(equal ?)* S1 = GRD	*A priori pas de traitements...*	*A priori pas d'interfaces de programmation...*	*A priori pas d'espace de stockage...*	Earth explorer (en phase "pilote"), Indices précalculés	Services non opérationnels à ce stade (pas avant 2024 - 2025)
	Landsat	*Pas encore disponibles*	L2 - Collection 2, indices agri, NDWI *(?)*					
	MODIS	*Pas encore disponibles*	Optique = Réflectances, 8j Thermiques = LST, 8j					
	VIIRS	NON	-					
	S3	NON	-					
	ASCAT	NON	-					
	SMAP-S1	NON	-					

5 Délai de mise à disposition et préconisations

Le tableau 2 présente pour chaque produit la date d'acquisition la plus récente disponible sur les plateformes par rapport à la date de consultation (J=0). Il s'agit ici de vérifier que les plateformes étudiées permettent un mise à disposition des produits qui soit suffisamment rapide pour répondre aux besoins du projet, à savoir une mise à jour a minima toutes les dizaines de jours des indicateurs sécheresse en sortie de la chaine.

Ce travail a été fait sur les deux plateformes GEE et EDC sélectionnées en section précédente. Pour comparaison, nous avons également fait ce travail pour trois plateformes plus "classiques" ne présentant pas de services/fonctionnalités de type Data Cube : Sci Hub Copernicus, Earth Explorer USGS, AppEARS USGS.

Concernant les produits haute résolution (S1, S2, L8/L9), toutes les plateformes fournissent des produits dans un délai inférieur à la dizaine de jours. Nous remarquons que GEE présente un léger retard de mise à disposition par rapport aux autres plateformes, notamment pour les produits Landsat et Sentinel-1.

Pour ce qui est des produits moyenne résolution (MODIS, VIIRS, S3), le délai est plus long pour les produits MODIS, allant de 12 jours de délai sur GEE pour les acquisitions journalières jusqu'à 3 semaines dans le cas des images composites 8j obtenues sur GEE et EDC. La plateforme AppEARS permet en revanche de réduire ce délai en passant en dessous des 10 jours pour les produits journaliers. En revanche, les produits journaliers VIIRS de réflectances (optique) sont fournis dans les 5 jours sur GEE, ce qui reste comparables aux autres plateformes classiques. Concernant les produits journaliers S3 de températures de surface, ceux-ci n'étant pas fournis par les plateformes data cubes nous avons donc regarder leur mise à disposition sur la plateforme Sci Hub. Il s'avère que le délai ici est très court (2 jours).

Préconisations :

Au vu de ces résultats et de ceux précédents, nous préconisons d'utiliser la plateforme GEE pour les produits haute résolution (S1, S2, L8/L9) et les produits moyenne résolution optique (VIIRS). Celle-ci propose le plus de produits via un même service, avec des fonctionnalités et des interfaces intéressantes, et ce avec des délais de mise à disposition des produits qui restent en adéquation avec les besoins du projet. Les produits thermiques S3 seront quant à eux fournis via la plateforme Sci Hub. Celle-ci ne proposant pas de fonctionnalités de traitements, nous l'utiliserons uniquement comme moyen d'accès aux produits brutes.

Tableau : Comparaison des délais de mise à disposition des produits sur les plateformes "Data Cubes" et les plateformes "Classiques". Les zones grisées correspondent aux produits actuellement indisponibles et/ou aux produits bientôt indisponibles (décommissionnement prévu des satellites)

	SERVICES/PLATEFORMES	PRODUITS	SEMAINE-4							SEMAINE-3							SEMAINE-2							SEMAINE-1						
			J-27	J-26	J-25	J-24	J-23	J-22	J-21	J-20	J-19	J-18	J-17	J-16	J-15	J-14	J-13	J-12	J-11	J-10	J-9	J-8	J-7	J-6	J-5	J-4	J-3	J-2	J-1	J=0
DATA CUBES	GEE	S2																												
		S1																												
		L8/L9																												
		MODIS REFL_8j (aqua)																												
		MODIS REFL_1j (aqua)																												
		MODIS LST_8j (aqua)																												
		MODIS LST_1j (aqua)																												
		VIIRS REFL_1J																												
		VIIRS LST non fournis...																												
	EDC	S2																												
		S1																												
		L8/L9																												
		MODIS REFL_8j (aqua)																												
		VIIRS non fournis...																												
CLASSIQUES	SCI HUB	S2																												
		S1																												
		S3 LST																												
	USGS	L8/L9																												
		VIIRS_REFL_8j																												
		VIIRS_REFL_1j																												
		VIIRS LST soucis capteurs (en attente retours mail...)																												
	APPEARS	*MODIS REFL_8j (aqua)*																												
		MODIS REFL_1j (aqua)																												
		MODIS LST_8j (aqua)																												
		MODIS LST_1j (aqua)																												
		VIIRS REFL_8j																												
		VIIRS REFL_1j																												
		VIIRS LST 2 mois délai (attente retours mail)																												

6 Exemple d'utilisation : Google Earth Engine

Les principales étapes de pré-traitements des produits satellites ont été implémentées et testées en utilisant l'interface de Google Earth Engine. Le tableau 3 ci-dessous liste pour chaque phase de prétraitement les fonctions de la chaine que nous avons recodées via l'API Python de GEE. Pour la plupart, celles-ci se retrouvent sur cette API.

L'export d'une image de ndvi calculée à partir de réflectances S2 fournies par GEE a été testé à partir de l'API Python en local (installation sous conda de la libraire *earthengine-api*). L'image finale a été exportée sur un compte google drive standard (gratuit) en une dizaine de minutes, puis téléchargée sur une machine en locale. Le script python permettant cela est présenté en Annexe. *Afin d'automatiser la phase d'authentification nécessaire au lancement de l'API, un compte de service google a été créé. Celui-ci permet la génération d'une clé utilisateur que le script peut ensuite lire à chaque fois de manière automatique, sans nécessiter l'intervention de l'utilisateur.*

Tableau : Tests d'implémentation des étapes de prétraitements sur Google Earth Engine

PHASES	Fonction Chaine	Fonctions GEE	*Commentaires*
preprocSentinel2	calcul indices NDVI, NDWI	*image.normalizedDifference*	
	masque nuages, ombres	- Filtrage strict : clouds, cirrus (QA60) - Filtrage proba : sen2cloudless (MSK_CLDPRB)	sen2coudless = améliore filtrage strict en considérant également ombres
	masque saturation	bande présente (SCL)	Très faible impact (<1%)
	masque geo (pente, illum)	bande présente (SCL)	Très faible impact (<1%) sauf "Sun low"
	masque mer/continent	*image.clip*	
	masque outliers	ok	
	reprojection	ok	
preprocLandsat	calcul indices NDVI, NDWI	*image.normalizedDifference*	
	masque nuages, ombres	bande présente (qa_pixel)	
	masque saturation		Très faible impact (<1%)
	masque terrain		Très faible impact (<1%)
	masque aérosol	bande présente (qa_aerosol))	
	masque mer/continent	*image.clip*	
	masque outliers	ok	
	ré-échantillonnage	*image.resample*	
	gap-filling L7	*image.focal_mean*	
preprocMODIS	calcul indices NDVI, NDWI	*image.normalizedDifference*	
	convertion LST	ok	
	masque nuages NDVI, NDWI	QA et QA Bitmask	
	masque nuages LST	Déjà appliqué	
	masque mer/continent	*image.clip*	
exportData	rasterio.write	*batch.Export.image.toDrive*	sauvegarde image sur G-Drive

7 Adaptations nécessaires pour intégration dans la chaine de traitement

L'intégration des produits et fonctionnalités proposées par la plateforme GEE dans la chaine EO4DM implique certaines conditions (prérequis) et adaptations que nous précisons dans cette section.

Seules les chaines *Globales* et *Locales* de la figure 1 seraient modifiées (les produits ASCAT de la chaine *Alertes* n'étant pas disponibles via les services Data Cubes). Pour ces deux chaines, la plateforme GEE opérerait les étapes de prétraitements des indices de surface. Voici une proposition de procédure intégrant la plateforme GEE :

1) Prétraitements en ligne (GEE) :
- Calcul d'indices
- Filtres qualité (nuages, pente, illumination)
- Composition temporelle décade (10 j)

2) Téléchargement des indices composites

3) Traitements en local :
- Calcul indicateurs sécheresse
- Composition temporelle mois

4) Mise à jour du référentiel historique (stocké en local)

En raison des limitations d'espace de stockage en ligne de GEE, nous préconisons d'appliquer cette procédure uniquement en mode continu, c'est-à-dire pour une mise à jour par pas de 10 jours à 1 mois des indicateurs (et non pour une mise à jour en une seule étape de l'historique). Cela implique donc le calcul ainsi que le stockage préalable des indices historiques en local.

Une autre condition à l'intégration de cette plateforme dans la chaine est la calibration radiométrique des indices issus de nouveaux produits. Ce travail préalable devra être fait pour les indices de végétation et température de surface issus de MODIS-VIIRS-S3 afin de permettre la comparaison temporelle d'indices provenant de différents capteurs. Ce même travail devra également être réalisé entre les indices S2-ESA et Landsat fournis par GEE (la calibration que nous avions réalisée jusque là se basant sur l'estimation de fonctions statistiques reliant indices S2-THEA et Landsat).

Annexe : Script Python GEE

```
import os
import ee
import time
from pydrive.auth import GoogleAuth
from pydrive.drive import GoogleDrive
from oauth2client.service_account import ServiceAccountCredentials

# --- Authentication / Initialization ---
# Automatic authentification: needs creation of a google service account
path2wkdir = 'D:/MATHIS/0_Projet_Sécheresse/1_Scripts/vrac/GEE'
os.chdir(path2wkdir)

path2key = 'gee_accounts/account_param_mathis' # dossier où se trouve la clé
d'accès au compte de service
service_account = 'eo4dmservice@eo4dm-367504.iam.gserviceaccount.com'
credentials = ee.ServiceAccountCredentials(service_account,
os.path.join(path2key,'eo4dm_service_key.json'))
ee.Initialize(credentials,project='eo4dm-367504')

# --- Load the Sentinel-2 ImageCollection and filter to specific period
and location ---
countries = ee.FeatureCollection("USDOS/LSIB/2017")
roi = countries.filter(ee.Filter.eq('COUNTRY_NA','New Caledonia (Fr)'))
dataset = (ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED')
        .filterDate('2019-11-01', '2019-11-30')
        .filterBounds(ee.Geometry.Point(165.4885, -21.5466)))

# --- Get the least cloudy image in the period and clip to NC land ---
image = ee.Image(dataset.sort('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE').first())
image = image.clip(roi)

# --- Applies scaling factors and cloud mask (strict : clouds and cirrus)
---
def mask_scale_S2clouds(image):
  qa = image.select('QA60')

  # Bits 10 and 11 are clouds and cirrus, respectively
  cloudBitMask = 1 << 10
  cirrusBitMask = 1 << 11

  # Both flags should be set to zero, indicating clear conditions
  mask =
qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0).And(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0))

  return image.updateMask(mask).divide(10000)

image_cmasked = mask_scale_S2clouds(image)
```

```
# --- Calculate vegetation INDICES ---
image_ndvi = image.normalizedDifference(['B8','B4']).rename('NDVI')
image_ndwi = image.normalizedDifference(['B8','B11']).rename('NDWI')

# --- Export data to Drive ---
# Retrieve the projection information :
projection = image_ndvi.select('NDVI').projection().getInfo();

# Create a geometry representing an export region :
im_geom = ee.Geometry.Rectangle([165.35953389044525,-
21.415867726125654,165.41446553107025,-21.461885455171913])

# Export the image, specifying the CRS, transform, region, drive folder :
myfolder = 'INSIGHT_IRD'
task = ee.batch.Export.image.toDrive(**{
    'image': image_ndvi,
    'description': 'S2_ndvi_201911_NC_Clipped',
    'folder': myfolder,
    'crs': projection['crs'],
    'crsTransform': projection['transform'],
    'fileFormat': 'GeoTIFF',
    'region': im_geom.getInfo()['coordinates'],
    'maxPixels': 120582361
    })
start_exportDrive = time.time()
task.start()
while task.active():
    task_run = 1
elapsed_exportDrive = round(time.time() - start_exportDrive)

# --- Download on local machine ---
# 0) authenticate to Google Drive (of the Service account) :
gauth = GoogleAuth()
scopes = ['https://www.googleapis.com/auth/drive']
gauth.credentials =
ServiceAccountCredentials.from_json_keyfile_name(os.path.join(path2key,'eo4dm
_service_key.json'), scopes=scopes)

drive = GoogleDrive(gauth)

# 1) Choose starting point by inserting folder name :
folder_title = myfolder
folder_id = ''

# 2) Retrieve the folder id - start searching from root :
file_list = drive.ListFile({'q': "'root' in parents and trashed=false"}).GetList()
for file in file_list:
    if(file['title'] == folder_title):
        folder_id = file['id']
```

```
        break

# 3) Build string dynamically (need to use escape characters to support single
quote syntax) :
str_fold = "\'" + folder_id + "\'" + " in parents and trashed=false"

# 4) Iterating over files and downloading :
file_list = drive.ListFile({'q': str_fold}).GetList()

for file in file_list:
    filename = file['title']
    print(f'\nStart downloading {filename}')
    start_download = time.time()

    # download file into working directory (in this case a tiff-file)
    file.GetContentFile(filename, mimetype="image/tiff")

    # delete file afterwards to keep the Drive empty
    file.Delete()

    elapsed_download = round(time.time() - start_download)
    print(f'End downloading after {elapsed_download} sec')
```

4.5.3 Etude de faisabilité d'intégration des produits CHIRPS et SMAP dans la chaine Alertes - Sécheresse

Note de synthèse sur la faisabilité d'intégration des produits CHIRPS et SMAP dans la chaine Alertes - Sécheresse

Projet EO4DM - Fonds Pacifique

1 Contexte et Objectifs

La chaine sécheresse EO4DM produit à ce jour différents indicateurs de sécheresse (VHI, VAI, MAI, SPI, SPEI) tous les 10 jours ou tous les mois, de manière continue sur les 33 communes du territoire. L'évaluation de ces indicateurs a été réalisée dans le cadre du projet SCO EO4DM, dont le détail est décrit dans le rapport de mi-parcours du SCO (SCO_France_2021_EO4DroughtMonitoring_RAPPORT_MIPARCOURS.pdf).

Pour le présent projet, une étude a été menée sur la Nouvelle-Calédonie afin d'évaluer de nouveaux produits météorologiques SPI *(Standardized Precipitation Index)* et d'humidité du sol MAI *(Moisture Anomaly Index),* accessibles via Google Earth Engine (GEE), en vue de leur utilisation dans la chaine Alertes sur d'autres territoires du Pacifique. Cela permettrait d'une part de disposer des produits SPI sur ces nouveaux territoires (pour le moment accessibles uniquement via les stations Météo-France sur la NC) mais également de faciliter leur accès en ne passant que par une seule plateforme (GEE).

2 Nouveaux produits météorologiques SPI-CHIRPS

Le nouvel indicateur SPI a été obtenu sur la Nouvelle-Calédonie en appliquant la méthode proposée par McKee et al. (1993) et adaptée par Guenang and Kamga (2014) puis par Fuentes et al. (2022) pour son application aux données de précipitations CHIRPS via Google Earth Engine. Les cumuls de pluie ont été estimées sur une période de 3 mois, période présentant d'après la littérature les meilleurs scores de corrélation avec la végétation (Ji et Peters, 2003). Puis, une standardisation selon une loi de distribution gamma a été appliquée sur ces cumuls, en considérant l'ensemble du jeu de données comme référence (01/1981 – 12/2023).

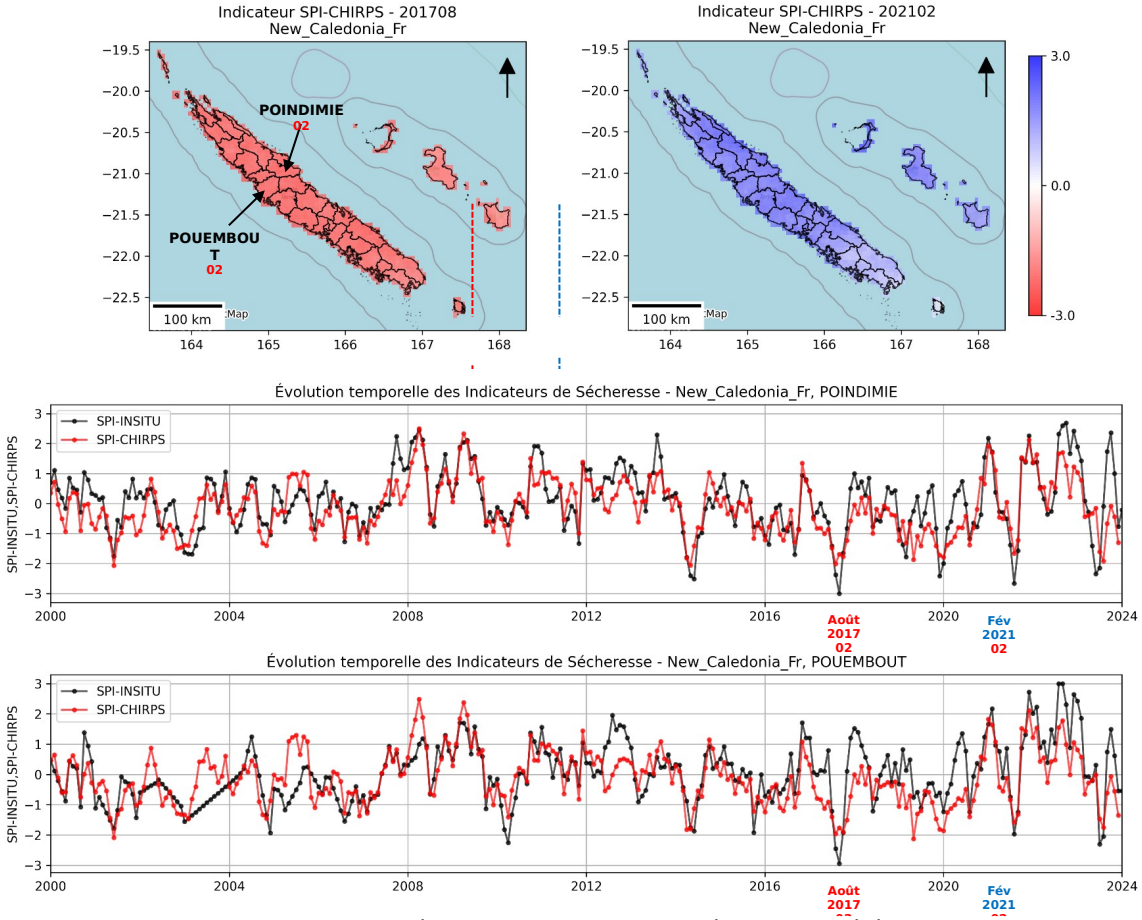


Figure : Cartes sur la Nouvelle-Calédonie de l'indicateur de sécheresse météorologique SPI-3 mois calculé à partir des données CHIRPS, pour les mois d'août 2017 et février 2021. Les séries temporelles correspondent aux données SPI-CHIRPS et SPI-INSITU (stations Météo-France) agrégées sur deux communes : Poindimié (côte Est) et Pouembout (côte Ouest).

La figure 1 présente les cartes de **SPI-CHIRPS (5 km) obtenues pour l'ensemble du territoire**, lors d'un épisode de sécheresse (août 2017) et lors d'un épisode humide (février 2021). Nous constatons que ces deux épisodes sont bien retranscrits par l'indicateur SPI-CHIRPS. Les séries temporelles comparent les dynamiques des SPI-CHIRPS et SPI-INSITU pour deux communes : Pouembout située sur la côte Ouest, et Poindimié sur la côte Est. Les SPI-INSITU correspondent aux indicateurs SPI-3 mois produits par Météo-France au niveau des stations situées dans chacune des communes. Pour une date (ici un mois donné), les valeurs des stations de la commune sont moyennées pour donner une valeur de SPI à la commune. Pour les deux communes, les séries temporelles présentent des dynamiques comparables, avec des épisodes sécheresses détectées à la fois par le SPI-CHIRPS et le SPI-INSITU, correspondant à des SPI<-1 en 2014, 2017, 2019. Certaines différences sont observées pour quelques dates, avec notamment un SPI-CHIRPS présentant des valeurs moins extrêmes que le SPI-INSITU comme en 2017 où les SPI-CHIRPS des deux communes sont compris en -1 et -2, alors que les SPI-INSITU sont égaux à -3. A l'inverse, pour certaines dates, le SPI-CHIRPS semble détecter des épisodes de sécheresse là où les données stations n'en détectent pas forcément (premiers mois des années 2019 et 2020 sur Pouembout par exemple).

3 Nouveaux produits d'humidité MAI-SMAP

Concernant les anomalies d'humidité du sol, **deux indicateurs MAI ont été calculés afin d'informer sur le déficit d'humidité du sol**. D'une part, nous avons les anomalies d'humidité MAI-ASCAT (12 km) initialement produites par la chaine Alertes sur la Nouvelle Calédonie et qui sont obtenues à partir des indices journaliers d'humidité du sol SWI-T20 (*Soil Water Index* correspondant à une humidité en zone racinaire) fournis par le Copernicus Global Land Service. D'autre part, nous avons intégré les anomalies d'humidité MAI-SMAP (9 km) obtenues à partir des humidités du sol journalières SMAP fournies par Google Earth Engine (il s'agit des produits *soil_moisture_am*, correspondant aux humidités acquises le matin). Pour chaque indicateur, les anomalies ont été calculées en agrégant les humidités au mois, puis en les standardisant selon une loi normale pour l'ensemble du jeu de donnée disponible, à savoir (01/2007 – 12/2023) pour ASCAT et (04/2015 – 12/2023) pour SMAP.

La figure 2 présente les cartes de MAI-ASCAT et MAI-SMAP, correspondant aux épisodes sécheresse (août 2017) et humide (février 2021) qui ont pu être préalablement observés et détectés par les SPI (figure 1). Dans l'ensemble, les deux indicateurs MAI détectent bien les deux épisodes, pour les différentes communes. Le nouvel indicateur MAI-SMAP semble néanmoins présenter des valeurs moins extrêmes sur certaines communes. Cela peut s'observer à partir des séries temporelles sur Poindimié : le MAI-SMAP présente en août 2017 une valeur moyenne proche de 0 (pas de sécheresse), alors que le MAI-ASCAT présente une valeur inférieure à -1 (sécheresse). Une raison à cela pourrait être la longueur temporelle du référentiel historique qui est bien plus courte pour SMAP (9 ans) que pour ASCAT (17 ans). Notons que le MAI-SMAP ne fournit pas de données sur les îles loyautés (au Nord), possiblement en lien avec la taille trop grande des pixels ces zones. Les produits MAI-ASCAT fournissement tout de même ces produits sur ces îles. Cela peut être lié aux post-traitements qui pourraient être différents entre les produits d'humidité SMAP et ASCAT. De manière générale, la qualité des produits SMAP ou ASCAT pour les îles de petites tailles est par nature moins bonne en raison du nombre limité de pixels et de l'effet de la mer sur les pixels situés à cheval entre continent et mer (affectant la valeur d'humidité).

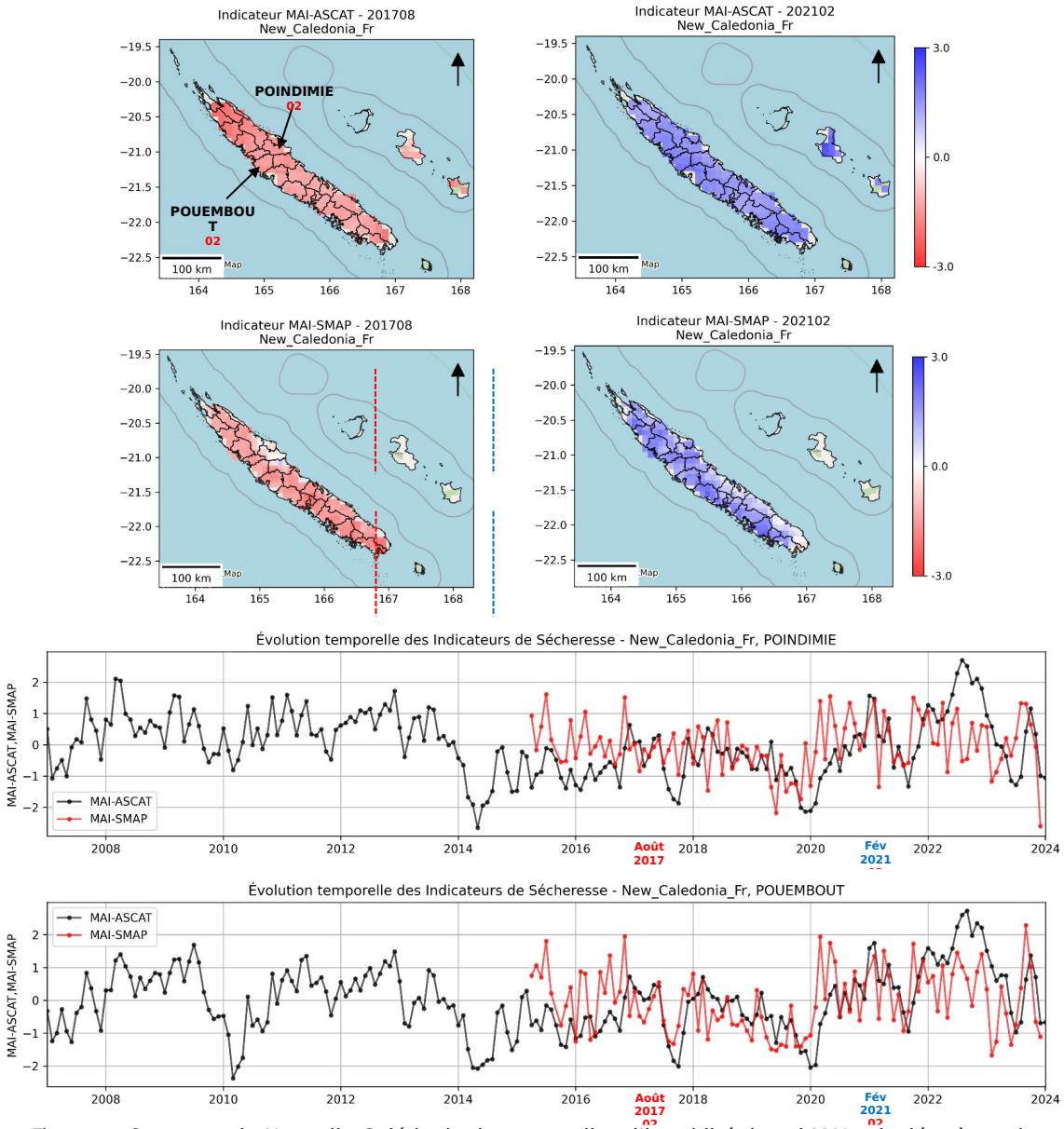


Figure : Cartes sur la Nouvelle-Calédonie des anomalies d'humidité du sol MAI calculées à partir des données ASCAT puis SMAP, pour les mois d'août 2017 et février 2021. Les séries temporelles correspondent aux données agrégées sur deux communes : Poindimié (côte Est) et Pouembout (côte Ouest).

4 Evaluation des indicateurs

La figure 3 présente les **corrélation croisées (décalées)** entre les nouveaux produits et les produits initiaux, pour trois communes de Nouvelle-Calédonie. Concernant les SPI *(gauche)*, de bonnes corrélations sont obtenues, avec des valeurs maximales de R scores allant de 0.7 pour Pouembout à 0.8 pour Bourail (Côte Ouest, au Sud de Pouembout). Les pics de corrélations étant obtenus pour un décalage nul, les deux produits sont donc synchronisés, ce qui était attendu. Concernant les MAI *(droite)*, les scores sont moins bons, avec des valeurs maximales comprises entre 0.38 (Poindimié) et 0.6 (Bourail). Cela peut s'expliquer par la nature différente des produits satellites utilisés : micro-ondes actives en bande C pour ASCAT vs micro-ondes passives en bande L pour SMAP. Les micro-ondes en bande C ne permettent pas d'accéder à l'humidité du sol lorsque la végétation est trop importante, ce qui expliquerait pourquoi les deux indicateurs présentent de moins bonnes corrélations sur Poindimié où la végétation est majoritairement composée de forêt dense, alors que de meilleures corrélations sont obtenues pour Bourail et Pouembout qui sont composées en plus grande partie de végétation basse (fourrés, savanes, terres agricoles). De plus, les R score max sont obtenus pour un décalage d'un mois, ce qui signifierait ici que le MAI-SMAP serait en avance par rapport au MAI-ASCAT. Cela peut s'expliquer par les produits d'humidités qui sont artificiellement retardées pour ASCAT afin de modéliser le temps d'infiltration en zone racinaire *(SWI-T20)*, là où les données SMAP correspondent directement aux humidités observées *(soil_moisture_am)*.

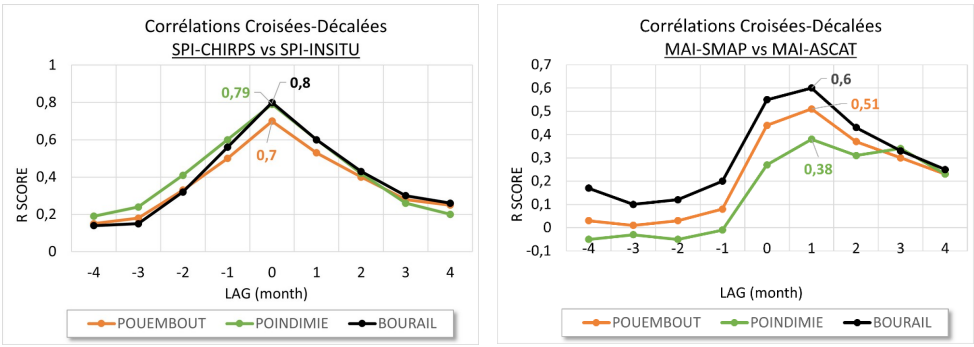


Figure : Corrélations croisées-décalées entre les SPI-CHIRPS et SPI-INSITU (gauche) et entre les MAI-SMAP et MAI-ASCAT (droite), pour les communes de Pouembout, Poindimié et Bourail.

5 Conclusion et préconisations

L'évaluation sur la Nouvelle-Calédonie des nouveaux produits SPI (produits CHIRPS) a montré de bonnes corrélations avec les produits in-situ. En revanche, les nouveaux produits MAI (produits SMAP) ont révélé de moins bonnes corrélations. Cela implique que les nouveaux produits SPI-CHIRPS pourraient donc être utilisés à la place des données stations sur d'autres territoires, mais que les produits MAI-SMAP présentent des différences trop importantes pour remplacer les produits MAI-ASCAT dans la chaine Alertes telle qu'elle a été conçue initialement. Cependant, ces données d'humidité peuvent apporter une information complémentaire intéressante, notamment pour confirmer des sécheresses végétales détectées par les indicateurs biophysiques (VHI, VAI) qui ne seraient pas détectées par l'indicateur météorologique (SPI).

Il serait donc intéressant de garder ces nouveaux indicateurs sur les territoires du Pacifique (hors NC), mais, dans le cas des MAI, de les utiliser plus comme des données complémentaires, plutôt que des les intégrer tel quel dans la chaine Alertes.

6 Références bibliographiques

Amri, R., Zribi, M., Lili-Chabaane, Z., Wagner, W., & Hasenauer, S. (2012). Analysis of C-Band Scatterometer Moisture Estimations Derived Over a Semiarid Region. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *50*(7), 2630-2638. https://doi.org/10.1109/TGRS.2012.2186458

Fuentes, I., Padarian, J., & Vervoort, R. W. (2022). Spatial and Temporal Global Patterns of Drought Propagation. *Frontiers in Environmental Science*, *10*, 788248. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.788248

Guenang, G. M., & Kamga, F. M. (2014). Computation of the Standardized Precipitation Index (SPI) and Its Use to Assess Drought Occurrences in Cameroon over Recent Decades. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, *53*(10), 2310-2324. https://doi.org/10.1175/JAMC-D-14-0032.1

McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, *17*(22), 179-183.

Peters, A. J., Walter-Shea, E. A., Ji, L., Vina, A., Hayes, M., & Svoboda, M. D. (2002). Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, *68*(1), 71-75.

Sepulcre-Canto, G., Horion, S., Singleton, A., Carrao, H., & Vogt, J. (2012). Development of a Combined Drought Indicator to detect agricultural drought in Europe. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, *12*(11), 3519-3531. https://doi.org/10.5194/nhess-12-3519-2012

4.5.4 Etude de faisabilité d'intégration des produits VIIRS dans la chaine Sécheresse

Note de synthèse sur la faisabilité d'intégration des produits VIIRS dans la chaine Sécheresse

Projet EO4DM - Fonds Pacifique

1 Contexte et Objectifs

Les produits MODIS (LST, REFLECTANCES) interviennent dans la chaine GLOBALE afin de produire les indices composites historiques LST et NDWI (synthèse 10j et mois, 500m, 2000 - ce jour) servant ensuite au calcul de l'indicateur sécheresse global VHI. Ces produits sont collectés et prétraités via Google Earth Engine (GEE), évitant ainsi la gestion en local des produits bruts et permettant une meilleure généricité de la chaine (adaptation à différents territoires).

Le décommissionnement des satellites Aqua et Terra embarquant MODIS a commencé en janvier 2020 (Terra) avec une perte progressive d'altitude. Un changement d'orbite a eu lieu en octobre 2022 entrainant une perte plus importante de l'altitude. Le décommissionnement final de Terra est prévu fin 2025/début 2026 (plus tard pour Aqua mais peu d'informations à ce sujet).

Ces changements auront pour conséquences de modifier l'heure d'acquisitions des produits MODIS, affectant l'ensoleillement (réflectances, ombres), les températures de surfaces, la couverture spatiale et la résolution spatiale des produits.

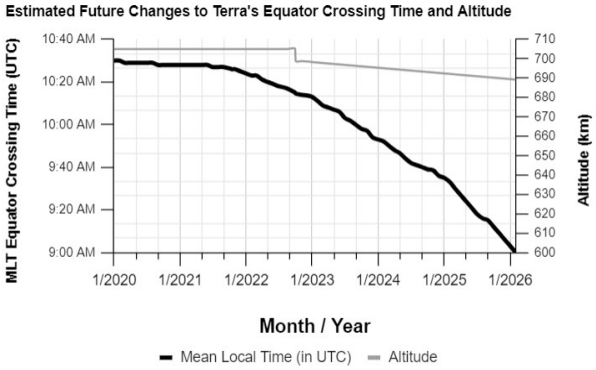


Figure : Evolutions de l'heure d'acquisition et de l'altitude durant le décommissionnement de Terra (

La solution a priori la plus adaptée pour assurer la continuité de MODIS serait d'intégrer les produits issus du capteur VIIRS (satellites Suomi NPP et NOAA-20) du fait des caractéristiques comparables des deux capteurs (bandes/résolutions/répétitivités journalières) et leur disponibilité sur GEE :

Tableau 1 : Caractéristiques VIIRS/MODIS

SATELLITES (CAPTEURS)	Passage JOUR	Passage NUIT	Résolution REFLECTANCES	Résolution LST	PERIODE
Aqua (MODIS)	13:30	01:30	500 m	1 km	2000 - ce jour (?)
Terra (MODIS)	10:30	22:30	500 m	1 km	2002 - 2026
SNPP (VIIRS)	13:30	01:30	375 m	750 m	2012 - ce jour
NOAA-20 (VIIRS)	12:40	00:40	375 m	750 m	2018 - ce jour

Les objectifs de cette étude sont de :

- Démontrer la faisabilité de collecte et prétraitements via GEE des produits VIIRS (LST, REFLECTANCES) pour la production continue d'indices composites LST/NDWI sur la Nouvelle-Calédonie.
- Evaluer les similarités des produits VIIRS/MODIS sur la NC, et quelques dates identifiées.
- Préconiser la démarche d'intégration des produits VIIRS dans la chaine Sécheresse pour une production optimale du VHI

2 Produits

Les produits MODIS GEE utilisés dans la chaine Sécheresse *("MODIS chaine"*) et les produits VIIRS disponibles sur GEE *("VIIRS à tester")* sont présentés dans le tableau ci-dessous. Il s'agit de produits journaliers corrigés des effets atmosphériques (L2). Pour VIIRS, seuls les produits issus du satellite SNPP sont disponibles sur GEE. Concernant MODIS, les produits de réflectances utilisés dans la chaine sont uniquement ceux de Terra *(MOD09GA)* en raison de lignes de données manquantes (strip-lines) présentes sur les réflectances Aqua (ce qui n'est pas le cas pour les produits de températures Aqua).

Tableau 2 : Produits MODIS/VIIRS fournis par GEE

PRODUITS GEE	MODIS chaine	MODIS à tester	VIIRS à tester
REFLECTANCES	MOD09GA *(Terra)*	-	VNP09GA *(SNPP)*
LST	MYD11A1 *(Aqua)* MOD11A1 *(Terra)*	MYD21A1D *(Aqua)*	VNP21A1D *(SNPP)*

Les produits "*MODIS à tester*" sont des produits de températures non intégrés à ce jour dans la chaine mais que nous allons également évaluer selon les recommandations faites par Roman et al. (2024). Les produits de températures MODIS *MYD21A1D* sont des produits L2 ayant été prétraités suivant le même

algorithme de correction atmosphérique TES *(Temperature Emissivity Separation)* que les produits VIIRS *VNP21A1D,* ce afin de permettre une meilleure compatibilité des deux produits :

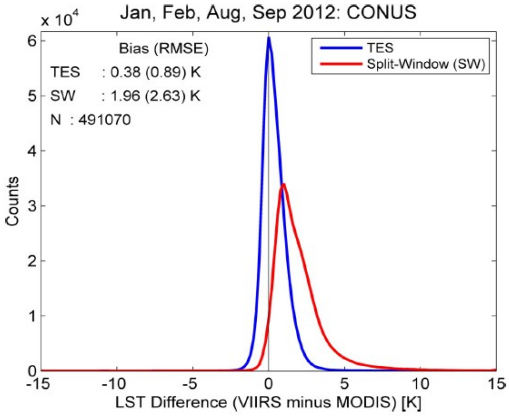


Figure : Histogramme montrant les différences entre les produits VIIRS et MODIS LST pour toutes les observations sur le continent américain pendant les mois de janvier, février, août et septembre 2012 pour deux différents algorithmes : TES et split-window. L'algorithme TES est actuellement utilisé pour produire les produits LST&E de la NASA pour MODIS et VIIRS (MOD21 et VNP21), tandis que l'algorithme split-window est utilisé pour produire le(s) produit(s) MOD11 classique(s) et le produit LST NOAA VIIRS (VLSTO) (traduit de).

Afin d'évaluer la similarité des produits, des synthèses temporelles sur 10j ont été calculées pour les produits VIIRS (NDWI, LST), et pour les produits MODIS de test (LST). Trois décades ont été sélectionnées avant le changement d'orbite de Terra en octobre 2022 *(Di = décade i du mois)* :

- 2019_11_D2 (période de forte sécheresse)
- 2020_07_D1 (saison fraiche)
- 2021_03_D3 (saison chaude et humide)

Une 4ème décade a été sélectionnée après le changement d'orbite : 2023_11_D2 (période sèche).

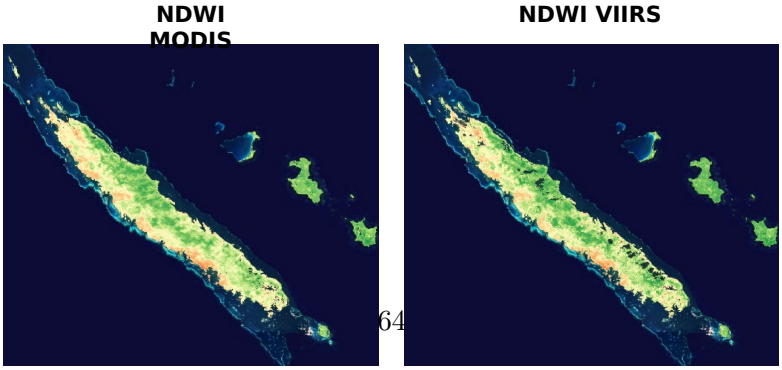


Figure : Indices NDWI 2019_11_D2

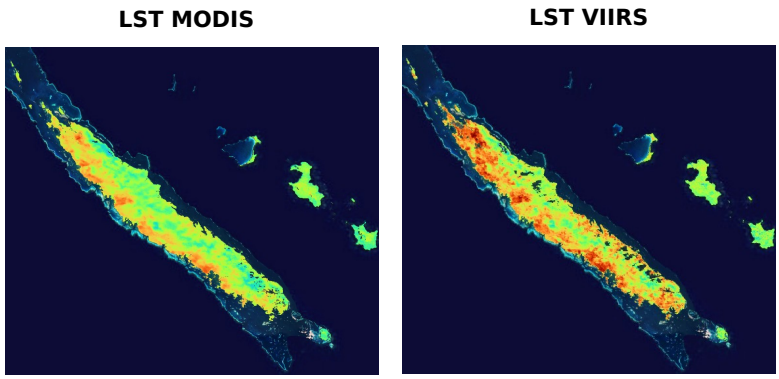


Figure : Températures LST 2019_11_D2

3 Résultats analyse comparative

3.1 Indices NDWI

	MODIS	MOD09GA *(Terra)*		
	VIIRS	VNP09GA *(SNPP)*		
		NDWI		
Similarities	**2019_11_D2**	**2020_07_D1**	**2021_03_D3**	**2023_11_D2**
MEAN_DIFF	0,0326	0,0331	0,0341	0,03
RMSD	0,0691	0,0681	0,0751	0,0774
MEAN_REL_DIFF (%)	32,31	8,25	27,21	11,2
MODIS_min_max	-0,48 ; 0,54	-0,87 ; 0,76	-0,50 ; 0,58	-0,28 ; 0,63
VIIRS_min_max	-0,35 ; 0,63	-0,33 ; 0,74	-0,32 ; 0,79	-0,37 ; 0,71
Linear regression	**2019_11_D2**	**2020_07_D1**	**2021_03_D3**	**2023_11_D2**
a	**1,01**	**0,98**	**1,03**	**1,03**
b	**0,03**	**0,04**	**0,03**	**0,02**
R2	**0,9**	**0,84**	**0,77**	**0,8**
p-value	**0**	**0**	**0**	**0**
Remarques	*Davantage de nan sur viirs*	*Davantage de nan sur viirs*	*Davantage de nan sur viirs*	*Davantage de nan sur viirs*
Similarities AFTER calibration	**2019_11_D2**	**2020_07_D1**	**2021_03_D3**	**2023_11_D2**
MEAN_DIFF	0	0	0	0
RMSD	0,061	0,0595	0,0669	0,0713
MEAN_REL_DIFF (%)	-1,26	-3,64	-3,93	-6,25
MODIS_min_max	-0,46 ; 0,58	-0,82 ; 0,78	-0,49 ; 0,62	-0,27 ; 0,67

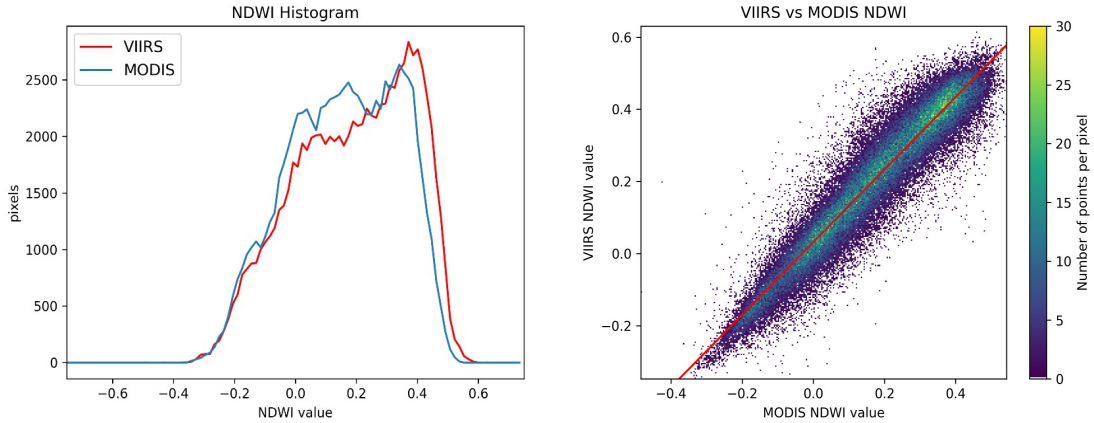


Figure : Comparaison d'histogrammes et modélisation linéaire pour les indices NDWI VIIRS vs NDWI MODIS, le 2019_11_D2 sur la Nouvelle-Calédonie.

3.2 LST

	MODIS	MYD11A1 *(Aqua)* / MOD11A1 *(Terra)*		
	VIIRS	VNP21A1D *(SNPP)*		
		LST		
Similarities	**2019_11_D2**	**2020_07_D1**	**2021_03_D3**	**2023_11_D2**
MEAN_DIFF	3,0632	2,3949	4,7459	4,3796
RMSD	3,9971	3,505	5,6137	5,3345
MEAN_REL_DIFF (%)	9,04	9,87	15,1	14,26
MODIS_min_max	19,43 ; 45,26	12,73 ; 27,88	5,83 ; 39,11	15,93 ; 40,25
VIIRS_min_max	16,37 ; 54,35	1,11 ; 37,07	16,45 ; 50,37	10,59 ; 53,32
Linear regression	**2019_11_D2**	**2020_07_D1**	**2021_03_D3**	**2023_11_D2**
a	**1,15**	**1,15**	**1,03**	**1,06**
b	**-1,6**	**-0,91**	**4,03**	**2,83**
R2	**0,76**	**0,5**	**0,41**	**0,52**
p-value	**0**	**0**	**0**	**0**
Remarques	*Davantage de nan sur viirs*	*Davantage de nan sur viirs*	*Davantage de nan sur viirs*	*Davantage de nan sur viirs*
Similarities AFTER calibration	**2019_11_D2**	**2020_07_D1**	**2021_03_D3**	**2023_11_D2**
MEAN_DIFF	0	0	0	0
RMSD	2,5022	2,5372	2,9977	3,0409
MEAN_REL_DIFF (%)	-0,27	-0,61	-0,42	-0,48
MODIS_min_max	20,75 ; 50,45	13,78 ; 31,26	10,01 ; 44,13	19,65 ; 45,33

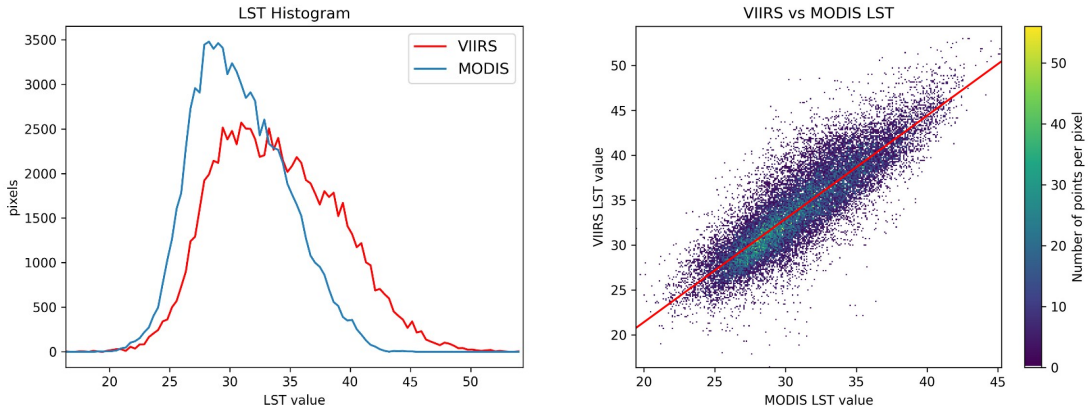


Figure : Comparaison d'histogrammes et modélisation linéaire pour les températures LST VIIRS vs LST MODIS ("chaine"), le 2019_11_D2 sur la Nouvelle-Calédonie.

3.3 LST v21A1D

MODIS	MYD21A1D
VIIRS	VNP21A1D

LST v21A1D

Similarities	**2019_11_D2**	**2020_07_D1**	**2021_03_D3**	**2023_11_D2**
MEAN_DIFF	0,7944	1,0438	-1,2216	0,5981
RMSD	3,0186	3,2369	3,3926	3,6991
MEAN_REL_DIFF (%)	2,14	4,37	-3,72	1,83
MODIS_min_max	6,55 ; 50,61	8,41 ; 45,53	21,73 ; 47,35	3,63 ; 53,27
VIIRS_min_max	17,85 ; 54,35	3,27 ; 37,07	17,53 ; 48,73	8,87 ; 53,32

Linear regression	**2019_11_D2**	**2020_07_D1**	**2021_03_D3**	**2023_11_D2**
a	**0,92**	**0,6**	**0,65**	**0,65**
b	**3,38**	**10,32**	**10,95**	**11,66**
R2	**0,66**	**0,33**	**0,37**	**0,4**
p-value	**0**	**0**	**0**	**0**
Remarques	*Localisation nan sensiblement diff*	*Localisation nan sensiblement diff*	*Localisation nan sensiblement diff*	sensiblement diff

Similarities AFTER calibration	**2019_11_D2**	**2020_07_D1**	**2021_03_D3**	**2023_11_D2**
MEAN_DIFF	0	0	0	0
RMSD	2,8926	2,7824	2,92	3,3467
MEAN_REL_DIFF (%)	-0,34	-0,69	-0,39	-0,56
MODIS_min_max	9,43 ; 50,12	15,38 ; 37,69	25,01 ; 41,58	14,02 ; 46,29

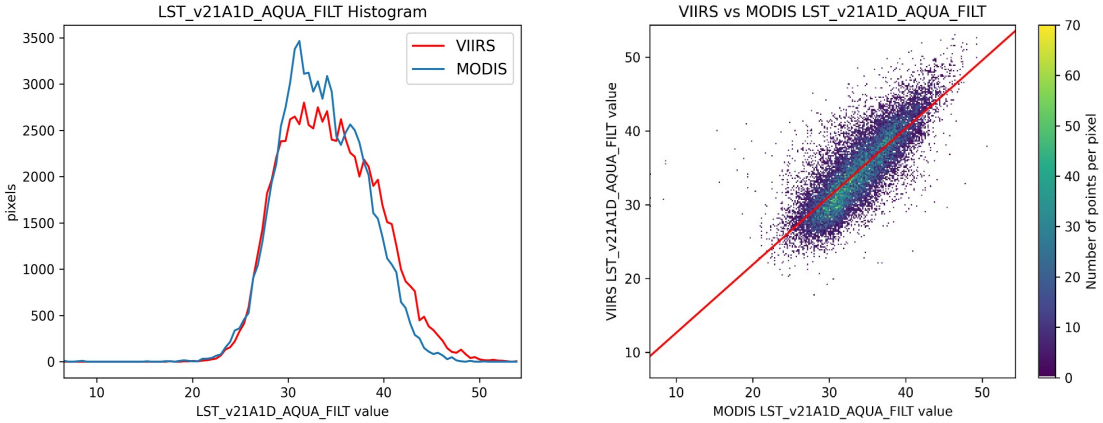


Figure : Comparaison d'histogrammes et modélisation linéaire pour les températures LST VIIRS vs LST MODIS ("à tester"), le 2019_11_D2 sur la Nouvelle-Calédonie.

3.4 Synthèse

SIMILARITIES BEFORE	Mean NDWI	Mean LST	Mean LST v21A1D
MEAN_DIFF_mean	**0,0**	**3,6**	**0,3**
RMSD_mean	**0,1**	**4,6**	**3,3**
MEAN_REL_DIFF_mean (%)	**20**	**12**	**1**
MEAN_DIFF_std	0,00	1,10	1,03
RMSD_std	0,00	1,02	0,29
MEAN_REL_DIFF_std	11,81	3,05	3,44

REGRESSION	Mean NDWI	Mean LST	Mean LST v21A1D
a_mean	**1,01**	**1,10**	**0,71**
b_mean	**0,03**	**1,09**	**9,08**
R2_mean	**0,83**	**0,55**	**0,44**
a_std	0,02	0,06	0,15
b_std	0,01	2,76	3,84
R2_std	0,06	0,15	0,15

SIMILARITIES AFTER	Mean NDWI	Mean LST	Mean LST v21A1D
MEAN_DIFF_mean	**0,0**	**0,0**	**0,0**
RMSD_mean	**0,1**	**2,8**	**3,0**
MEAN_REL_DIFF_mean (%)	**-3,8**	**-0,4**	**-0,5**
MEAN_DIFF_std	0,00	0,00	0,00
RMSD_std	0,01	0,29	0,25
MEAN_REL_DIFF_std	2,04	0,14	0,16
	- Résultats homogènes selon date *- Bon modèle linéaire (R2=0.8)* *-Calibration non indispensable*	*- Résultats variables selon date* *- Modèle linéaire moyen (R2=0.55)* *- Calibration nécessaire*	*- Résultats variables selon date* *- Modèle linéaire faible (R2=0.44)* *- Calibration nécessaire*

4 Conclusion et Préconisations

Cette étude a montré que les indices NDWI VIIRS GEE peuvent directement être intégrés dans la chaine sans besoin de calibration particulière (R2 bons, coefficients a=1 et b=0). Néanmoins, les températures LST VIIRS GEE analysées présentent trop de différences avec les températures MODIS pour être intégrées, même avec calibration : les résultats montrent qu'une calibration est nécessaire mais que le modèle linéaire n'est pas bon pour passer de MODIS vers VIIRS, ou inversement (R2 faibles).

Les préconisations pour la suite sont d'une part de préparer le remplacement des produits NDWI MODIS par les produits NDWI VIIRS, consistant simplement à intégrer VIIRS une fois le décommissionnement finalisé. Concernant les produits LST, il est recommandé de vérifier si d'autres produits plus adaptés ne seront pas proposés et mis à disposition sur GEE dans les années qui arrivent. Dans le cas contraire, une possibilité serait de mettre à jour le référentiel historique avec uniquement les LST VIIRS (sans considérer les LST MODIS), puis de recalculer les VHI avec ce référentiel. Cela aura l'inconvénient de réduire la plage temporelle des données températures (de 24 ans à 12 ans), mais permettra de poursuivre le calcul du VHI tout en se basant tout de même sur des indices NDWI MODIS/VIIRS ayant une plage temporelle non modifiée (24 ans).

4.6 Aide au contrôle qualité des données des chaines

DOSSIER	SOUS-DOSSIER	FICHIER	INFORMATION FOURNIE	CONTROLE ?	Que faire du fichier après contrôle ?	Evolution ?
1_GEE_COMPOSITES	/STATS	COUNTCollectionGEE...csv	Nombre de produits trouvés sur GEE pour la période/zone étudiées	10 images LST Aqua ? 10 images LST Terra ? 10 images REFLECT Terra ?	A supprimer	
		GEE_PREPROC...csv	Pourcentage de données manquantes (Nanscore sur terres émergées) par date d'acquisition après prétraitement des produits MODIS LST et REFLECT (filtre qualité). Les dates gardées (et donc inscrites ici) correspondent à celles pour lesquelles les deux produits sont présents (LST, REFLECT) et pour lesquelles le nanscore est inférieur ou égal à 95%	Proportion suffisante de produits gardés ? **(> seuil ?)** Proportion suffisante de produits à faible Nanscore ? **(> seuil ?)**	A stocker (contrôles futurs produits)	AUTOMATISER STOCKAGE ??
		COUNTCompositeDecade...csv	Nombre d'images par décade par type de produits. Nanscore après composition temporelle	Nanscore composite final suffisamment faible ? **(< seuil ?)**	A stocker (contrôles futurs produits)	AUTOMATISER STOCKAGE ??
	/DECADE	MODIS_LST...*COMPO.tif MODIS_NDVI...*COMPO.tif	Rasters contenant les indices composites. Chaque fichier contient deux bandes : - bande 1 = indice (LST ou NDVI) - bande 2 = count (nb dates valides avant composition)	1 fichier décade LST ? 1 fichier décade NDVI ? Count par pixel suffisamment élevé ? **(> seuil ?)** Vérifier si copie faite vers DATA_HISTO/0_INDICES/MODIS/DECADE	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	
	/MONTH	MODIS_LST...*COMPM.tif MODIS_NDVI...*COMPM.tif	FOURNIS SI DECADE 3 TRAITEE (mois complet) : Idem décade (ci-dessus) mais pour le mois	Idem décade (ci-dessus) Vérifier si copie faite vers DATA_HISTO/0_INDICES/MODIS/MONTH	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	
2_DROUGHT_INDICATORS	/STATS	mask_Areas...tif	Masques générés par la chaine pour isoler certaines zones servant aux calculs de statistiques spatiales : - masque de zone (une valeur de pel par zone) - masque(s) d'occupation du sol (pour supprimer certaines surfaces à exclure dans le calcul des statistiques)	Controler les masques générés	A supprimer	
		ID_Name_Areas_look_up.csv	Table reprenant les attributs de la géométrie servant à la génération des masques. Permet d'associer chaque nom d'aire (colonne "nom") à une valeur de pixel dans le masque (colonne "Objectid")	Controler contenu de la table	A supprimer	
		VHI_STATS...csv	Table contenant, pour chaque aire et toutes les images de la décade ou mois en cours, les statistiques spatiales (mean, std, min, max, qscore) du VHI : - un fichier .csv par agrégation temporelle (*M et *D) - un fichier .csv par type de masque d'occupation du sol (s'il y a)	Qscore suffisamment élevé par localisation ? **(> seuil ?)** STD suffisamment faible par localisation ? **(< seuil ?)** Vérifier si copie/maj dans DATA_HISTO/1_INDICATEURS/GLOBAL/STATS	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	
	/0_TCI	TCI...tif	Rasters contenant les anomalies de températures LST, pour la décade ou mois en cours. A savoir que toutes les années de l'historique sont mises à jour pour la décade/mois traitée(s). Chaque fichier contient deux bandes : - bande 1 = indicateur - bande 2 = Qscore (indice de qualité)	1 fichier décade par an (*D) ? Si DECADE 3: 1 fichier mois par an (*M) ? Qscore par pixel suffisamment élevé ? **(> seuil ?)**	Peut se stocker (controles plus approfondis)	
	/1_VCI	VCI...tif	Idem TCI (ci-dessus) mais pour contenu en eau de la végétation NDWI	Idem TCI (ci-dessus)	Peut se stocker (controles plus approfondis)	
	/2_VHI	VHI...tif	Rasters contenant l'indicateur issu de la combinaison des anomalies TCI et VCI. Idem ci-dessus : 2 bandes	Idem TCI, VCI (ci-dessus) Vérifier si copie/maj dans DATA_HISTO/1_INDICATEURS/GLOBAL/DECADE	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	

Figure 14: Contrôle qualité des données de la chaine globale

DOSSIER	SOUS-DOSSIER	FICHIER	INFORMATION FOURNIE	CONTROLE ?	Que faire du fichier après contrôle ?	Evolution ?
1_GEE_COMPOSITES	/STATS	COUNTCollectionGEE...csv	Nombre de produits trouvés sur GEE pour la période/zone étudiées	Entre 1 et 3 images LANDSAT (pour une même tuile, L8 et L9 compris) Entre 1 et 5 images SENTINEL2 (pour une même tuile S2)	A supprimer	
		GEE_PREPROC_LANDSAT...csv GEE_PREPROC_SENTINEL2...csv	Informe de certains paramètres fournis dans les métadonnées (CLOUD ou CLOUD_LAND, IMAGE_QUALITY, SLC_MODE si L7). Pour Landsat (L7,L8,L9), le pourcentage de données manquantes (Nanscore sur terres émergées) est aussi fourni par produit après prétraitement ((filtre qualité). Ce nanscore n'est pas donné pour S2 pour des raisons de temps de calcul. Les dates gardées (et donc inscrites ici) correspondent à celles pour lesquelles : - CLOUD (S2) ou CLOUD_LAND (Landsat) <= 90% - Nanscore <= 95% (que landsat)	Proportion suffisante de produits gardés ? **(> seuil ?)** Proportion suffisante de produits à faible Nanscore ? **(> seuil ?)**	A stocker (contrôles futurs produits)	AUTOMATISER STOCKAGE ??
		COUNTComposite...csv	Nombre d'images par décade par type de produits. Pour les produits S2, il s'agit du nombre de dates différentes dans la décade (plusieurs tuiles d'une même date comptent pour 1). Nanscore après composition temporelle	Nanscore composite final suffisamment faible ? **(< seuil ?)**	A stocker (contrôles futurs produits)	AUTOMATISER STOCKAGE ??
	/DECADE	LANDSAT_SENTINEL2...NDVI...tif LANDSAT_SENTINEL2...NDWI...tif	Rasters contenant les indices composites. Les fichiers sont sauvegardés par tuile Landsat. Chaque fichier contient deux bandes : - bande 1 = indice (NDVI ou NDWI) - bande 2 = count (nb images valides avant composition)	1 fichier décade NDVI ? 1 fichier décade NDWI ? Count par pixel suffisamment élevé ? **(> seuil ?)** Vérifier si copie faite vers DATA_HISTO/0_INDICES/LANDSAT_SENTINEL2/DECADE	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	
	/MONTH	*Non utilisé pour le moment car non implémenté dans la chaine*	*Composition mensuelle pouvant engendrer des résultats aberrant en présence de données manquantes (nuages,...)*			
2_DROUGHT_INDICATORS	/STATS	*Non utilisé pour le moment car non implémenté dans la chaine*	*Statistiques spatiales couteuses en temps de calcul*			
	/1_VAI	VAI...tif	Rasters contenant les anomalies de contenu en eau de la végétation (NDWI) pour la décade en cours. A savoir que toutes les années de l'historique sont mises à jour pour la décade traitée. Les fichiers sont sauvegardés par tuile Landsat. Chaque fichier contient deux bandes : - bande 1 = indicateur - bande 2 = Qscore (indice de qualité)	1 fichier décade par an (*D) ? Qscore par pixel suffisamment élevé ? **(> seuil ?)** Vérifier si copie/maj dans DATA_HISTO/1_INDICATEURS/LOCAL/DECADE	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	
	/2_POSTPROC	*Non utilisé pour le moment car non implémenté dans la chaine*	*Postprocessing des indicateurs (masquage de certaines surfaces, découpe, etc.) coûteux en temps de calcul*			

Figure 15: Contrôle qualité des données de la chaine locale

DOSSIER	SOUS-DOSSIER	SOUS-SOUS-DOSSIER	FICHIER	INFORMATION FOURNIE	CONTRÔLE ?	Que faire du fichier après contrôle ?	Evolution ?
1_MOISTURE	1_PREPROC		COUNT_Colzu_SwoASCAT_.csv	Nombre de produits ASCAT trouvés pour le mois traité. Les produits sont au préalables téléchargés en local depuis serveur Copernicus (ftp)	1 image SWI ASCAT par jour ? (~ 30 images)	A supprimer	
		STATS	PREPROC_ASCAT_.csv	Pourcentage de données manquantes (NaNcoos sur lemes émergées) par date d'acquisition après prétraitement des produits ASCAT SWI-020 (indices humidité en zone racinaire, auxquels un filtre qualité est appliqué) ici les filtres qualité sont QFLAG et SSFLAG, pour lesquels le pourcentage de pixels mauvais est également fourni. Les dates gardées (et donc inscrites ici) correspondent à celles pour lesquelles le nacoos est inférieur ou égal à 100 %.	Proportion suffisante de produits gardés ? (> seuil ?) Proportion suffisante de produits à faible NaNcoos ? (> seuil ?)	A stocker (contrôles futurs produits)	AUTOMATISER STOCKAGE ??
		SWI	*_qui_SWI_ *PREPROC.tif	Rasters contenant les indices SWI journaliers gapfillés	1 fichier journalier SWI par jour ? (~30 fichiers) Vérifier si copie faite vers DATA_HISTO/0_INDICES/ASCAT/DAY	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	
	2_COMPOSITE	MONTH	ASCAT_SWI_ *COMPM.tif	Raster contenant l'indice SWI composite mensuel. Chaque fichier contient deux bandes : - bande 1 = indice - bande 2 = count (nb dates valides ayant composition)	1 fichier mensuel SWI ? Count par pixel suffisamment élevé ? (> seuil ?) Vérifier si copie faite vers DATA_HISTO/0_INDICES/ASCAT/MONTH	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	
	3_DROUGHT	STATS	MAI_STATS_M.csv	Table contenant, pour chaque aire et toutes les images du mois en cours, les statistiques spatiales (mean, std, min, max, scoos) du MAI. Un seul fichier .csv est fourni ici (pas de masques d'occupation du sol étant donné la faible résolution spatiale des images).	Oscoos suffisamment élevé par localisation ? (> seuil ?) Std suffisamment faible par localisation ? (< seuil ?)	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	
		MAI	MAI_ *M.tif	Rasters contenant les anomalies d'humidité du sol (SWI) pour le mois en cours. A savoir que toutes les années de l'historique sont mises à jour pour le mois traité. Chaque fichier contient deux bandes : - bande 1 = indicateur - bande 2 = Oscoos (indice de qualité)	1 fichier mois par an (*M) ? Oscoos par pixel suffisamment élevé ? (> seuil ?) Vérifier si copie/maj dans DATA_HISTO/1_INDICATEURS/ALERT/MAI/MONTH	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	
2_ALERT	-	-	VHI_SPI_RSCORE_OSCOREX_*.csv	Table contenant, pour chaque aire : - le Rscoos maximum entre VHI et SPI (Rscoos) - le décalage en mois correspondant au Rscoos (lagmax) - la p-value associée - le Oscoos historique du SPI (Oscoos des données) - le Oscoos historique du VHI (moyenne des oscoos mensuels pour toute la série temporelle) A NOTER ici que ces valeurs sont obtenues en enlevant les zones de végétation dense/artificialisées (moins à risque), et à partir de l'ensemble de l'historique disponible (pas seulement le mois en cours, donc pas de saisonnalité ici).	RSMAX suffisamment élevé par localisation ? (> seuil ?) LAGMAX valant 0 (synchroniser) ou -1 (végétation retardée) ? PVMAX inférieur à 0.001 (significativité du Rscoos) ? OSCORE_SPI suffisamment élevé par localisation ? (> seuil ?) OSCORE_VHI suffisamment élevé par localisation ? (> seuil ?)	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	
	-	-	ALERT_DROUGHT.csv	Table contenant, pour le mois en cours et pour chaque aire : - le niveau d'alerte - l'état de la végétation (stress ou non) - l'état de l'humidité du sol (déficit ou non) - l'état de l'évapotranspiration (déficit ou non) - l'état des précipitations (déficit ou non) - la valeur moyenne du VHI (végétation) - l'indice de confiance (moyenne entre Oscoos et Rscoos) A NOTER ici que les alertes historiques (même mois des années précédentes) ne sont pas recalculées (à la différence de ce qui est fait pour les VHI, MAI)	Niveaux d'alertes affichés correspondent-ils à l'état des variables sécheresse (végétation, humidité, évapotranspiration, précipitations) ? CONF_INDEX suffisamment élevé par localisation ? (> seuil ?)	Vérifier si copie/maj dans DATA_HISTO/1_INDICATEURS/ALERT	A supprimer (déjà copiés dans DATA_HISTO)	
MASK_AREAS	-	-	mask_Aqua_ *.tif	Masques générés par la chaine pour isoler certaines zones servant aux calculs de statistiques spatiales : - masque de zone (une valeur de sol par zone) - masque(s) d'occupation du sol (pour supprimer certaines surfaces à exclure dans le calcul des statistiques)	Contrôler les masques générés	A supprimer	
	-	-	ID_Name_Aqua_corr-up.csv	Table reprenant les attributs de la géométrie servant à la génération des masques. Permet d'associer chaque nom d'aire (colonne "nom") à une valeur de pixel dans le masque (colonne "Objectid")	Contrôler contenu de la table	A supprimer	

Figure 16: Contrôle qualité des données de la chaine alerte

4.7 Restitution - PGRSC

Pacific GIS and
Remote Sensing Council

Conference 27 Nov. - 1 Dec. 2023, FIJI

Improving Resilience in the Pacific Islands Through GIS and Remote Sensing

An Operational Vegetation Drought Processing Chain based on Google Earth Engine satellite imagery and meteorological products

M. Neuhauser, H. Roussaffa, A. Peltier, M. Despinoy*

Remote sensing and Geomatics company

French Development Research Institute

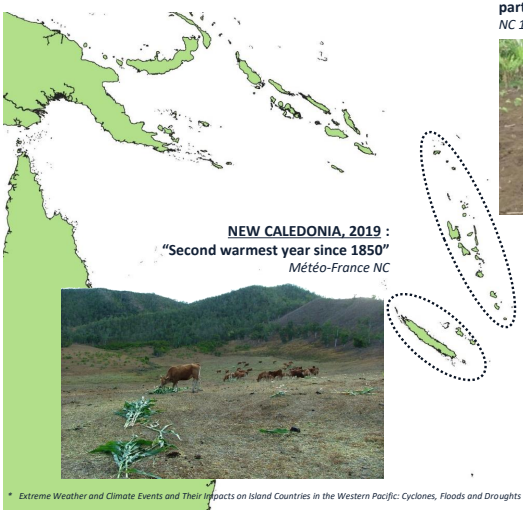
OEIL
Environment Observatory in New Caledonia

** Research Engineer*
INSIGHT/IRD, Noumea, NEW CALEDONIA

CONTEXT and OBJECTIVES

2

Drought in the Pacific Islands



VANUATU, 2015 : "Tanna Island particularly affected by drought"
NC 1ère

FRENCH POLYNESIA, 2021 : "Polynesia undergoes an extreme drought"
Météo-France

NEW CALEDONIA, 2019 : "Second warmest year since 1850"
Météo-France NC

FIJI, 2010 : "Meteorological drought affected Fiji"*

WALLIS-et-FUTUNA, 2016 : "Warmest and driest January in both Wallis and Futuna since the first weather records in 1971."

Impacts on :
Biodiversity
Agricultural crops
Water ressource

* *Extreme Weather and Climate Events and Their Impacts on Island Countries in the Western Pacific: Cyclones, Floods and Droughts (Kuleshov, 2014)*

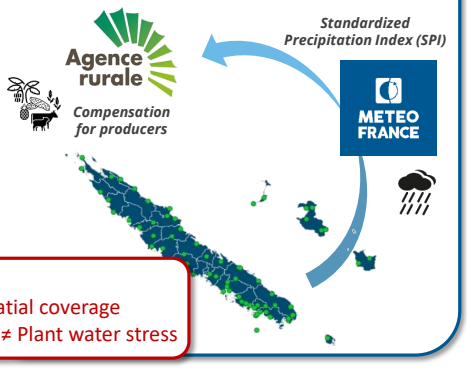
3

Drought in the Pacific Islands

NEW CALEDONIA, 2019 :
"Second warmest year since 1850"
Météo-France NC

The Rural Agency and **Meteo France** facing the Drought Hazard :

- **Detection** of meteorological drought
- **Purchase of drought food** for farmers
- **Compensation** for producers

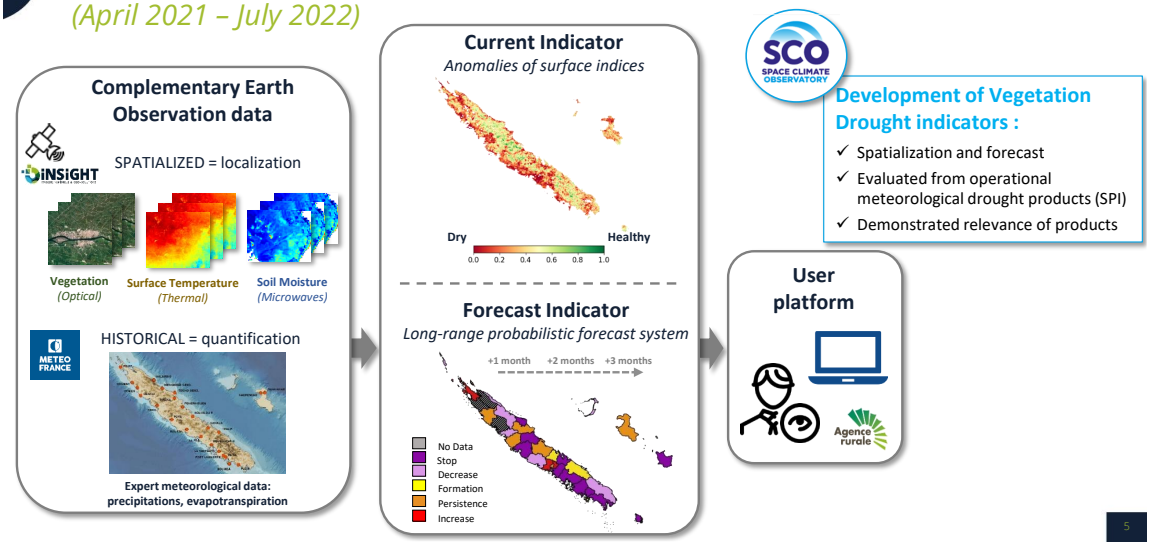


BUT…
- Incomplete spatial coverage
- Rainfall deficit ≠ Plant water stress

4

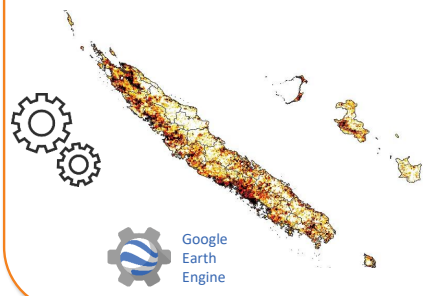
Space Climate Observatory, New-Caledonia

(April 2021 – July 2022)

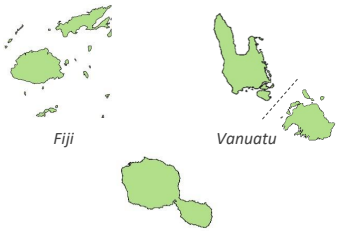


French Pacific Fund *(ongoing project…)*

Industrialization
New-Caledonia



Regionalization
Other Pacific Island Territories



FONDS PACIFIQUE

Industrialization and Regionalization :

- Operational implementation and production on New-Caledonia
- Adaptation to other territories with new products

OEIL
Environment Observatory in New Caledonia

Remote sensing and Geomatics company

French Development Research Institute

6

INDICATORS DEVELOPMENT and EVALUATION

7

Methodology at GLOBAL SCALE

GLOBAL DROUGHT INDICATOR

- Drought information at global scale *(entire territory)*
- Combined drought products *(SPI, SPEI, MAI, VHI)*
- Agro-meteorological drought model *(Sepulcre-Canto et al., 2012))*

PRECIPITATION DEFICIT → **SOIL MOISTURE DEFICIT** → **VEGETATION STRESS**

In-situ precipitation
SPI 3-months
40 stations
1981 - today

ASCAT (MetOp)

MODIS (Aqua, Terra)
Vegetation Health Index
Combined anomalies of NDWI, LST
500 m
2000 - today

STANDARDIZED WATER BALANCE

SPEI 3-months
SPEI = f(P - ET) *
32 stations
1991 - today

** P = precipitations*
ET = evapotranspiration
(Thornthwaite, 1948)

Wet
Precipitation deficit

Wet
Soil moisture deficit

Healthy
Stress

8

Methodology at GLOBAL SCALE

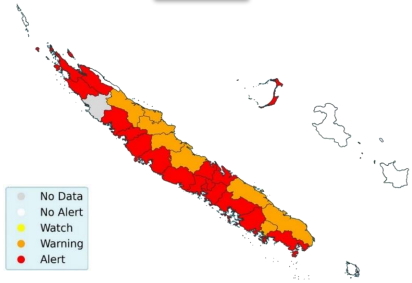
GLOBAL DROUGHT INDICATOR

- Drought information at global scale *(entire territory)*
- Combined drought products *(SPI, SPEI, MAI, VHI)*
- Agricultural drought cause-effect relationship *(Sepulcre-Canto et al., 2012))*

PRECIPITATION DEFICIT → SOIL MOISTURE DEFICIT → VEGETATION STRESS

Watch **Warning** **Alert**

Drought Alerts :



9

Methodology at LOCAL SCALE

LOCAL DROUGHT INDICATOR

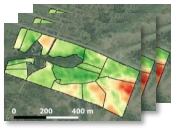
- Drought information at local scale *(10 m)*
- Updated every 10 days
- Focus on vegetation stress

Landsat (L7, L8, L9)
USGS Level 2 Reflectances
30 m
2000 - today

Sentinel-2 (2A, 2B)
THEIA / ESA Level 2 Reflectances
10 m
2016 - today

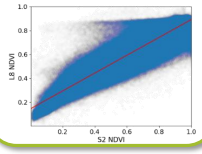
PRE-PROCESSING

- Computing NDWI/NDVI time series
- Clouds filtering and reprojection



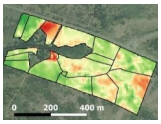
COMPOSITING

- Radiometric calibration
- Decade (10-day) composition



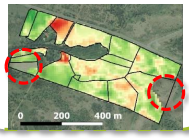
VEGETATION STRESS *

- Seasonal anomalies of NDWI (*Amri et al., 2011*)
- Seasonal = mean and std for each decade



POST-PROCESSING

- Filtering bare soil, dense vegetation
- From NDVI 10-day composites



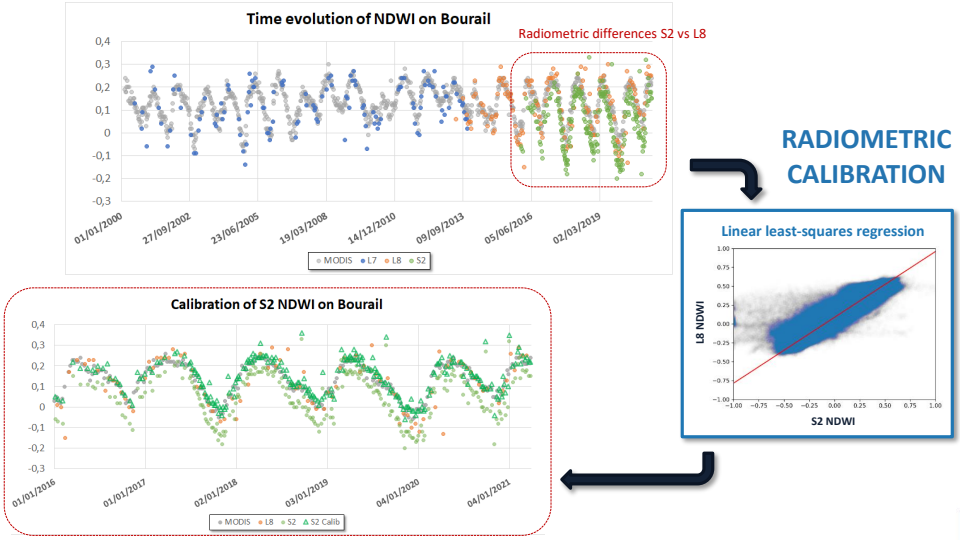
* ***Vegetation Anomaly Index :***

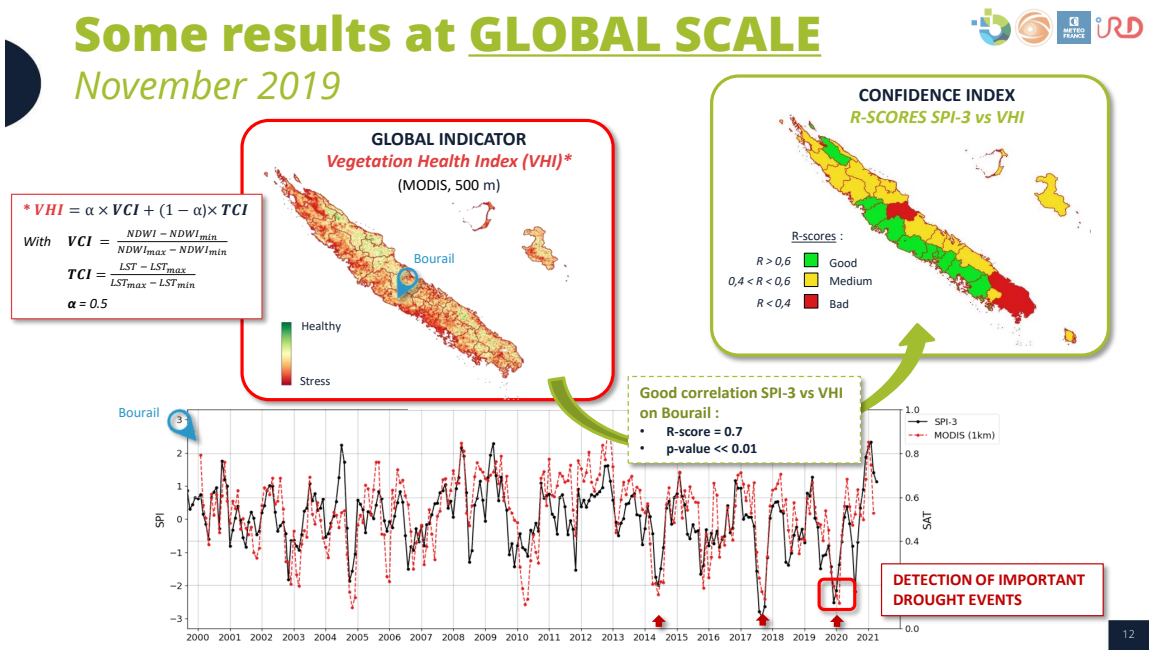
$$VAI_{D,M} = \frac{NDWI - NDWI_{mean}}{NDWI_{std}}$$

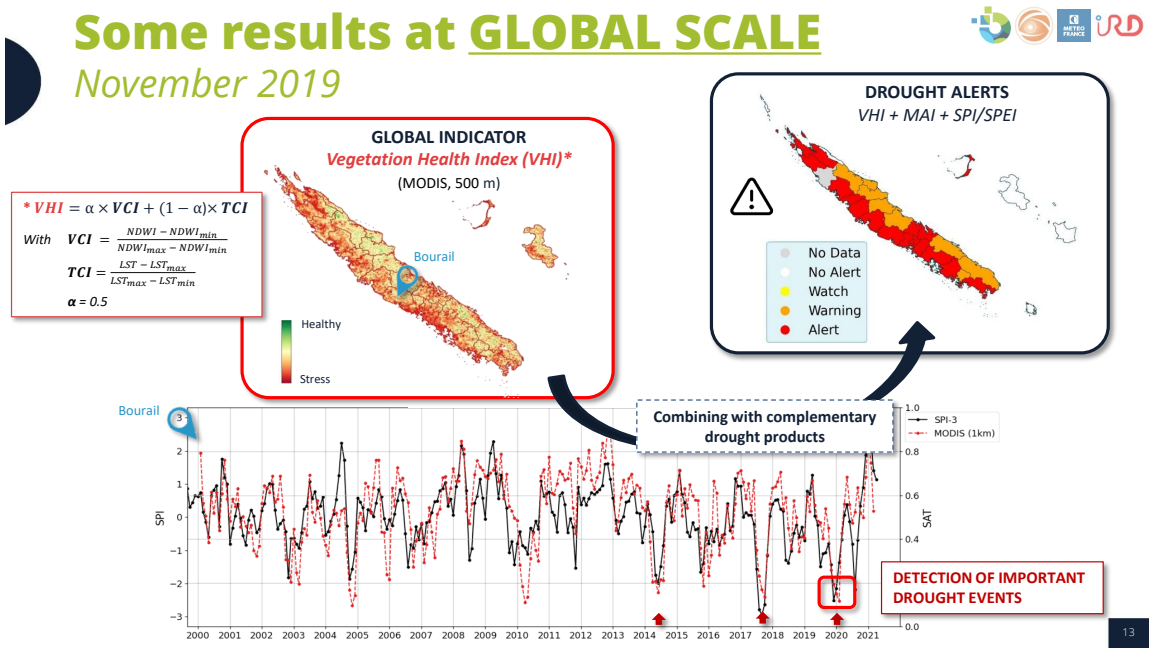
Agence rurale

10

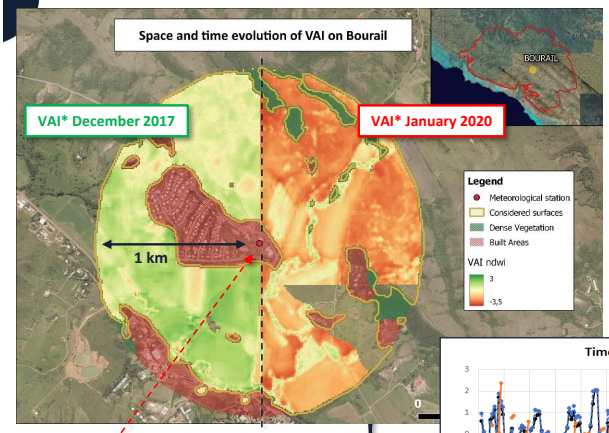
Methodology at LOCAL SCALE

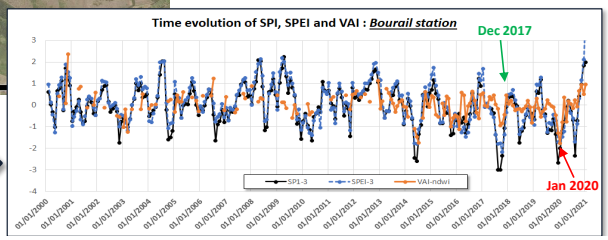



Some results at GLOBAL SCALE
November 2019
GLOBAL INDICATOR
Vegetation Health Index (VHI)*
(MODIS, 500 m)
Bourail
Healthy
Stress
* VHI = α × VCI + (1 − α)× TCI
With VCI = (NDWI − NDWI_min) / (NDWI_max − NDWI_min)
TCI = (LST − LST_max) / (LST_max − LST_min)
α = 0.5
CONFIDENCE INDEX
R-SCORES SPI-3 vs VHI
R-scores :
R > 0,6 Good
0,4 < R < 0,6 Medium
R < 0,4 Bad
Good correlation SPI-3 vs VHI on Bourail :
R-score = 0.7
p-value << 0.01
Bourail
SPI
SAT
SPI-3
MODIS (1km)
DETECTION OF IMPORTANT DROUGHT EVENTS
12


Some results at GLOBAL SCALE
November 2019
* VHI = α × VCI + (1 − α)× TCI
With VCI = (NDWI − NDWI_min) / (NDWI_max − NDWI_min)
TCI = (LST − LST_max) / (LST_max − LST_min)
α = 0.5
GLOBAL INDICATOR
Vegetation Health Index (VHI)*
(MODIS, 500 m)
Bourail
Healthy
Stress
DROUGHT ALERTS
VHI + MAI + SPI/SPEI
No Data
No Alert
Watch
Warning
Alert
Combining with complementary drought products
Bourail
SPI
SAT
SPI-3
MODIS (1km)
DETECTION OF IMPORTANT DROUGHT EVENTS
13

Some results at LOCAL SCALE

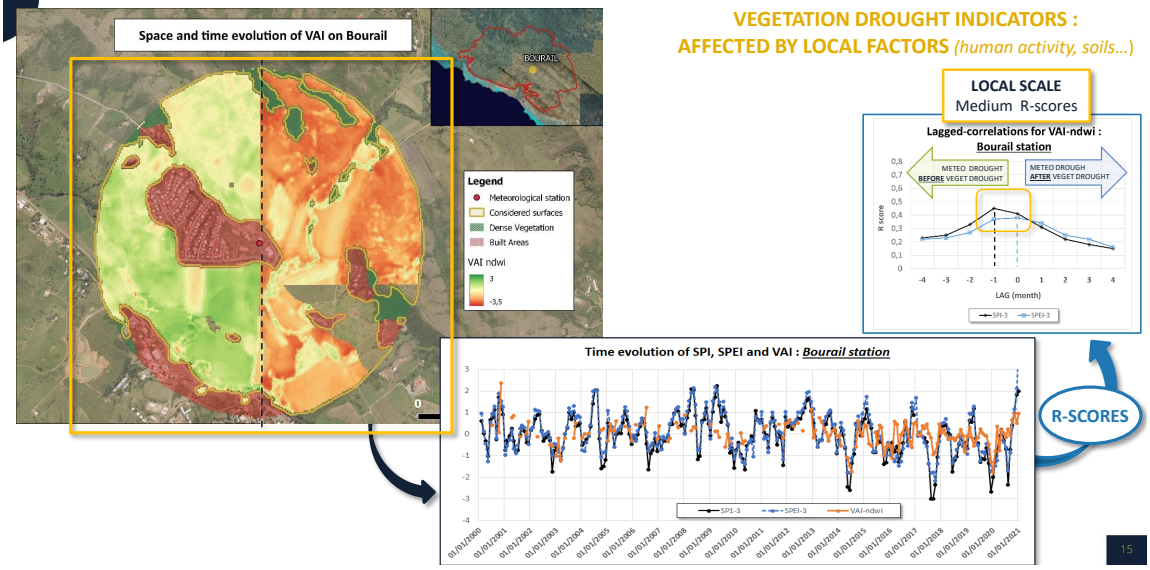


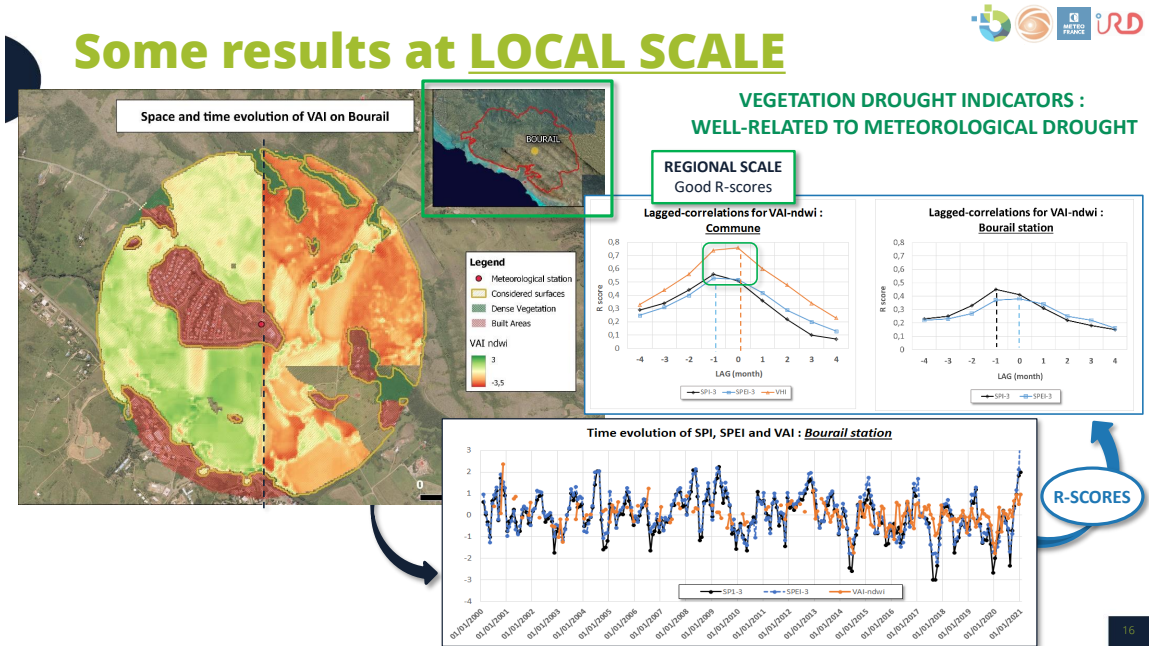


* ***Vegetation Anomaly Index (10 m) :***

$$VAI_{D,M} = \frac{NDWI - NDWI_{mean}}{NDWI_{std}}$$

Some results at LOCAL SCALE

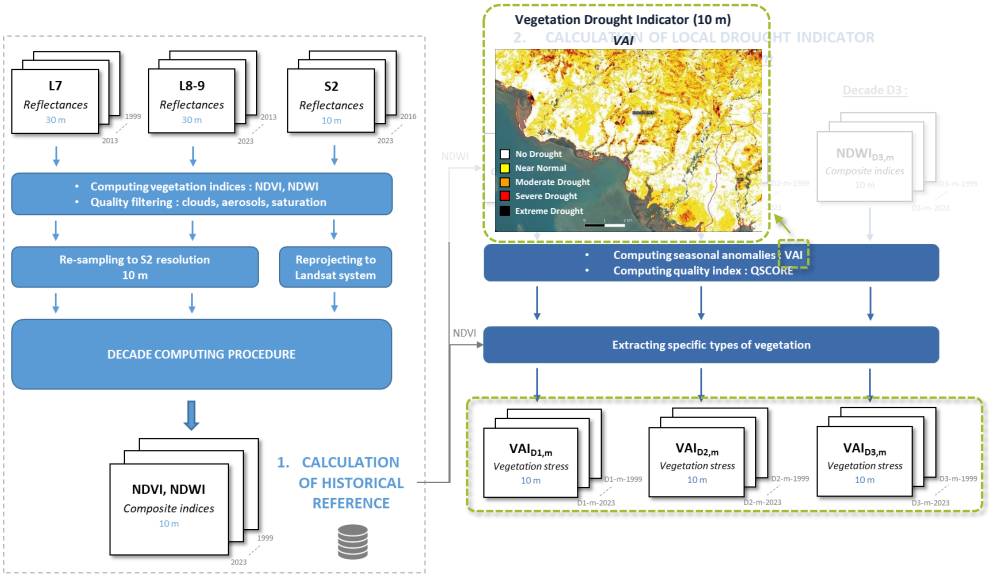



Some results at LOCAL SCALE
Space and time evolution of VAI on Bourail
BOURAIL
Legend
Meteorological station
Considered surfaces
Dense Vegetation
Built Areas
VAI ndwi
3
-3,5
VEGETATION DROUGHT INDICATORS :
WELL-RELATED TO METEOROLOGICAL DROUGHT
REGIONAL SCALE
Good R-scores
Lagged-correlations for VAI-ndwi :
Commune
Lagged-correlations for VAI-ndwi :
Bourail station
R-score
LAG (month)
SPI-3
SPEI-3
VHI
Time evolution of SPI, SPEI and VAI : Bourail station
SPI-3
SPEI-3
VAI-ndwi
R-SCORES
16

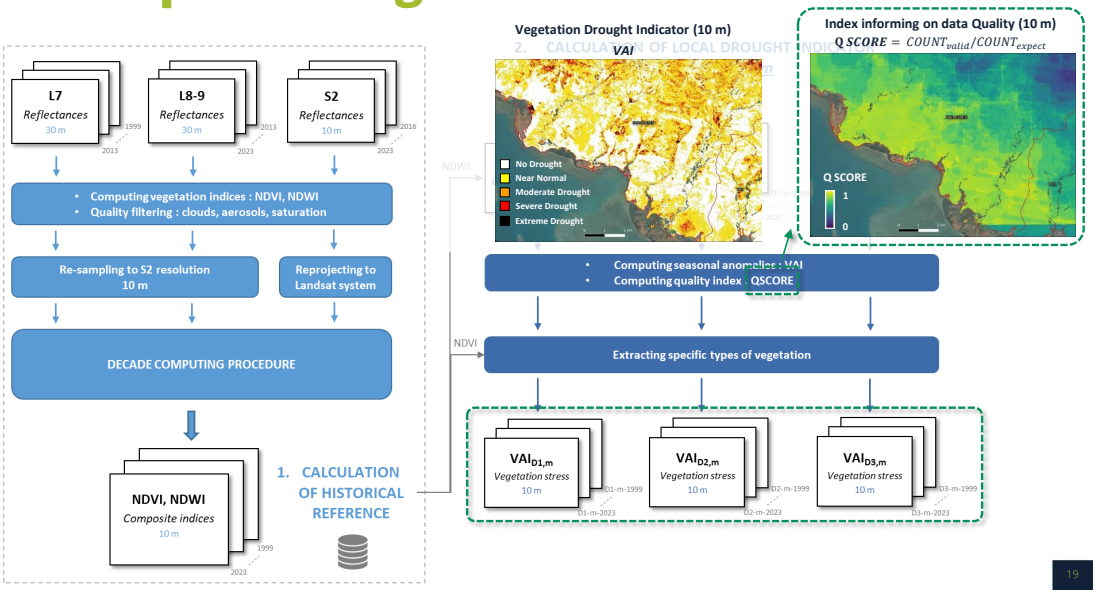
DROUGHT PROCESSING CHAINS

17

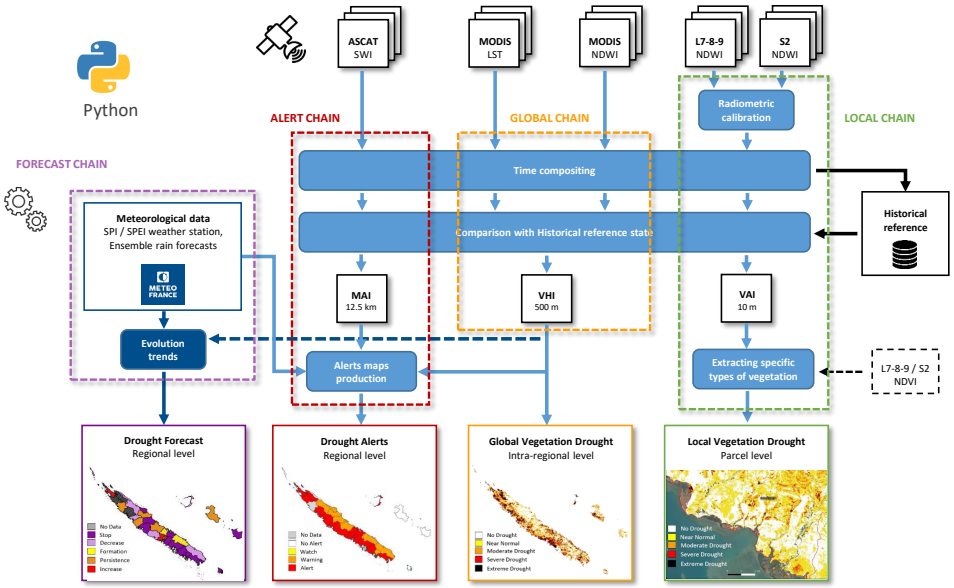
Local processing chain

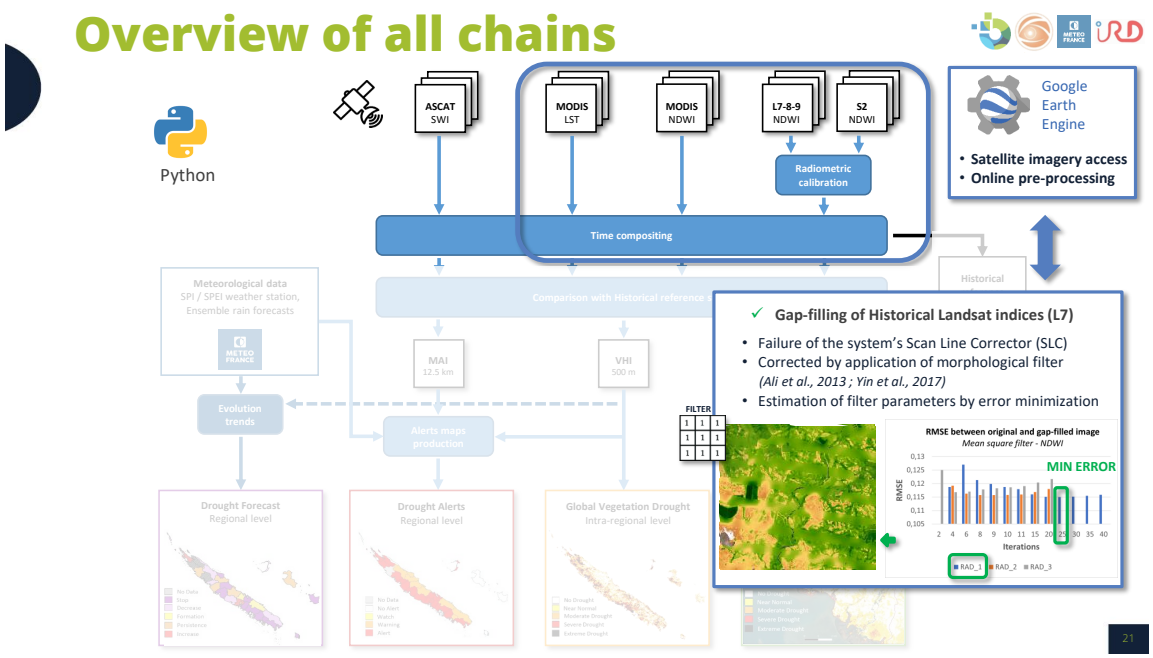


Local processing chain



Overview of all chains

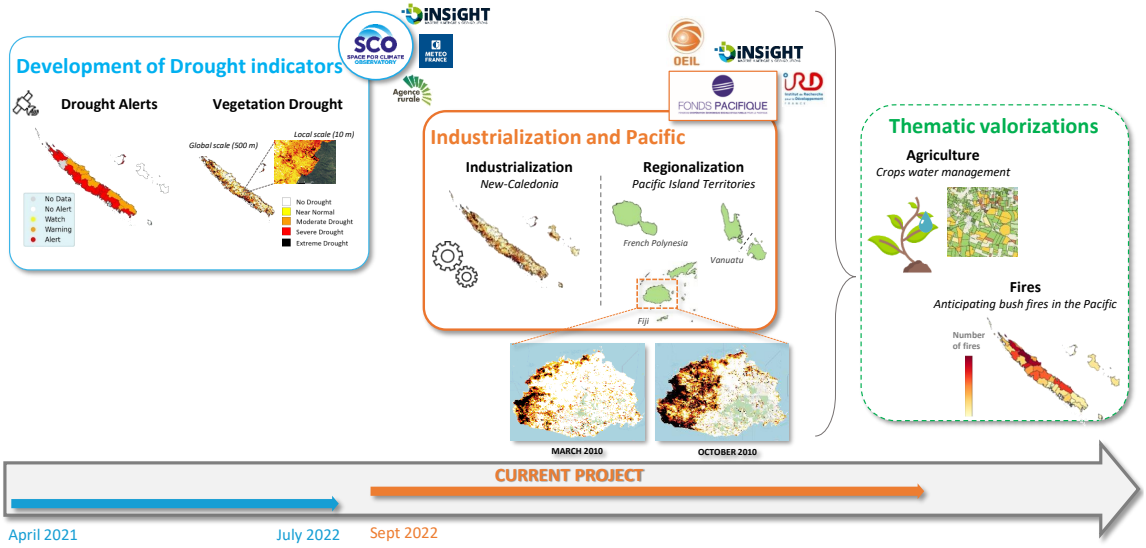



Overview of all chains
Python
ASCAT SWI
MODIS LST
MODIS NDWI
L7-8-9 NDWI
S2 NDWI
Radiometric calibration
Time compositing
Google Earth Engine
• Satellite imagery access
• Online pre-processing
Historical
Meteorological data
SPI / SPEI weather station, Ensemble rain forecasts
Comparison with Historical reference
MAI
12.5 km
VHI
500 m
Evolution trends
Alerts maps production
Drought Forecast
Regional level
Drought Alerts
Regional level
Global Vegetation Drought
Intra-regional level
✓ Gap-filling of Historical Landsat indices (L7)
• Failure of the system's Scan Line Corrector (SLC)
• Corrected by application of morphological filter
(Ali et al., 2013 ; Yin et al., 2017)
• Estimation of filter parameters by error minimization
FILTER
RMSE between original and gap-filled image
Mean square filter - NDWI
MIN ERROR
RMSE
Iterations
RAD_1
RAD_2
RAD_3
21

EXTERNALITIES FOR VALORISATION

22

Monitoring and anticipating Vegetation Drought in the Pacific Island Countries and Territories



THANK YOU FOR YOUR ATTENTION

Vinaka Vaka Levu

24