

Gardiens dans l'espace

Apprendre avec des images satellites

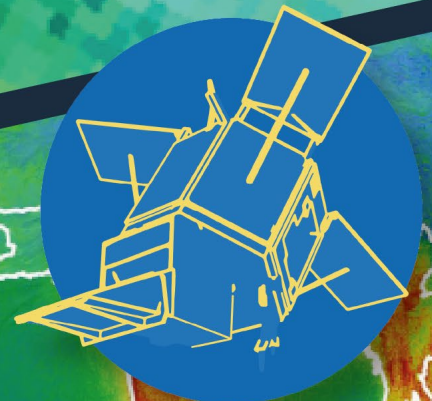
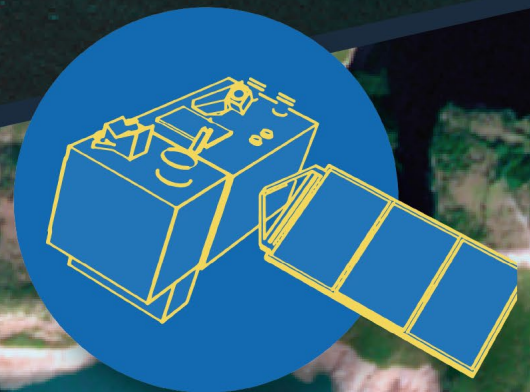
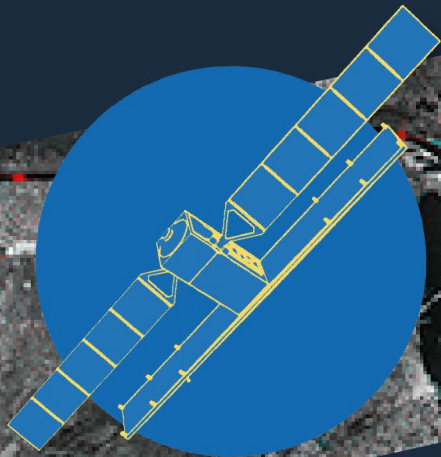


Table des matières

1. Introduction à l'observation de la Terre et à Copernicus.....	3
1.1 Les satellites Sentinel	3
1.1.1 Sentinel-1	3
1.1.2 Sentinel-2.....	5
1.1.3 Sentinel-3.....	7
1.1.4 Sentinel-5P	9
1.2 Qu'est-ce que l'observation de la Terre et que fait-on avec ?	10
1.2.2 Liste des domaines d'application pertinents.....	11
1.2.3 Histoire du capteur via Landsat.....	12
1.3 Observation de la Terre dans l'enseignement scolaire	13
1.3.1 Introduction.....	13
1.3.2 Avantages de l'observation de la Terre dans l'enseignement scolaire.....	13
1.4 Projets éducatifs d'observation de la Terre	15
1.4.1 Copernicus Academy	15
1.4.2 Cop4Schools	15
2. Les bases de l'observation de la Terre	16
2.1 Qu'est-ce que l'observation de la Terre ? Loin et pourtant proche.....	16
2.2 Avec quoi travaille l'observation de la Terre ?.....	17
2.2.1 Vagues longues et courtes	17
2.2.2 Le spectre électromagnétique	18
2.2.3 Que signifie la réflexion ?	18
2.2.4 Que signifie l'absorption ?	19
2.2.5 Des images comme grille de chiffres.....	19
2.2.6 Techniques d'observation de la Terre	20
2.3 Qu'est-ce que la résolution ?	21
2.3.1 Résolution spatiale	21
2.3.2 Résolution temporelle	22
2.3.3 Résolution spectrale	22
2.4 Pourquoi percevons-nous le monde en couleur ?	22

2.5 Que peut dire une image satellite ?	23
2.5.1 Le NDVI.....	23
2.5.2 Classification.....	23
2.5.3 Analyse du changement	24
3. Copernicus - L'observation de la Terre pour tous !	24
3.1 Services.....	25
3.2 Dataspace	28
3.3 SNAP.....	28
3.4 Traitement des données via le hub Dataspace.....	29
3.4.1 Exemple – Change Detection.....	29
3.4.2 Exemple de biologie - football - gazon synthétique vs. gazon naturel.....	39
3.4.3 Exemple de géographie - la chaleur en Espagne.....	42
3.4.4. Exemple physique - Canal de Suez.....	50
3.5 Les données Sentinel dans l'enseignement de l'informatique.....	54
3.5.1 Utilisation d'une API Python.....	55
3.5.2 Ouverture des enregistrements dans SNAP	60
Bibliographie	61
Tableau des illustrations.....	62
mentions légales.....	65

1. Introduction à l'observation de la Terre et à Copernicus

1.1 Les satellites Sentinel

La Commission européenne a développé, en collaboration avec l'Agence spatiale européenne (ASE), un projet qui sert de composante principale au programme Copernicus. La famille de satellites « Sentinel » est au cœur de ce projet. Le terme « Sentinel » signifie en français « sentinelle ». Les satellites Sentinel constituent l'épine dorsale du programme Copernicus de l'ASE et jouent un rôle crucial dans la surveillance de la Terre depuis l'espace. Chaque mission de la famille Sentinel est conçue pour observer des aspects spécifiques de notre planète et fournir des données environnementales et climatiques essentielles.

Presque chaque mission se compose de plusieurs satellites de conception identique, dont deux sont mis en orbite simultanément. L'utilisation de deux satellites permet d'enregistrer plus souvent le même endroit. Par conséquent, les satellites Sentinel peuvent être considérés comme un puissant réseau de « gardiens » de l'espace, qui collectent en permanence des données sur notre planète et contribuent ainsi à mieux comprendre et à mieux gérer les questions environnementales et climatiques importantes.

Ce groupe comprend les missions Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P et Sentinel-6. Ce cahier présente les principales caractéristiques et les objectifs des missions Sentinel -1 à -5P.

1.1.1 Sentinel-1

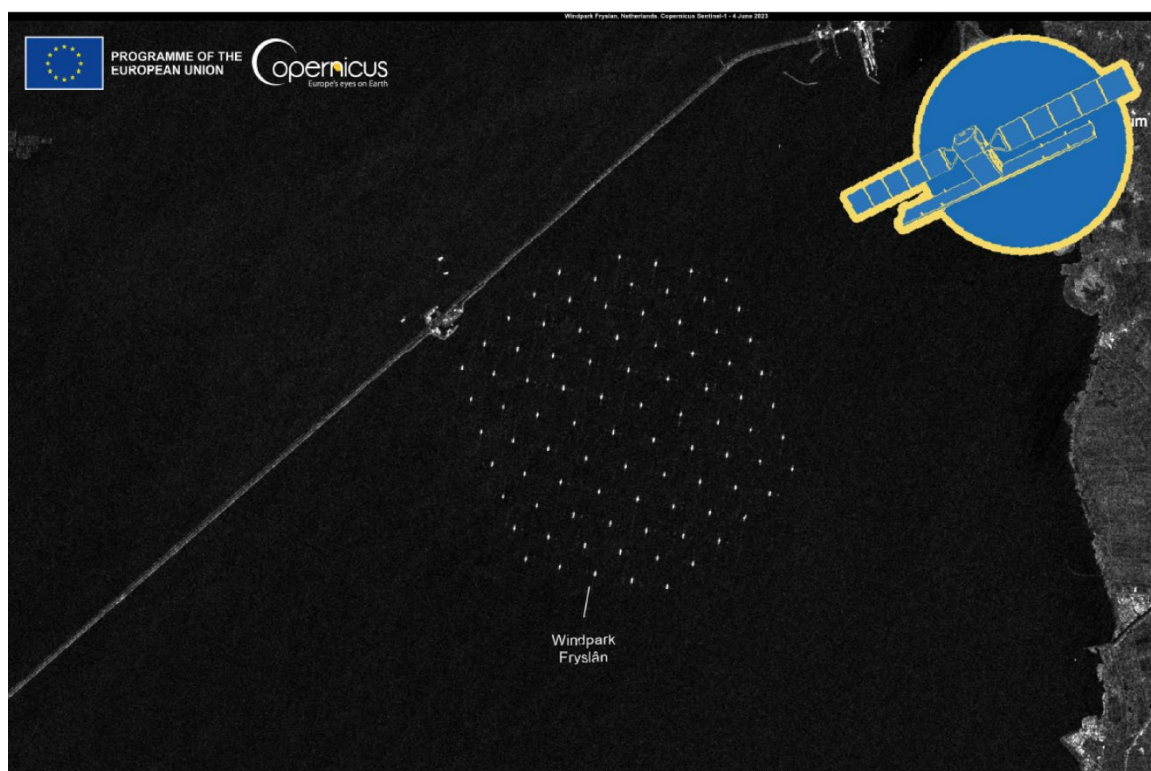


Fig. 1 : Parc éolien de Fryslân à Lake IJssel, Pays-Bas.

<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/windpark-fryslan-lake-ijssel-netherlands>

Sentinel-1 représente la première des six missions et présente un large éventail de tâches Environnement, transport, économie et sécurité. Il fournit des données sur les surfaces terrestres et aquatiques à une altitude d'environ 700 kilomètres. Le premier satellite Sentinel-1A a été lancé le 3 avril 2014 en Guyane française, suivi par Sentinel-1B le 25 avril 2016. Ce dernier est remplacé depuis le 5 décembre 2024 par Sentinel-1C.

L'instrument principal est un radar d'imagerie à haute résolution en bande C de type SAR (Synthetic Aperture Radar). Cela permet une acquisition optimale des données, indépendamment de la couverture nuageuse et de la luminosité. Le satellite héliosynchrone peut fournir des images en temps réel des inondations, des marées noires, des mouvements du sol ou de la densité de la végétation.

La particularité de Sentinel-1 est qu'il est le seul satellite européen orienté vers l'assistance en cas de catastrophe naturelle. Les données collectées sont utilisées, entre autres, pour détecter les inondations et les mouvements de terrain, surveiller la propagation de la glace et détecter les marées noires.

L'image prise par le satellite Sentinel-1A montre le parc éolien de Fryslân, considéré comme le plus grand parc éolien d'eau douce au monde. Les éoliennes ont été installées dans l'IJsselmeer, aux Pays-Bas, et sont entrées en service fin 2021.

1.1.2 Sentinel-2



Fig. 2: Le réservoir de Sau à des niveaux d'eau inquiétants. (<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/sau-reservoir-worrisome-water-levels>)

Sentinel-2 est la deuxième des six missions du programme Copernicus. Ses domaines d'application sont, contrairement à Sentinel-1, spécifiquement axés sur la végétation. La haute résolution des satellites permet une détection optimale des changements de végétation à une altitude d'environ 786 km. Une autre mission concerne la surveillance des cours d'eau.

Le premier satellite Sentinel-2A a été lancé le 23 juin 2015. Deux ans plus tard, le 07 mars 2017, Sentinel-2B a suivi. Le 5 septembre 2024, Sentinel-2C, successeur de Sentinel-2A, a été lancé et fournit depuis lors des images. Deux autres satellites devraient être mis en orbite à l'avenir: Sentinel-2D à partir de 2028 et la nouvelle génération à partir de 2033. Tous les satellites sont mis en orbite depuis la Guyane française.

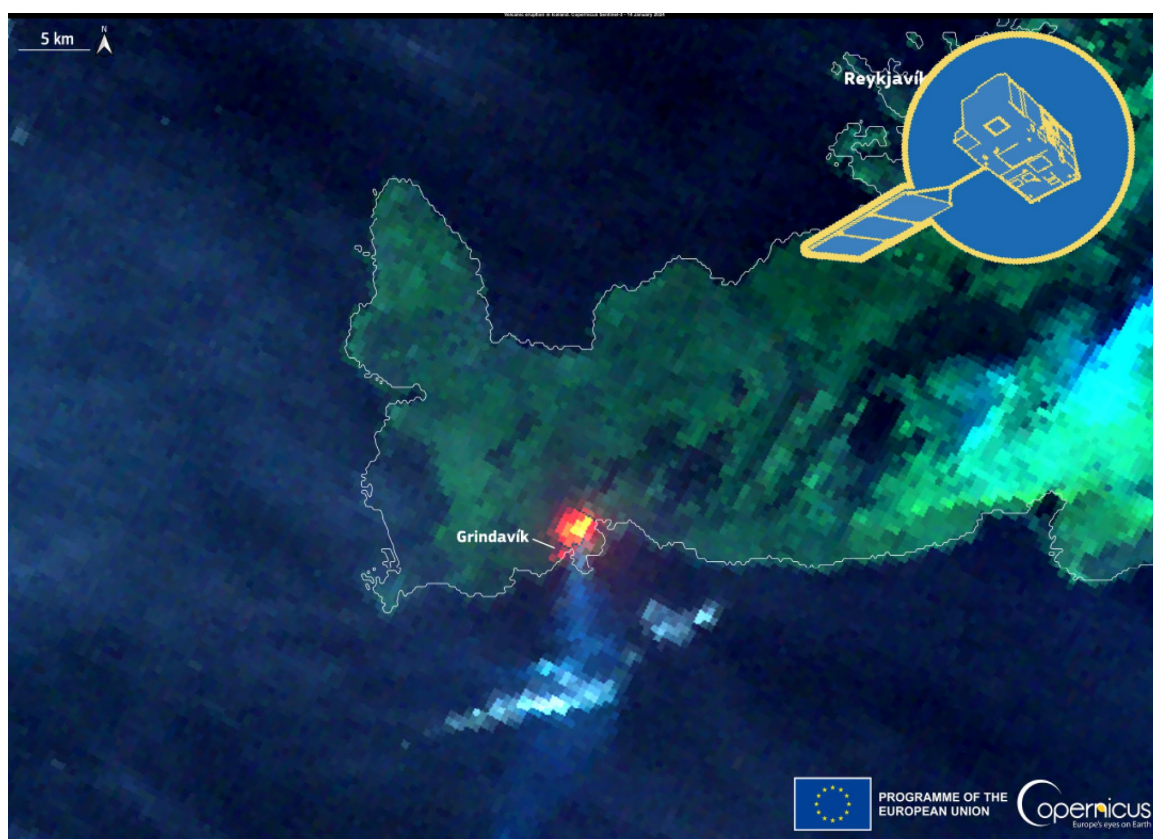
Les satellites fournissent des images à la fois dans le spectre visible et dans le spectre infrarouge. L'instrument principal est un MSI (Multi-Spectral Instrument) et assure des images satellites à haute résolution. Les satellites héliosynchrones aident à établir des prévisions de récolte, à cartographier les peuplements forestiers ou à déterminer la croissance des plantes sauvages et cultivées. Des données sur les changements de surface, les forêts, les terres agricoles, les lacs et les côtes sont fournies. Ainsi, Sentinel-2 peut également contribuer à la prévention des risques et des catastrophes. Les satellites peuvent également observer des paramètres biophysiques tels que la teneur en chlorophylle et en eau des feuilles.

Les domaines d'application sont variés en ce qui concerne la végétation. Il s'agit notamment des eaux intérieures, des voies navigables fédérales, de la surveillance des terres, de la sylviculture, de l'environnement marin et des eaux côtières ainsi que de la météo et du changement climatique. Mais

la sécurité, les géoressources et les géorisques sont également des domaines d'application de Sentinel-2.

L'image date du 17.01.2024 et a été prise par un satellite Sentinel-2. Elle montre une image satellite d'une région d'Espagne. On y voit une réserve naturelle en Catalogne. Ce qui frappe surtout, c'est la sécheresse qui a fait que le niveau d'eau est si bas et les hautes berges sans végétation qui indiquent où le niveau d'eau devrait être.

1.1.3 Sentinel-3



*Fig. 3 : Deuxième éruption volcanique dans la péninsule de Reykjanes en Islande en quelques semaines.
(<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/second-volcanic-eruption-icelands-reykjanes-peninsula-just-few-weeks>)*

Sentinel-3, la troisième mission de l'ESA, joue un rôle important dans la surveillance de l'environnement en tant que partie intégrante du programme Copernicus.

Sentinel-3A a été lancé le 16 février 2016 et Sentinel-3B le 25 avril 2018. Les deux satellites ont été lancés depuis le cosmodrome de Plessetsk, situé au nord-ouest de la Russie. Le lancement de Sentinel-3C est prévu à partir de 2026. Sentinel-3D devrait ensuite être lancé à partir de 2028.

Sentinel-3 a d'abord été développé pour fournir des informations précises sur les océans. En combinant différents instruments capables de déterminer la couleur, la température et le niveau de la surface, il est possible d'en déduire des informations sur les courants marins, la hauteur des vagues et la répartition des nutriments dans les océans.

Ainsi, Sentinel-3 ne se contente pas de fournir des informations sur les océans, mais aussi sur les terres. L'instrument SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) embarqué à bord de Sentinel-3 permet de mesurer la température de surface des terres avec une précision impressionnante. L'instrument SLSTR mesure le rayonnement thermique émis par la surface de la Terre dans neuf bandes spectrales différentes. Ce rayonnement est ensuite converti en valeurs de température qui fournissent des cartes de température détaillées de la masse terrestre.

En résumé, Sentinel-3 contribue à la détection précoce des changements environnementaux pertinents et fournit des informations sur l'utilisation des terres, permettant ainsi, à partir des données fournies, de mieux comprendre la Terre et d'élaborer des mesures de protection de la planète.

L'image satellite a été prise par un satellite Sentinel 3 et montre le point chaud de l'éruption volcanique en Islande le 14 janvier 2024, qui a commencé quelques heures auparavant. Ainsi, grâce au radiomètre Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) porté par les satellites Copernicus Sentinel-3, la température de la surface terrestre peut être surveillée de près.

1.1.4 Sentinel-5P

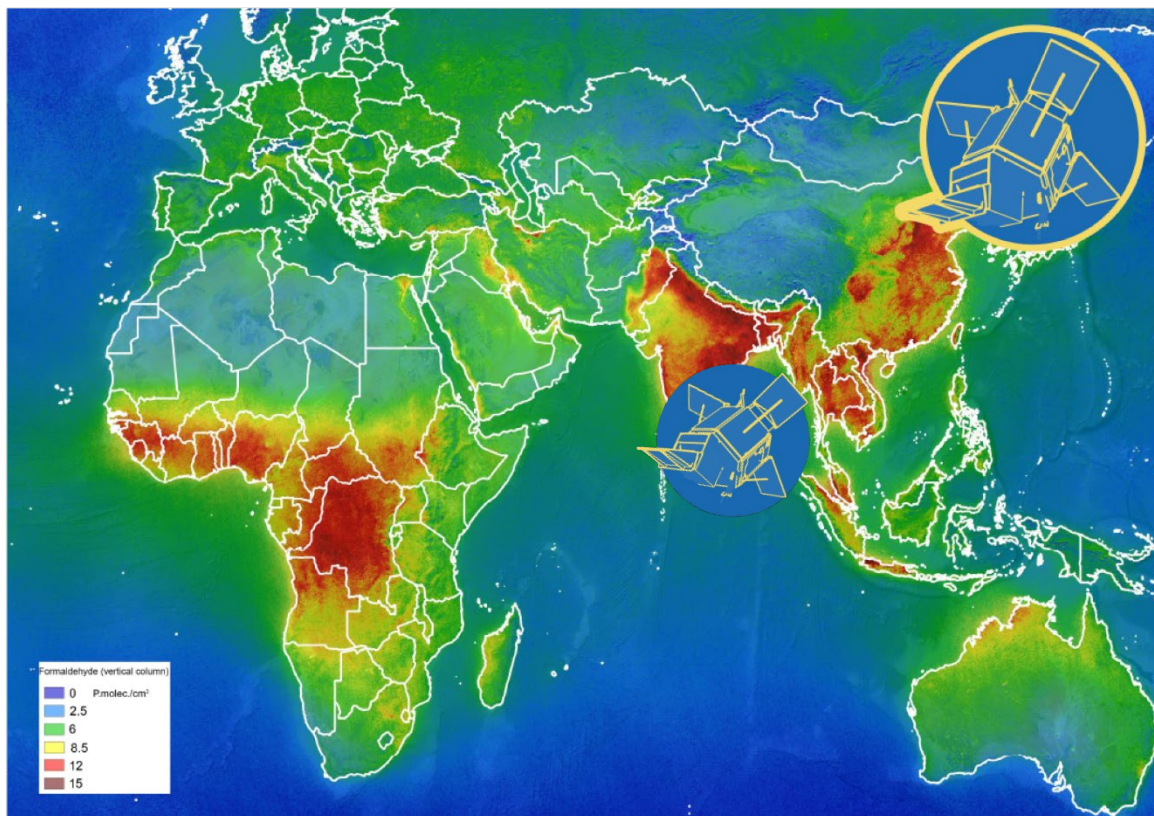


Fig. 4: Copernicus Sentinel-5P Formaldehyde 2018.

https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Copernicus_Sentinel-5P_reveals_new_nasties

Sentinel-5P fait également partie des missions de l'ESA et de la famille de satellites Sentinel. Le « P » signifie Precursor, ce qui veut dire précurseur. En effet, alors que Sentinel-5P est un satellite autonome, Sentinel-5, la mission suivante, est un instrument de mesure à bord d'un autre satellite. Sentinel-5P a également été lancé le 13 octobre 2017 depuis le cosmodrome de Plessetsk.

Par rapport aux autres satellites Sentinel, 5P se concentre sur la surveillance de l'atmosphère terrestre. Il peut ainsi obtenir des informations sur la qualité de l'air, l'ozone et le rayonnement UV et fournir ainsi des informations complémentaires sur différents changements, notamment dans le sens du changement climatique. Il s'agit par exemple de mesurer la concentration troposphérique de gaz tels que le NO₂ (dioxyde d'azote), qui est considéré comme nocif pour la santé.

Les mesures collectées par la mission Copernicus Sentinel-5P entre janvier et août 2018 (figure 4) ont été déterminées afin de détecter la présence de formaldéhyde dans l'atmosphère. Ce polluant atmosphérique se retrouve par exemple dans l'atmosphère lors des incendies de forêt et de la transformation du bois. C'est un gaz intermédiaire important dans l'oxydation du méthane et d'autres hydrocarbures. Alors qu'il est de courte durée dans l'atmosphère, il réagit chimiquement et devient une source majeure de monoxyde de carbone.

En outre, le 5P fournit des informations sur les gaz à effet de serre comme le CH₄ (méthane), qui jouent un rôle très important dans le changement climatique. Il surveille également la couche d'ozone stratosphérique et le rayonnement UV qui l'accompagne.

Un dernier exemple de collecte de données par Sentinel-5P est l'observation des éruptions volcaniques. Il est ainsi possible de tirer des conclusions pertinentes sur la répartition et la concentration des cendres volcaniques.

En résumé, le satellite a pour mission de fournir des données relatives au climat et de mettre à la disposition des services météorologiques et sanitaires des informations qui peuvent être utilisées pour émettre des alertes concernant, par exemple, la qualité de l'air.

1.2 Qu'est-ce que l'observation de la Terre et que fait-on avec ?

Comment pouvons-nous en savoir autant sur le climat, la croissance des villes, les stocks de végétation ou les catastrophes climatiques ? Comment peut-on cartographier les différentes surfaces terrestres, comme les déserts ou les forêts tropicales ? Nous pouvons faire tout cela et bien plus encore grâce aux satellites. L'observation de la Terre décrit l'exploration de la surface terrestre, de ses écosystèmes et de l'atmosphère depuis l'espace. C'est la mission la plus importante de l'astronautique. Des satellites de télédétection ou d'observation de la Terre tournent autour de la Terre et envoient régulièrement des images. L'observation de la Terre permet d'obtenir des données qui sont ensuite analysées. Ces données permettent par exemple d'établir des cartes numériques ou de prévoir le temps qu'il fera chaque jour.

Il existe différents domaines d'application dans l'observation de la Terre. Il est notamment possible de détecter les modifications des surfaces terrestres et aquatiques, ainsi que les changements de

l'atmosphère et du climat. Les informations obtenues permettent d'évaluer les différentes données, ce qui nous permet d'obtenir régulièrement de nouvelles informations sur les conditions et les changements de la surface de la Terre et de développer des mesures appropriées. Par exemple, les satellites d'observation de la Terre fournissent en temps réel un aperçu précis de l'ampleur d'une catastrophe, ce qui permet de mieux cibler les zones nécessitant une aide urgente. Il est également possible d'étudier la croissance urbaine et l'élévation de la surface de la mer. Ces données peuvent aider à la prise de décision, par exemple pour l'élaboration d'un nouveau traité (international) sur le changement climatique ou la mise à jour des traités existants.

Copernicus fournit des informations basées sur l'observation de la Terre par satellite et sur des données in situ. Il s'agit de couvrir la terre à l'aide de satellites et de collecter des données. Les données peuvent être utilisées dans le monde entier pour la recherche et le développement et, au sein de l'UE, elles jouent également un rôle important dans les décisions politiques. Le programme de l'UE travaille en étroite collaboration avec l'Agence spatiale européenne (ASE). La particularité de Copernicus est qu'il est libre et ouvert à tous. Outre l'ASE, il existe d'autres partenaires de coopération. Parmi eux, on trouve par exemple l'organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques (EUMETSAT), le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET), les agences de l'UE et Mercator Ocean.

1.2.2 Liste des domaines d'application pertinents

Domaines d'application
Changement d'utilisation des sols
Données sur la terre, la mer et l'air
Impact du changement climatique mondial
Données pour la géodésie, la météorologie, la géoécologie, les sciences environnementales, le développement durable,
Recherche sur le climat et l'atmosphère (entre autres, prévision météorologique)
Mouvement du sol
Protection de la population
Calcul de sécurité
Surveillance de la pollution marine et atmosphérique
Prévention des catastrophes
Aménagement du paysage et urbanisme (occupation des sols, circulation routière, cartographie du bruit)
Gestion des ressources
Protection de l'environnement et de la nature
Et bien d'autres choses encore...

1.2.3 Histoire du capteur via Landsat

Dans les années 1960, le thème de la conception aérospatiale a commencé à être abordé et plusieurs scientifiques et entreprises ont commencé à s'y intéresser. Virginia T. Norwood faisait partie d'un groupe qui travaillait pour la Hughes Aircraft Company. L'une de ses tâches consistait à observer les nouveaux projets envisagés par la NASA. Elle savait donc que la NASA travaillait sur des images multispectrales de la Terre prises par satellite. Norwood a alors levé des fonds pour la recherche et le développement et a constitué une équipe interdisciplinaire d'experts pour travailler elle-même sur des images multispectrales.

La NASA avait un Vidicon à faisceau de retour (RBV) comme instrument pour le premier satellite Landsat. Cette technologie a fait ses preuves sur les satellites météorologiques TIROS et les missions Surveyor sur la Lune. Le RBV ressemblait aux caméras traditionnelles. Mais certains ingénieurs de la NASA ont vu les limites du RBV, ce qui a conduit Norwood et son équipe à être chargés de concevoir un scanner spatial.

Norwood a alors conçu le scanner MSS en collaboration avec Jack Lansing, un ingénieur de Hughes. Le MSS construit une image ligne par ligne à mesure que le satellite avance. Après quelques défis et améliorations, un scanner MSS fonctionnel a été créé. Les données (numériques) MSS ont fait progresser de manière positive la télédétection par satellite et l'observation numérique de la Terre.

Le 23 juillet 1972, Landsat 1 a été lancé avec le RBV et le MSS. Lorsque les premières images arrivèrent deux jours plus tard, les scientifiques, les ingénieurs et les techniciens furent enthousiasmés par la qualité des images. Le capteur présentait des performances stables, tant sur le plan géométrique que radiométrique.

Le programme Landsat a été la principale collaboration entre la NASA et l'USGS.

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/virginia-t-norwood-the-mother-of-landsat/>

1.3 Observation de la Terre dans l'enseignement scolaire

1.3.1 Introduction

L'intégration de l'observation de la Terre dans l'enseignement scolaire offre des possibilités uniques et constitue une grande opportunité pour les élèves* de se former en raison de son importance pour l'avenir. L'intégration de contenus d'observation de la Terre peut être profitable à l'enseignement de différentes disciplines. Ainsi, les cours de géographie et de physique peuvent être enrichis. En outre, l'observation de la Terre ouvre également des perspectives passionnantes dans d'autres matières MINT telles que la chimie, les mathématiques et la biologie. Les élèves peuvent ainsi faire l'expérience de relations interdisciplinaires et découvrir des applications pratiques dans différents domaines de connaissances, par exemple les connaissances relatives au changement climatique.

1.3.2 Avantages de l'observation de la Terre dans l'enseignement scolaire

Enseigner et apprendre...

<i>... par l'observation de la Terre</i>	<i>... via l'observation de la terre</i>	<i>... avec observation de la Terre</i>
Outils et méthode	Pensée spatiale	Apprentissage exploratoire
Recherche	Compétence médiatique (data literacy)	Apprentissage par la recherche
Domaine de spécialisation	Pensée critique	Apprentissage par problèmes
Développement professionnel	Pensée analytique	Compétences techniques
	Formulaire de citoyenneté	
Que peut-on faire avec l'observation de la Terre ?	Quelles compétences transférables sont acquises en utilisant l'observation de la Terre ?	Comment l'observation de la Terre peut-elle être utilisée comme outil d'apprentissage ?

Enseigner l'observation de la Terre enseigne bien plus que l'observation de la Terre !

Ce tableau illustre les nombreux avantages de l'intégration de l'observation de la Terre dans l'enseignement scolaire.

L'enseignement de l'observation de la Terre permet non seulement d'enseigner des outils et des méthodes, mais aussi de se familiariser avec différents domaines et résultats de recherche actuels. Cela permet non seulement de développer les compétences des élèves, mais aussi d'explorer les nombreuses possibilités qu'offre l'observation de la Terre. L'apprentissage par l'observation de la Terre permet de développer des compétences essentielles telles que la pensée spatiale, les compétences médiatiques et la pensée critique et analytique. L'utilisation de l'observation de la Terre en classe permet un apprentissage basé sur l'exploration, la recherche et la résolution de problèmes. Cela permet non seulement de transmettre des contenus techniques, mais aussi d'acquérir des compétences transférables qui vont bien au-delà du spectre de l'observation de la Terre.

Un examen approfondi des avantages de l'intégration de l'observation de la Terre dans l'enseignement scolaire révèle d'autres exemples précis.

L'un des principaux avantages réside dans l'actualité des données de télédétection. Celles-ci permettent aux élèves de se confronter à des questions actuelles. L'enseignement gagne ainsi en pertinence et en pertinence pratique, car les élèves peuvent interagir en temps réel avec les développements actuels. Un autre avantage important réside dans la perspective unique qu'offre l'observation de la Terre à vol d'oiseau. Cela ouvre une nouvelle dimension dans l'approche des problèmes et donne aux élèves une représentation particulièrement claire des relations complexes. Les élèves développent une compréhension approfondie des relations spatiales et apprennent à analyser les phénomènes sous différents angles. L'effet motivant de l'observation de la Terre en classe ne doit pas être sous-estimé. L'association d'images satellites fascinantes et de technologies modernes interpelle les élèves* sur le plan émotionnel et stimule leur curiosité. Cette composante motivante contribue largement à éveiller l'intérêt des élèves* et à les faire participer activement au processus d'apprentissage. Dans la pratique, les images satellites présentent également de nombreuses possibilités d'utilisation. Celles-ci peuvent être utilisées dans les matières déjà mentionnées, à savoir la géographie, les mathématiques, la physique et l'informatique. L'utilisation interdisciplinaire favorise une compréhension globale et donne aux élèves la possibilité d'appliquer leurs connaissances dans différents contextes. Enfin, l'utilisation de l'observation de la Terre en classe favorise le travail autonome. Les élèves sont incités à traiter de manière autonome les informations mises à leur disposition et développent ainsi d'importantes compétences méthodologiques dans le traitement des informations. Ces compétences ne sont pas seulement importantes pour le quotidien scolaire, mais aussi pour le développement académique et professionnel ultérieur.

En résumé, il est clair que l'observation de la Terre dans l'enseignement scolaire va bien au-delà de la simple transmission de connaissances. L'actualité des données, la perspective unique, l'effet motivant et les multiples applications créent une riche valeur ajoutée didactique. L'utilisation de l'observation de la Terre en classe permet donc une éducation complète et pratique qui enrichit les élèves de diverses manières.

1.4 Projets éducatifs d'observation de la Terre

1.4.1 Copernicus Academy

La Copernicus Academy a été créée par la Commission européenne et établit des liens entre les universités européennes, les instituts de recherche et les écoles de commerce, tant dans les pays participant au programme qu'au-delà. L'objectif général est de créer des liens entre les institutions scientifiques, les autorités publiques et les prestataires de services. Il s'agit de faciliter les activités de recherche communes et de développer des initiatives éducatives telles que des conférences, des formations, des stages et du matériel pédagogique. L'objectif est de doter la prochaine génération de chercheurs, de scientifiques et d'entrepreneurs des compétences nécessaires pour utiliser au mieux les données et les services d'information Copernicus.

La Copernicus Academy s'engage également à intensifier l'échange d'idées et de bonnes pratiques par-delà les frontières et les disciplines. Ainsi, la mission de la Copernicus Academy consiste à soutenir un large éventail de disciplines éducatives, notamment les sciences, la technologie, l'ingénierie, les mathématiques, les sciences humaines et d'autres disciplines. Parallèlement, elle s'efforce de promouvoir l'utilisation des données d'observation de la Terre en général et, en particulier, des données et informations Copernicus dans diverses institutions ou industries publiques ou privées. La Copernicus Academy encourage activement la coopération entre les établissements d'enseignement et les opérateurs commerciaux ou entrepreneurs établis, afin de garantir que les innovations atteignent le marché et puissent ainsi profiter aux citoyens* européens et à l'avenir de la Terre.

En tant que partie intégrante de la stratégie spatiale européenne, la Copernicus Academy s'efforce également de développer de nouveaux outils, de promouvoir le partage des connaissances et de renforcer la coopération à différents niveaux. Cela devrait contribuer à libérer l'immense potentiel des données et des informations fournies par Copernicus Sentinel.

Dans l'ensemble, la Copernicus Academy joue un rôle important dans la construction de l'avenir de l'apprentissage et de la société en créant des environnements d'apprentissage dynamiques qui aident les élèves* à développer leur potentiel et à devenir des créateurs actifs de leur propre avenir. Le projet éducatif contribue ainsi à préparer les apprenants à relever les différents défis du monde moderne.

1.4.2 Cop4Schools

La Copernicus Academy est composée d'un groupe de membres du monde entier. Ainsi, le groupe de travail Sciences géographiques interdisciplinaires de l'Institut de géographie de l'Université de la Ruhr à Bochum est également membre du programme.

Le groupe de travail mène un grand nombre de projets éducatifs, dont l'un, intitulé « Cop4Schools », est soutenu par Copernicus. Le cœur de ce projet consiste à faire de l'observation de la Terre une partie intégrante de l'enseignement scolaire. Il s'agit de développer du matériel pédagogique et éducatif qui associe le thème de l'observation de la Terre à différentes matières scolaires pertinentes. La thématique du projet s'inscrit dans le domaine de la protection civile en rapport avec le changement climatique. Compte tenu de la fréquence et de l'intensité croissantes de différents phénomènes naturels en raison

du changement climatique, ainsi que du rôle crucial que joue l'observation de la Terre dans le domaine de la protection contre les catastrophes et de l'évaluation de leurs conséquences, il est logique d'établir ce lien dans le matériel pédagogique développé.

Le matériel mentionné est disponible sur le site web « Fernerkundung in Schulen » (<https://fis.rub.de/>), lancé par le groupe de travail. Cette plateforme propose également du matériel éducatif sur une multitude de sujets issus d'autres projets consacrés à l'observation de la Terre en classe.

2. Les bases de l'observation de la Terre

2.1 Qu'est-ce que l'observation de la Terre ? Loin et pourtant proche.

L'observation de la Terre consiste à observer des objets à distance, l'objet étant généralement la surface de notre planète Terre. La manière dont cela fonctionne et les moyens et méthodes utilisés sont décrits ci-après. L'illustration 5 montre la procédure de manière simplifiée.



Fig. 5 : Comment fonctionne l'observation de la Terre ?

Les rayons de la lumière solaire atteignent les objets à la surface de la Terre sous forme de rayonnement électromagnétique et sont renvoyés par ceux-ci. Les rayons renvoyés peuvent être captés et enregistrés par des satellites. L'analyse des données se fait sur ordinateur.

En astronomie, l'espace avec ses planètes, ses étoiles et ses autres corps célestes est observé et étudié depuis la Terre. Il en va de même pour l'observation de la Terre : elle aussi observe les objets à

distance, c'est-à-dire sans contact direct. Mais dans l'observation de la Terre, l'objet d'étude n'est pas l'espace, mais notre Terre elle-même !

Pour observer et étudier la surface de la Terre, des appareils de mesure (appelés capteurs) sont installés sur les avions et les satellites. Ils captent les ondes électromagnétiques et les enregistrent ensuite sous forme d'images.

2.2 Avec quoi travaille l'observation de la Terre ?

L'observation de la Terre fonctionne avec la lumière du soleil, qui est renvoyée par la surface de la Terre. Des capteurs captent cette lumière et la stockent. Mais comment cela fonctionne-t-il ? Nous appelons souvent la lumière du soleil « rayons solaires ». En fait, ce n'est pas tout à fait exact. En raison de ses propriétés particulières, nous devrions plutôt l'appeler « ondes solaires ».

2.2.1 Vagues longues et courtes

Les vagues sont, par principe, des vibrations qui transportent de l'énergie. Un simple exemple d'une pierre jetée dans l'eau et qui fait des vagues permet d'illustrer ce point. La lumière du soleil est considérée comme une onde électromagnétique. La différence avec les vagues dans l'eau ou les ondes sonores réside dans le fait que l'onde électromagnétique n'a pas besoin d'un milieu tel que l'eau ou l'air pour se déplacer.

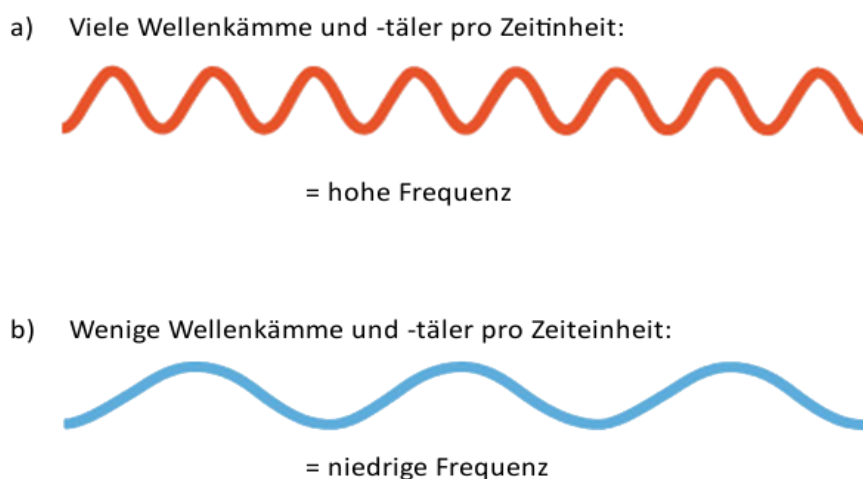


Fig. 6 : Ondes électromagnétiques à hautes et basses fréquences.

Comme on peut le voir sur l'illustration ci-dessus, les vagues ont une crête et un creux. La distance d'une crête à la suivante est appelée longueur d'onde. La fréquence des creux et des crêtes par unité de temps est appelée fréquence. En règle générale, plus la longueur d'onde est petite, plus la fréquence et l'énergie d'une onde électromagnétique sont élevées.

Les ondes électromagnétiques ont d'autres propriétés. Lorsqu'elles rencontrent une surface, elles sont réfléchies (renvoyées), absorbées (absorbées) ou transmises (laissées passer).

2.2.2 Le spectre électromagnétique

Pour l'observation, des appareils de mesure, également appelés capteurs, sont installés sur les avions et les satellites. Ceux-ci captent les ondes électromagnétiques et les transforment en données d'image qui peuvent être analysées ultérieurement. Le schéma suivant montre dans quelle mesure les ondes électromagnétiques se distinguent les unes des autres.

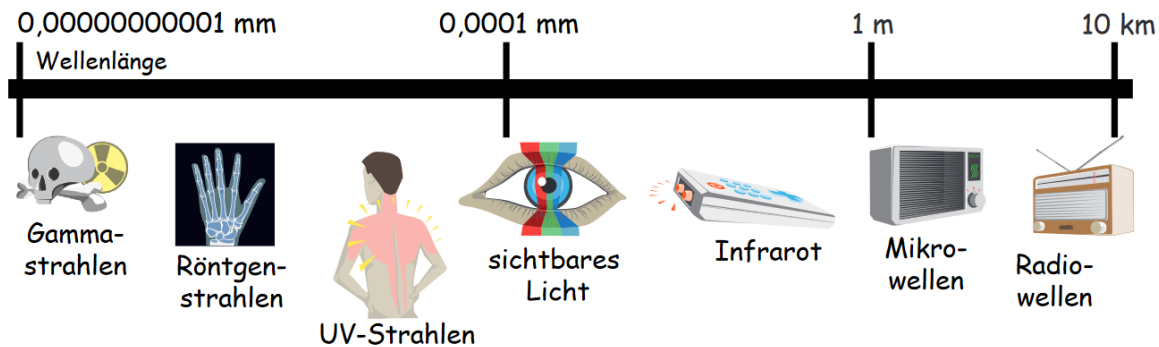


Fig. 7 : Le spectre électromagnétique.

Les ondes électromagnétiques telles que la lumière du soleil peuvent être réfléchies et absorbées. Dans le cas de la réflexion, elles sont renvoyées par une surface ; dans le cas de l'absorption, elles sont absorbées par une surface et transformées en énergie thermique.

2.2.3 Que signifie la réflexion ?

La réflexion signifie que quelque chose est renvoyé. Par exemple, si une balle est lancée contre un mur et qu'elle revient, elle est réfléchie par analogie. Il en va de même pour la lumière du soleil lorsqu'elle frappe la surface de la Terre. Elle est réfléchie et peut être captée par le satellite. Si elle rencontre une surface lisse, par exemple un miroir, l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion. L'angle d'incidence est l'angle entre un rayon lumineux incident et une surface, l'angle de réflexion est l'angle entre le rayon lumineux réfléchi et une surface.

Le principe de la réflexion spéculaire est illustré par la figure ci-dessous. On distingue généralement trois types de réflexion de la lumière, la rugosité de la surface de l'objet étant déterminante pour la manière dont le rayon lumineux est réfléchi :

1. **Réflexion spéculaire** : le rayon lumineux est renvoyé sous l'angle sous lequel il frappe une surface lisse.
2. **Réflexion diffuse** : le rayon lumineux est renvoyé uniformément dans toutes les directions par une surface rugueuse.
3. **Réflexion mixte** : le rayon lumineux est renvoyé de manière inégale dans toutes les directions par une surface très rugueuse. Ce type de réflexion est le cas normal dans la nature.

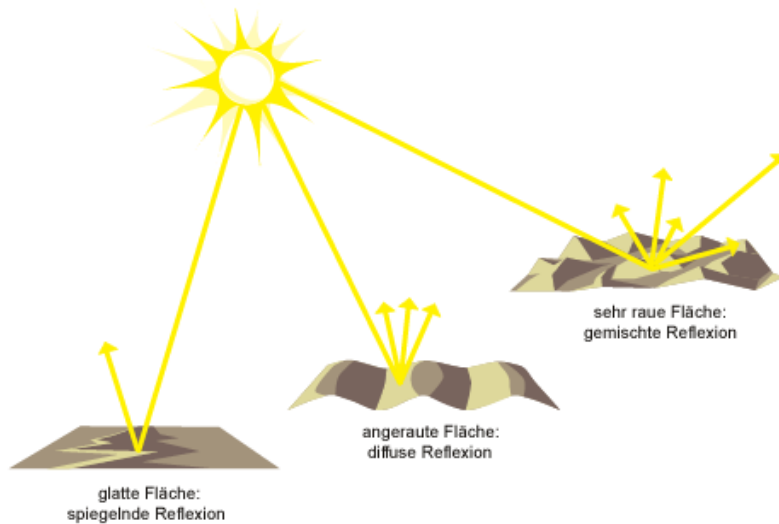


Fig. 8 : Trois types de réflexion de la lumière. La réflexion mixte (à droite) est le cas normal dans la nature..

2.2.4 Que signifie l'absorption ?

La lumière n'est pas seulement réfléchi par les surfaces, elle est aussi absorbée. L'énergie absorbée par la lumière est alors stockée et lentement restituée sous forme de chaleur. Ce type de transformation de l'énergie est appelé absorption.

Cela peut également être transposé à la vie quotidienne : Un T-shirt noir absorbe par exemple beaucoup plus de lumière solaire qu'un T-shirt blanc. C'est la raison pour laquelle, en été, on transpire plus dans un T-shirt noir que dans un T-shirt blanc.

2.2.5 Des images comme grille de chiffres

Les informations sont transformées en données d'image, qui se composent d'innombrables chiffres disposés en lignes et en colonnes. On parle alors de données tramées.

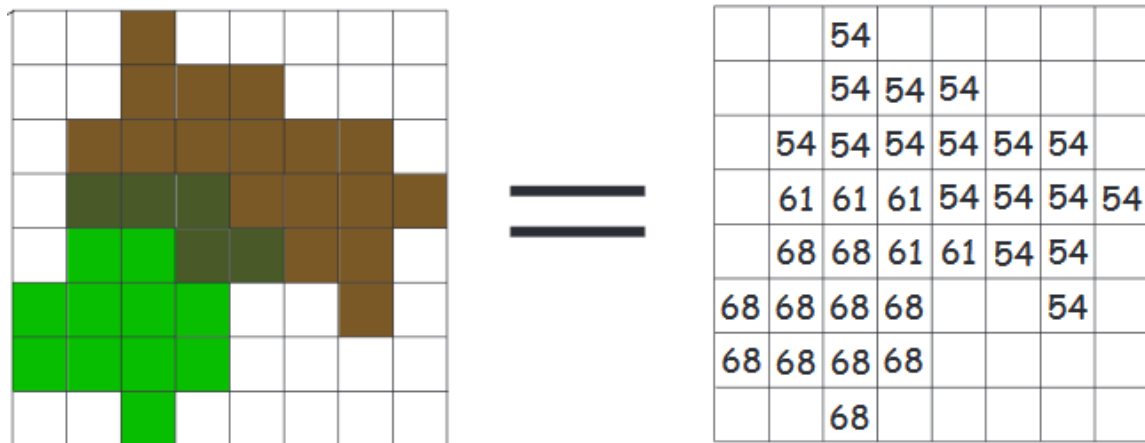


Fig. 9 : Les données d'image sont enregistrées par le capteur sous forme de chiffres.

Les chiffres indiquent l'intensité avec laquelle la lumière a été réfléchi. Les surfaces blanches réfléchissent fondamentalement avec une forte intensité et ont une valeur numérique élevée, alors que les surfaces sombres absorbent plus de lumière et en renvoient donc moins. Elles possèdent une valeur faible, qui est de zéro pour les objets noirs.

2.2.6 Techniques d'observation de la Terre

Les capteurs d'observation de la terre peuvent être installés sur des satellites ou des avions. Ils fonctionnent soit de manière passive avec la lumière du soleil, soit avec des micro-ondes émises de manière active.

Les systèmes d'enregistrement de l'observation de la Terre peuvent être différenciés, entre autres, selon le type de rayonnement électromagnétique utilisé. Il y a les systèmes déjà mentionnés qui fonctionnent avec les rayons du soleil réfléchis à la surface de la terre. Ces systèmes d'enregistrement sont appelés systèmes d'enregistrement passifs (voir figure 10, à gauche).



Fig. 10 : Systèmes d'enregistrement passifs et actifs de l'observation de la Terre.

Les systèmes d'enregistrement actifs utilisent une autre méthode. Ceux-ci émettent activement des micro-ondes en direction de la surface terrestre et récupèrent ensuite la partie du rayonnement qui a été réfléchi par la surface terrestre (voir figure 10, à droite).

Une autre caractéristique distinctive des systèmes d'enregistrement pour l'observation de la Terre est la technique de transport. Dans l'observation terrestre aéroportée, le système d'enregistrement est fixé à l'avion. Ces systèmes d'enregistrement fonctionnent avec une grande précision et ont également une très haute résolution spatiale en raison de leur faible distance par rapport à la surface de la Terre. Toutefois, ils ne peuvent survoler qu'une petite partie de la surface terrestre, de sorte qu'ils sont généralement utilisés pour des études spéciales.

2.3 Qu'est-ce que la résolution ?

2.3.1 Résolution spatiale

Les différentes cellules de la grille sont appelées pixels. La taille de la surface qui peut être représentée dans un pixel dépend de la performance du capteur. Une résolution spatiale élevée permet de voir plus de détails. La figure 11 l'illustre bien.

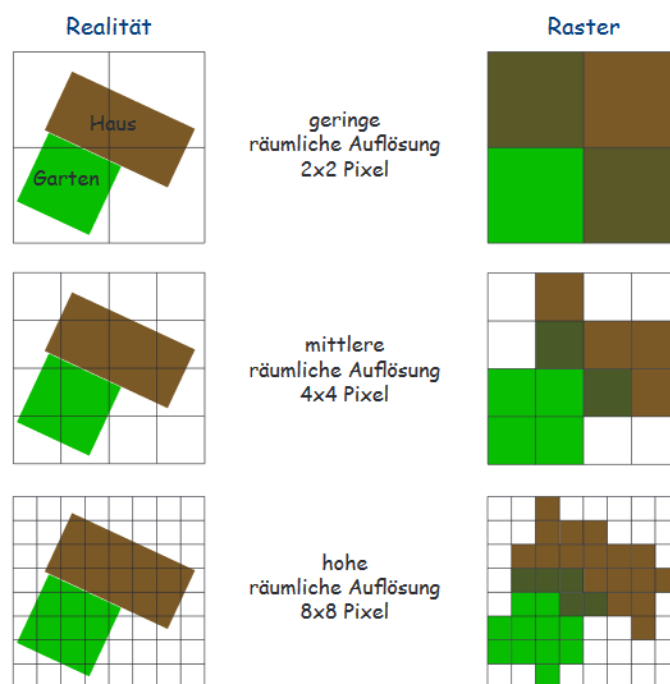
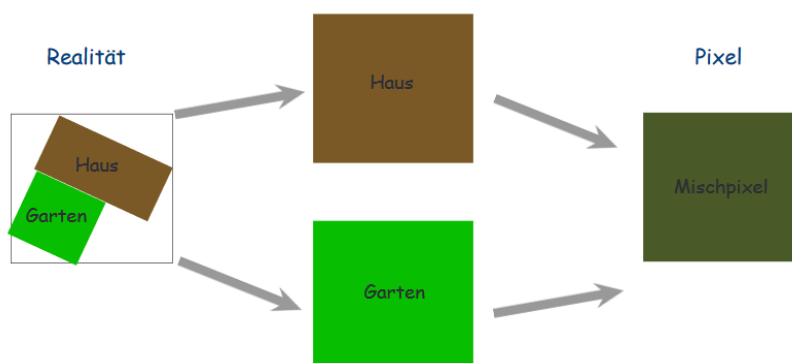


Fig. 11 : Différences de résolution spatiale.

Il est presque inévitable que plusieurs objets doivent être représentés dans une seule et même zone et qu'ils apparaissent donc ensemble dans un pixel. La figure 12 montre comment les parties colorées des objets se mélangent et forment un pixel mixte. Plus la résolution spatiale est faible, plus les pixels mixtes sont nombreux et moins les objets sont différenciables les uns des autres.

Fig. 12 : Formation de pixels mixtes



2.3.2 Résolution temporelle

Outre la résolution spatiale, la résolution temporelle joue également un rôle important. Elle indique l'écart de temps entre deux prises de vue de la même zone. Selon la définition de l'orbite du satellite, cet écart peut varier de 15 minutes à plusieurs semaines. Cela dépend de l'objectif du satellite et influence également la résolution spatiale. Étant donné que la surface terrestre peut changer rapidement et de manière étendue, par exemple à la suite de catastrophes naturelles, une résolution temporelle élevée est également importante.

2.3.3 Résolution spectrale

Les capteurs satellites utilisent la lumière réfléchiée par la terre. Mais quelle est la couleur de la lumière ? Pour obtenir la réponse, il suffit de regarder à travers un prisme. La lumière se divise alors entre autres en trois couleurs : rouge, vert et bleu. Toutes les autres couleurs peuvent être composées à partir de ces trois couleurs dites principales. Le jaune, par exemple, se compose de vert et de rouge.

2.4 Pourquoi percevons-nous le monde en couleur ?

Lorsque la lumière visible rencontre des pigments colorés (composants colorants des surfaces), certaines longueurs d'onde sont absorbées et d'autres sont réfléchies. Ainsi, la couleur rouge d'une pomme rouge est due à des pigments qui absorbent la lumière verte et bleue et réfléchissent la lumière rouge. En revanche, les feuilles vertes absorbent la lumière rouge et bleue, mais réfléchissent la lumière verte.

Les pigments blancs réfléchissent les trois longueurs d'onde avec la même intensité, tandis que les pigments noirs absorbent complètement les trois longueurs d'onde. Toutes les autres couleurs résultent de l'interaction entre la lumière rouge, verte et bleue. Ainsi, seuls les objets qui nous entourent colorent la lumière du soleil, qui est en fait blanche, et font apparaître le monde en couleurs.



Fig. 13: Réflexion et absorption.

Les satellites perçoivent-ils aussi la surface de la Terre en couleur ?

Les capteurs satellites voient la Terre en gris. Cela est dû au fait qu'ils enregistrent chaque gamme de longueurs d'onde séparément dans ce que l'on appelle des canaux. En plus des canaux de lumière visible (rouge, vert, bleu), la plupart des satellites possèdent également des capteurs dans l'infrarouge, invisible pour l'homme, et même dans l'ultraviolet pour certains.

Le nombre de canaux d'enregistrement d'un satellite est appelé résolution spectrale. Plus un capteur d'observation de la Terre possède de canaux, plus la résolution spectrale d'un satellite est élevée.

Dans chaque canal, le satellite crée une image composée de différentes nuances de gris, c'est pourquoi on l'appelle aussi image en niveaux de gris. Si une surface réfléchit beaucoup de lumière rouge, comme par exemple des courts de tennis, cette surface apparaîtra entièrement blanche sur l'image en niveaux de gris du canal rouge et plutôt noire sur celle du canal vert.

2.5 Que peut dire une image satellite ?

2.5.1 Le NDVI

Grâce à la particularité des plantes saines, qui réfléchissent fortement la lumière infrarouge mais presque pas la lumière rouge, il est possible de les repérer et d'examiner leur état à l'aide d'un indice simple sur les images satellites. Cet indice est appelé NDVI (Normalized Differentiated Vegetations Index) et est calculé comme suit :

$$NDVI = \frac{\text{Infraroter Wert} - \text{Roter Wert}}{\text{Infraroter Wert} + \text{Roter Wert}}$$

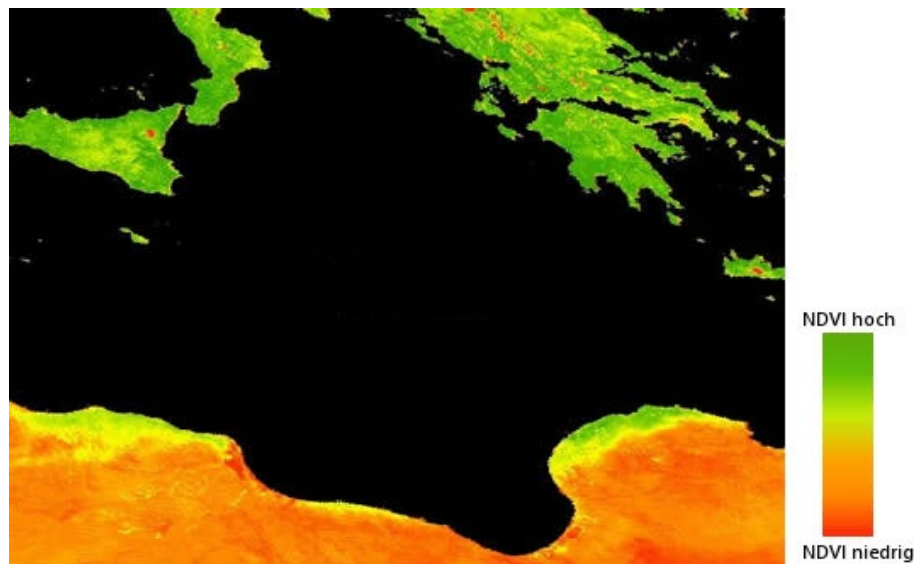


Fig. 14 : Image NDVI de la Méditerranée

2.5.2 Classification

Lorsque des pixels de couleur similaire sont regroupés par thème en classes, on parle de classifications. La figure 15 montre comment l'attribution de valeurs de couleur bleue à l'eau et de valeurs de couleur verte à la végétation peut simplifier l'interprétation des images.

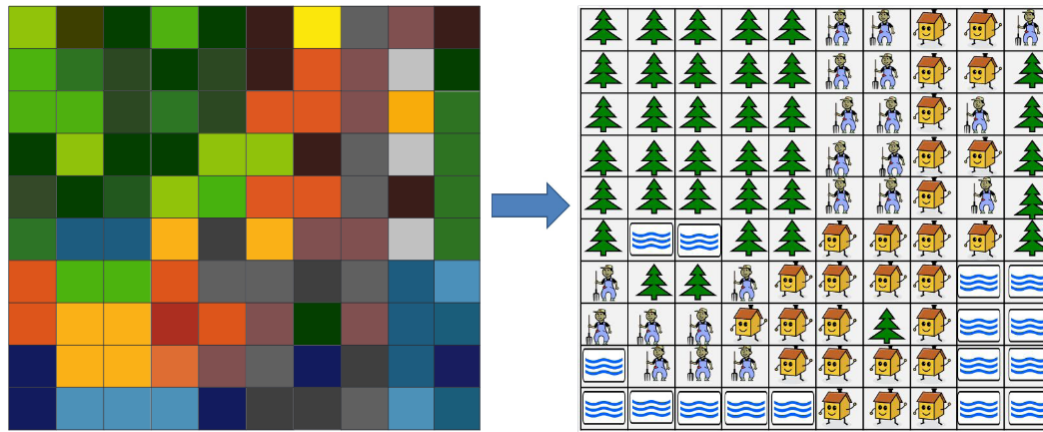


Fig. 15 : Classification sur la base des valeurs de couleur.

La méthode d'observation de la terre de la classification permet de représenter la surface terrestre de manière simplifiée en créant des classes telles que l'habitat, l'eau ou la forêt. On parle désormais de carte thématique.

2.5.3 Analyse du changement

La méthode de la Change Detection (analyse des changements) permet de représenter de manière simplifiée non seulement l'état actuel de la surface terrestre, mais aussi son évolution dans le temps. L'illustration suivante montre deux images satellites classifiées de la région Bonn/Rhein Sieg à deux moments différents. La troisième image montre où le changement s'est produit.

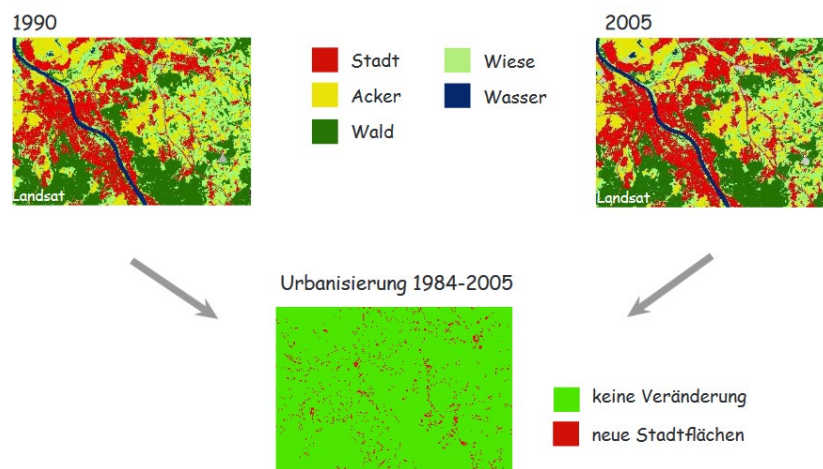


Fig. 16 : La méthode de détection des changements.

3. Copernicus - L'observation de la Terre pour tous !

Copernicus est un programme européen d'observation de la Terre qui met en place une infrastructure performante d'observation de la Terre par satellite. Le programme est coordonné et géré par la Commission européenne afin que la vision politique reste toujours d'actualité et soit développée et que tous les éléments nécessaires soient disponibles. L'Agence spatiale européenne (ESA) est responsable de la coordination technique. Les données collectées et traitées sont librement accessibles

à tous les citoyens du monde entier, ce qui permet à Copernicus de contribuer au développement de nouvelles applications et de nouveaux services.

Les services clés du programme sont la surveillance des terres, la surveillance du milieu marin, la gestion des catastrophes et des crises, la surveillance de l'atmosphère, la surveillance du changement climatique et la sécurité. Ces services sont tous basés sur les images satellites de la famille Sentinel, qui sont la propriété de l'UE. Les « missions contributives » fournissent en outre des informations basées sur les satellites de tiers. Les services permettent de traiter et d'analyser les données brutes afin de les rendre utiles aux autorités, aux scientifiques, aux entreprises, aux organisations et aux citoyens.

Copernicus permet d'aborder les problèmes de société auxquels l'humanité est et sera confrontée à l'avenir. Ainsi, les données du programme Copernicus aident à relever les défis mondiaux tels que le changement climatique, les catastrophes naturelles ou la croissance démographique. En poursuivant le traitement des données et en développant le savoir-faire pour leur utilisation, le programme mise également sur un élargissement constant des champs d'application par la recherche et l'économie.

Les liens suivants permettent d'obtenir des informations sur Copernicus :

Brochure officielle « Copernicus : La Terre vue par l'Europe » :

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2018-10/Copernicus_brochure_FR_web_Oct2017.pdf

Le site web de Copernicus: <https://www.copernicus.eu/fr>

Sentinel-Online: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>

Copernicus pour la surveillance de l'environnement (en allemand):

https://www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Tutorial_Copernicus_online.pdf

3.1 Services

Atmosphère (engl.: Atmosphere Monitoring Service): Depuis juin 2015, des données sur la composition de l'atmosphère sont régulièrement fournies dans le cadre de ce service. Les gaz à effet de serre, les gaz réactifs, l'ozone et les aérosols sont des composants de l'atmosphère sur lesquels des données sont fournies. La situation passée, présente et future est décrite. Le service de surveillance de l'atmosphère se concentre sur cinq domaines principaux - la qualité de l'air et la composition atmosphérique, la couche d'ozone et le rayonnement ultraviolet, les émissions, le rayonnement solaire et les influences climatiques. Un partenaire de coopération important est le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET).

Catalogue du service de surveillance de l'atmosphère :

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_AtmosphereMonitoring_Feb2017.pdf

Environnement marin (angl. : Marine Environment Monitoring Service) : Sous ce service, des données sur l'état physique et biogéochimique, la variabilité et la dynamique de l'océan et des écosystèmes marins sont régulièrement fournies depuis mai 2015. Les données obtenues peuvent notamment contribuer à la sécurité en mer, par exemple en analysant et en prévoyant les courants et les vents. D'autres domaines d'application sont la protection des ressources marines vivantes et les applications dans l'environnement côtier et marin. Les rapports annuels sur l'état de l'océan permettent de prévoir les tendances de la santé des océans en raison du changement climatique. Le partenaire de coopération pour ce service est Mercator-Océan.

Catalogue du Service de surveillance de l'environnement marin :

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_MarineMonitoring_Feb2017.pdf

Service de surveillance des terres (angl. : Land Monitoring Service) : Depuis 2012, ce service permet de collecter des données sur l'occupation des sols, l'utilisation des terres, l'état de la végétation et le cycle de l'eau, par exemple. Ces données peuvent aider à l'aménagement du territoire, mais aussi à l'agriculture, à la gestion de l'eau et à la protection de la nature. Le service de surveillance des terres se compose de cinq éléments principaux : La surveillance systématique des paramètres biophysiques (par exemple, l'humidité du sol), la cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol (par exemple, les zones urbaines et les zones agricoles), la cartographie thématique des points chauds, les images et les données de référence (par exemple, l'hydrographie et les profils d'altitude). Une autre composante est en cours d'élaboration, il s'agit d'une nouvelle activité européenne de mouvement de terrain (par ex. glissements de terrain). Cette composante mesure les mouvements du sol et la déformation des infrastructures. L'Agence européenne pour l'environnement est un partenaire de coopération important.

Catalogue du service de surveillance des terres :

<https://www.copernicus.eu/sites/default/files/Copernicus%20Land%20Monitoring%20Service%20factsheet%20status%20October%202018.pdf>

Changement climatique (en anglais : Copernicus Climate Change Service, C3S) :

Ce service rassemble des informations sur le climat passé, présent et futur. L'objectif est de soutenir la politique d'adaptation et de réduction des risques de l'UE. Les données collectées sont utilisées par exemple pour évaluer l'impact du changement climatique sur la biodiversité dans certaines régions, la gestion des risques pour le commerce des matières premières ou la gestion durable de l'eau. Le service sur le changement climatique est un service important pour le Cadre mondial pour les services climatiques (Global Framework for Climate Services - GFCS). Les données climatiques et autres informations sont mises à disposition sur le Climate Data Store (CDS) et sont accessibles à tous les utilisateurs. Ce service est une offre complémentaire aux services météorologiques et environnementaux déjà existants de l'UE.

Le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMET) met en œuvre le C3S en tant que partenaire de coopération.

Stockage des données climatiques (en anglais : Climate Data Store, CDS) :

<https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home>

Sécurité (depuis 2015) : Trois domaines caractérisent le service de sécurité (angl. : Security Service). La surveillance des frontières, la surveillance maritime et le soutien à la politique extérieure de l'UE. La surveillance des frontières vise à réduire le nombre d'immigrés clandestins, à diminuer le nombre de décès dus à l'immigration clandestine en mer, à renforcer la sécurité intérieure de l'UE et à lutter contre la criminalité transfrontalière. En matière de surveillance maritime, les tâches consistent à soutenir la sécurité maritime européenne. Cela concerne entre autres la sécurité de la navigation, mais aussi le soutien au contrôle de la pêche et la lutte contre la pollution marine. Le dernier domaine est le soutien à la politique extérieure, qui vise à aider les pays tiers dans les situations de crise et à prévenir les menaces globales et transrégionales.

Les partenaires de coopération sont la Commission européenne FRONTEX (Garde-côtes européens), l'Agence européenne pour la sécurité maritime (EMSA) et le Centre satellitaire de l'Union européenne (EU SAtCen).

Catalogue du service de sécurité :

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Security_October2017.pdf

Gestion des catastrophes et des crises (en anglais : Emergency Management Service, EMS) : Ce service permet aux utilisateurs autorisés de demander des cartes et des analyses de crises. Des données sont disponibles à tous les moments d'une crise (avant, pendant et après une crise). Ces données sont basées sur des images satellites prises après une catastrophe et contiennent des informations sur l'étendue spatiale, par exemple. Ces données peuvent en outre être utilisées pour analyser la vulnérabilité et les risques. Il peut s'agir, entre autres, de catastrophes dues à des inondations, des tremblements de terre, des incendies de forêt et des crises humanitaires. Les images permettent de mieux représenter la situation et d'aider les gestionnaires de crise à prendre des décisions. Après une crise, il est possible de suivre et d'analyser les progrès des mesures de reconstruction. Les produits de l'EMS peuvent être demandés au Centre commun d'annonce et de suivi de la situation de l'État fédéral et des Länder (GLMZ).

Catalogue de l'Emergency Management Service :

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Security_October2017.pdf

<https://emergency.copernicus.eu/>

3.2 Dataspace

L'écosystème Copernicus Dataspace est un système en libre accès qui permet notamment d'accéder aux données des missions Sentinel. Le navigateur est facile à utiliser. Il permet de rechercher, de visualiser et de télécharger des données satellites.

Les services sont « Explore Data », « Analyse » et « Ecosystem » : Explore Data donne accès à un large éventail de données d'observation de la Terre issues des missions Sentinel. Le service d'analyse fournit une analyse des données de l'environnement. Il donne accès à une série d'outils de traitement des données de haute qualité. Les utilisateurs peuvent accéder à des ensembles de données d'observation de la Terre via des services web tels que openEO et SentinelHub. Des catalogues de produits permettent également de filtrer des ensembles de données spécifiques. L'écosystème réunit des outils et des ressources pour exploiter pleinement le potentiel de ces données. Cela permet de créer un écosystème en pleine croissance qui augmente l'impact des données d'observation de la Terre.

Site officiel : <https://dataspace.copernicus.eu/>

Vidéo Youtube (du site officiel) : <https://youtu.be/Am93Xi0PZ5o>

3.3 SNAP

SNAP (ESA Sentinel Application Platform) est un programme mis gratuitement à disposition par Copernicus et développé par Brockmann Consult, Skywatch, Sensar et C-S. Il permet d'utiliser les données de l'ESA dans le cadre d'un projet de recherche. Le programme et les boîtes à outils permettent de traiter et d'analyser les données d'observation de la Terre. SNAP peut être téléchargé et utilisé par tous sans frais.

Page d'information de l'ESA : <https://earth.esa.int/eogateway/tools/snap>

Lien pour le téléchargement : <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>

3.4 Traitement des données via le hub Dataspace

3.4.1 Example – Change Detection

1. Va sur <https://dataspace.copernicus.eu/> et maintiens le curseur de la souris en haut au milieu sur *Explore Data*. Clique sur *Copernicus Browser* dans le menu pop-up.
2. Enregistre-toi ou connecte-toi à Copernicus Browser (c'est gratuit et sans publicité !)
3. Clique sur l'onglet *RECHERCHE* dans le coin supérieur gauche pour accéder à la zone de téléchargement
4. Clique dans le coin supérieur droit dans le champ Go to *Place* et tape *Zhoukou*. (Le Zh se prononce d'ailleurs comme un sh doux).
5. Clique sur *Zhoukou, Chine*. La fenêtre devrait maintenant se déplacer vers la Chine. Zoom sur Zhoukou jusqu'à ce que la ville soit bien visible.
6. Active *Sentinel-2* dans le menu Liens sous Jeux de données, puis *MSI* (Multi-Spectral Instrument) dans le sous-menu, et enfin *L2A* pour une image corrigée de l'atmosphère. Déplace le curseur de la couverture nuageuse à *10%*.
7. Étant donné qu'un laps de temps aussi long que possible entre les deux périodes est nécessaire pour la comparaison afin de mieux voir les changements, deux périodes doivent être explorées successivement. Les données les plus anciennes utilisables pour Zhoukou ont été enregistrées en avril 2017. Sélectionne la période du 01 au 30 avril 2017, c'est-à-dire de *2017-04-01 à 2017-04-30*, et clique sur *Rechercher*.

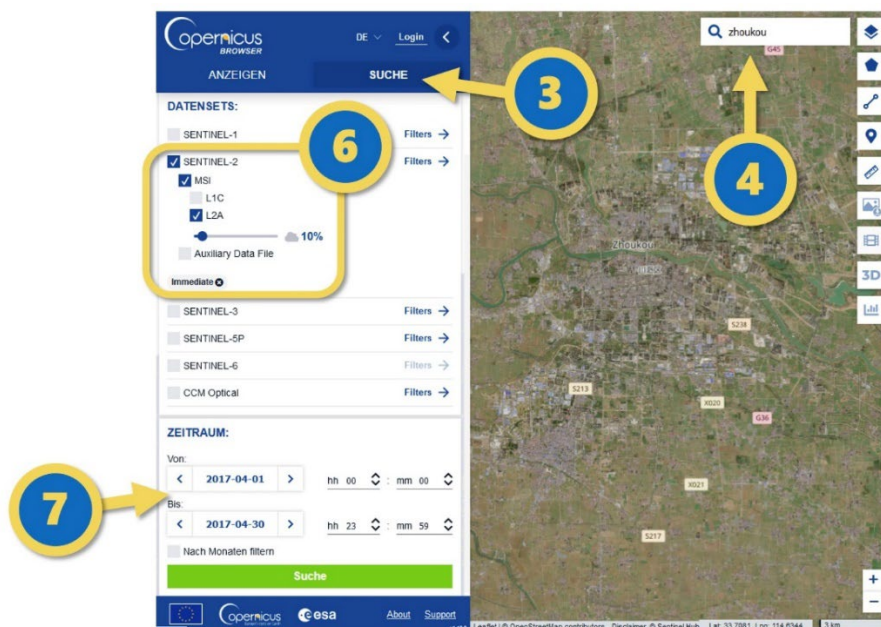


Fig. 17 : Sélectionner le lieu à examiner.

8. Une liste de résultats de recherche devrait s'afficher, qui se recoupent près de Zhoukou. Clique sur l'une des scènes pour en voir les détails. Les noms des scènes ne diffèrent que très peu, car

elles proviennent de la même bande d'enregistrement. Télécharge ensuite la scène *S2A_MSIL2A_20170428T030541_N0500_R075_T50SKC_20231114T174920.SAFE*.

9. 9. répète la recherche De *2024-04-01* À *2024-04-30*. Commence par la date À, car il n'est pas possible de définir une date De après la date À.
10. Télécharge la scène qui est sans nuages et qui chevauche la dernière scène téléchargée : *S2B_MSIL2A_20240426T030519_N0510_R075_T50SKC_20240426T062656.SAFE*

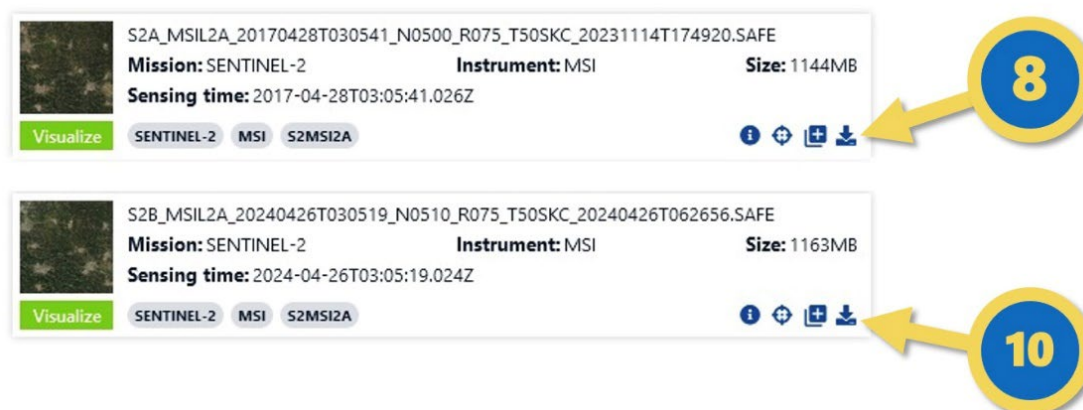


Fig. 18 : Sélectionner les scènes.

11. Décompresse les deux fichiers dans ton dossier de travail.

Explore les images dans SNAP et découpe-les (*sous-ensembles*) :

12. Lance le *SNAP*.
13. Clique sur l'icône du dossier pour ouvrir les fichiers. Navigue jusqu'au dossier dans lequel ils ont été décompressés et, à l'intérieur de chaque *dossier.SAFE*, jusqu'à *MTD_MSIL2A.xml*.

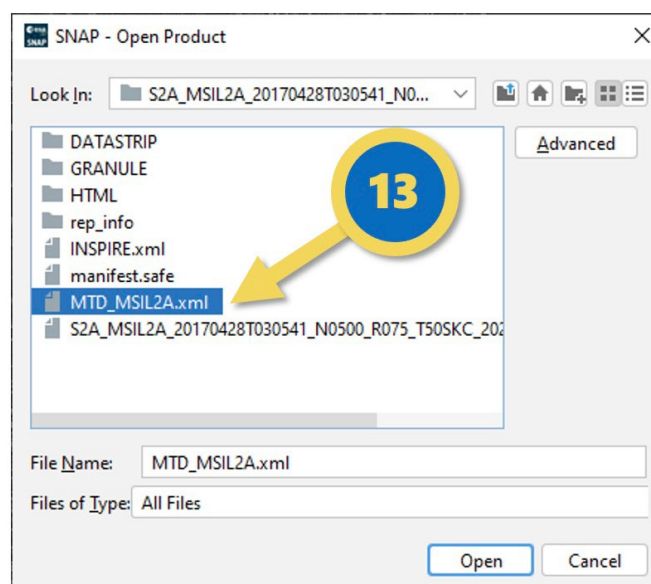


Fig. 19 : Ouverture des fichiers.

14. Cliquez avec le bouton droit de la souris sur chacun des noms de scène et sélectionnez *open RGB Image Window*. Assure-toi que le profil *Sentinel 2 MSI Natural Colors* est défini et que les paramètres Red *B4*, Green *B3*, Blue *B2* sont définis. Clique ensuite sur *OK*.

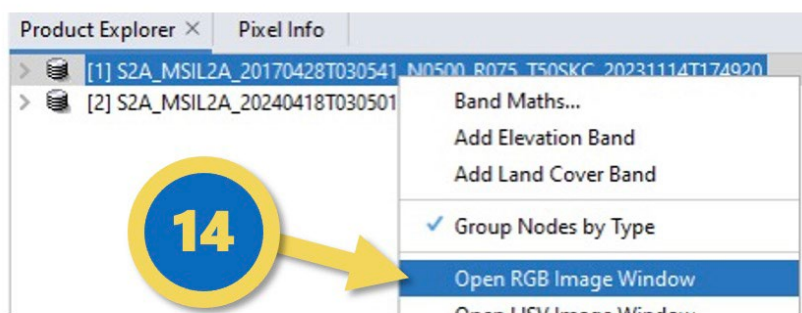


Fig. 20 : Ouverture des fichiers.

15. Explore les deux images côte à côte en cliquant tout en haut sur *Tile Horizontally* dans la barre d'outils en haut. → *symbols*
16. Étant donné que la classification de la scène dans sa taille complète prendrait beaucoup de temps à traiter, il faut sélectionner un *Subset*. Pour cela, clique sur Grille dans la barre de menu, puis sur *Subset*.
17. L'onglet Spatial Subset permet de définir les dimensions du subset. Comme les deux scènes se chevauchent complètement, les mêmes paramètres peuvent être utilisés ici pour les deux scènes. La bande de *référence* est *B1*. Définissez le *subset* suivant comme Pixel *coordinates*.

Début de scène X : 4490

Début de scène Y : 1000

Fin de scène X : 5489

Fin de scène Y : 1999

Cela recoupe la scène dans une région rurale appartenant à l'unité administrative de Zhoukou. Ici, plusieurs petites villes se fondent les unes dans les autres.

En 2010, la région représentée comptait environ 340 000 EH.

(https://www.citypopulation.de/de/china/townships/zhoukou/411627__t%C3%A0ik%C4%81ng_xi%C3%A0n/)

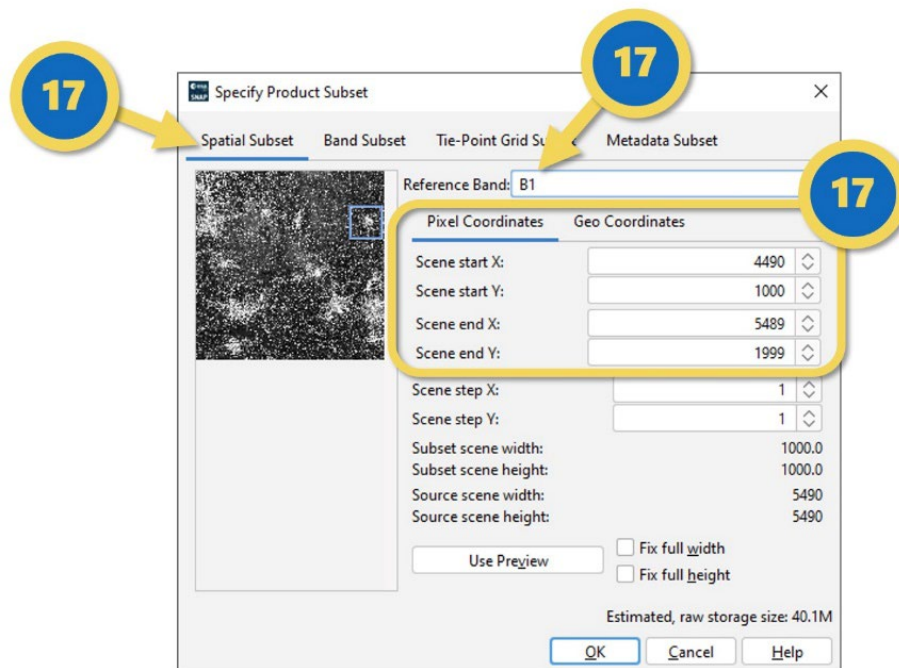


Fig. 21 : Réglages du subset spatial.

18. Les données peuvent être sélectionnées dans l'onglet *Band Subset*. Pour la classification, seules les réflectances sont nécessaires, et encore, pas toutes. Pour cet exemple, les bandes 2-8 et 11-12 sont utilisées, c'est-à-dire la lumière visible et proche de l'infrarouge avec une résolution de 10 et 20 mètres. Clique sur *Select none* et sélectionne à nouveau B2-B8 et B11-B12.

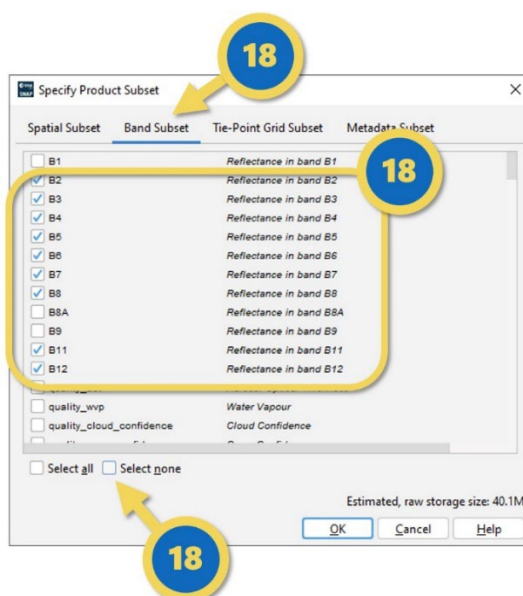


Fig. 22 : Classification du sous-ensemble de bandes.

19. Les indications dans les onglets *Tie-Point Grid Subset* ne sont pas nécessaires ici et peuvent également être désactivées. Le *Metadata Subset* ne peut pas être modifié. Clique sur OK. Le *subset* apparaît dans le *Product Explorer*. Répète la même chose pour la scène de 2024.

20. Les algorithmes de classification courants sont faits pour des bandes de même résolution et de même étendue. Comme certaines de nos bandes ont une résolution de 10 et d'autres de 20 m, les bandes de 10 m doivent être *rééchantillonnées/resampled*. Pour cela, aller sur *Raster, Geometric, Resampling*.

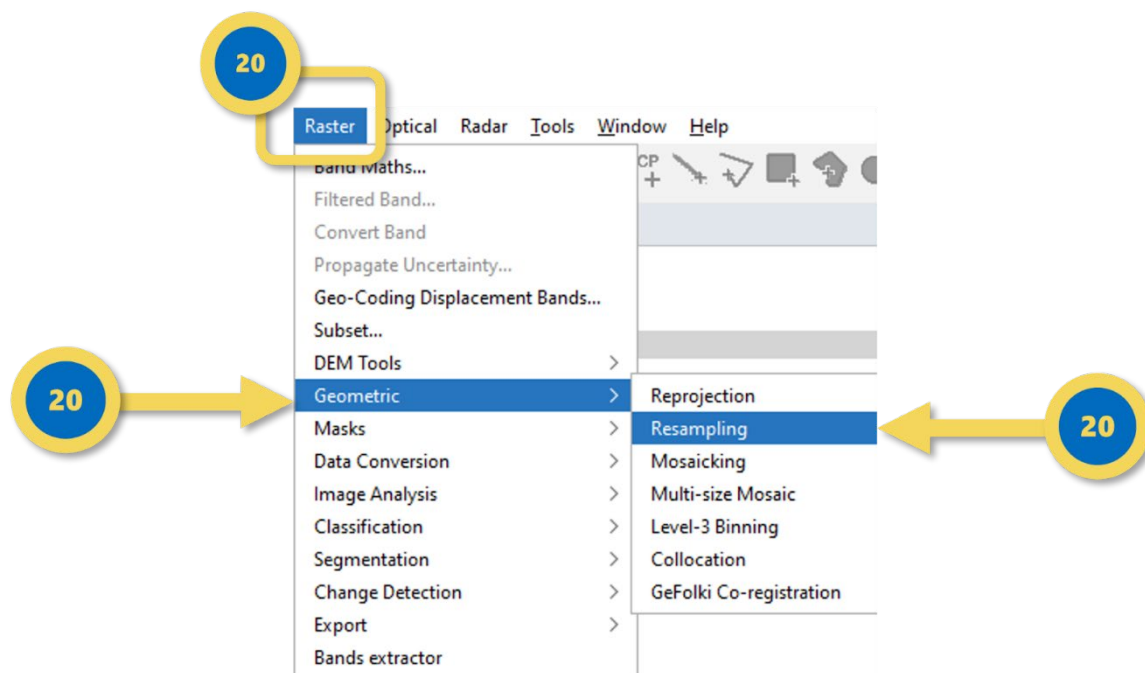


Fig. 23: Resampling.

21. Sélectionne le *Subset* de 2017 dans les *paramètres I/O*. Le pas actuel est ajouté au nom du *Target Product*, mais tu peux aussi l'abrégé, par exemple en *S2A_MSIL2A_20170428T030541_Zhoukou_20m*.
22. Dans les *paramètres de rééchantillonnage*, sous *Define size of resampled product*, à côté de *By reference band from source product B5*, sélectionne.
23. Sous *Define resampling Algorithm*, sélectionne la *méthode de sous-échantillonnage Mean*. Cliquez sur *Run*. Répétez le *rééchantillonnage* pour le *Subset* de 2024.
24. Les algorithmes de classification ne fonctionnent que pour les scènes en projection géographique Lat/Lon. Clique sur *Raster, Geometric, Reprojection*. Fig. 23 sur le Resampling.
25. Sous *I/O-Parameters*, sélectionne comme *Source Product* le *Subset Resampling*. Ici aussi, l'étape de traitement est ajoutée à la fin, ce que tu peux modifier si nécessaire. Décoche la case *Save as*.
26. Sous *Reprojection Parameters* à *Custom CRS*, assure-toi que « *Geographic Lat/Lon (WGS 84)* » est réglé. Tous les autres paramètres peuvent également être laissés tels quels. Cliquez sur *Run*. Répétez la *reprojection* pour le *sous-ensemble* de 2024.
27. Ouvrez les deux en tant qu'*image True Color* dans *SNAP*.
28. À cause de la reprojection, les deux scènes sont maintenant « de travers ». Lors de la classification, les coins vides seraient tout de même classés. Pour éviter cela, ils peuvent être coupés. Exécute à nouveau l'étape *Subset* avec les deux scènes, mais avec les pixels *coordinates*.

Scene start X : 50

Scene start Y : 50

Scene end X : 1149

Scene end Y : 949

Les bandes et les métadonnées restent cette fois-ci les mêmes.

29. Lorsque tu as recadré, *ré-échantillonné*, *reprojeté* et recadré les deux scènes avec succès, enregistre les deux scènes. Ouvre les deux scènes en tant que *True Color RGB*. Marque toutes les autres versions des scènes dans le *Product Explorer*, clique droit dessus et *Close [X] products*. Il n'est pas nécessaire de les enregistrer. Cela libère de la mémoire qui sera nécessaire dans les étapes suivantes.

Classification:

SNAP propose plusieurs méthodes de classification au choix. Il y a la classification non supervisée, dans laquelle le logiciel décide lui-même de ce qui va ensemble, ou la classification supervisée, dans laquelle les utilisateurs indiquent ce qui va ensemble. L'inconvénient de la classification non supervisée est qu'elle n'est pas comparable. Des résultats de classification grossièrement différents peuvent ainsi être obtenus entre deux scènes. Pour comparer deux périodes, il faut donc généralement une classification supervisée.

30. Pour la classification supervisée, le logiciel a besoin d'exemples de ce qui appartient à telle ou telle classe de surface, par exemple les surfaces bâties, les friches, la végétation et l'eau. Dans l'image satellite en couleurs réelles, il n'est pas toujours facile de les distinguer. Comme alternative à l'image en couleurs réelles, tu peux aussi utiliser d'autres couleurs spectrales en sélectionnant un autre profil dans l'affichage RGB, par exemple *Healthy Vegetation*, dans lequel les plantes s'allument en rouge.

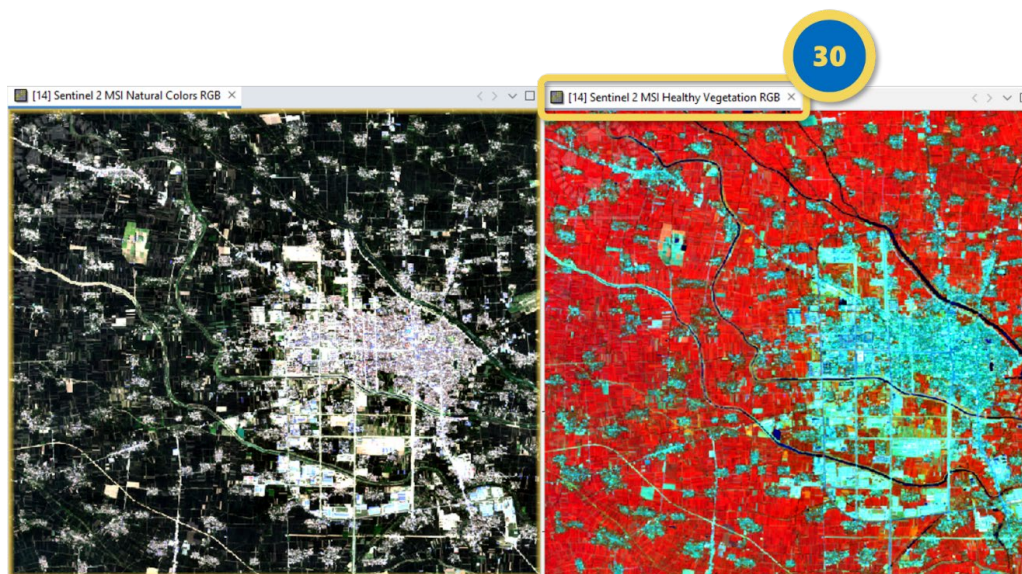


Fig. 24 : Image de couleur spectrale.

31. Les exemples ne doivent pas contenir de pixels d'une autre classe. Ces exemples sont créés en tant que vecteurs. Pour cela, clique sur *New Vector Data Container* dans la barre d'outils en haut et donne-lui un nom.
32. Utilise les *boutons polygones*, (à symboles) pour marquer successivement de petites zones d'exemple pour chaque classe. Quelques centaines de pixels par classe suffisent. Ne commence pas une nouvelle classe tant que tu n'es pas satisfait de ta sélection pour la classe précédente, car le passage d'une classe à l'autre est compliqué dans *SNAP*.
33. Pour chaque classe, veille à n'utiliser que des exemples de zones dont tu es absolument sûr(e) qu'elles sont correctes. Veille également à ce que les zones restent « pures », c'est-à-dire que tu n'inclues pas d'arbres dans le quartier, de routes dans les champs, de bateaux dans l'eau, ni d'espaces verts dans les friches.

Chaque pixel compte !

Quelques conseils :

En Chine, les toits rouges et bleus sont considérés comme porte-bonheur. Inclus-les dans ta classe de ville, mais fais attention aux arbres qui se trouvent entre eux. Les grandes surfaces industrielles conviennent aussi bien aux zones urbaines.

34. Si tu as quelques exemples de zones pour les quatre classes (5-6 petits polygones par classe suffisent !), enregistre-les en faisant un clic droit dessus et en choisissant *Save Product*.
35. Crée de nouvelles zones d'exemple dans l'autre scène. Veille à ce qu'il s'agisse des mêmes classes et qu'elles soient créées dans le même ordre. Les polygones eux-mêmes peuvent se trouver plus ou moins aux mêmes endroits que dans la première scène, mais seulement si rien n'a vraiment changé à cet endroit.
36. Lorsque les deux scènes sont enregistrées avec leurs zones d'exemple, clique sur *Grille, Classification, Classification supervisée, Random Forest Classifier*.

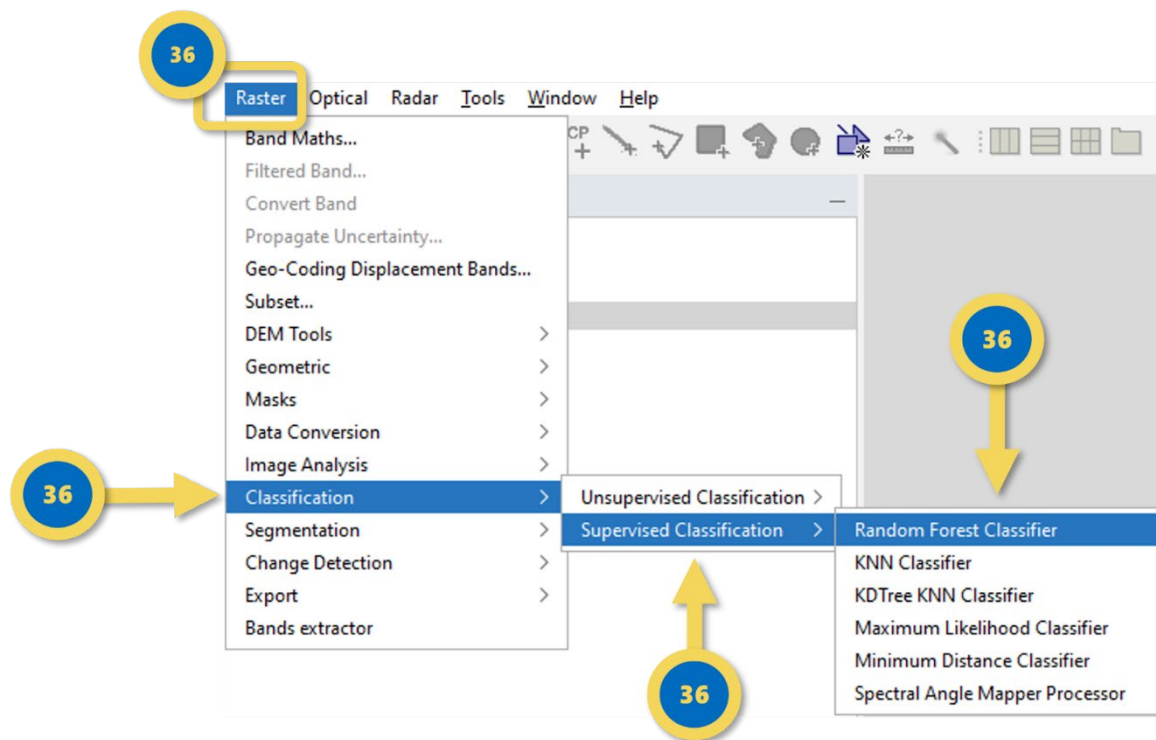


Fig. 25: Trouver une classification.

37. Dans la fenêtre qui s'ouvre, sélectionne via le grand + la scène que tu veux classer et navigue vers le Subset reprojecté de 2017.
38. Va dans l'onglet Random Forest Classifier. Dans la section Classifieur, le Number of training samples peut être réduit à 1000.
39. Sous Vector Training, sélectionne toutes les classes en cliquant sur la première, puis en maintenant la touche shift enfoncée, clique sur la classe la plus basse. Répétez la même chose pour la Feature Selection pour les bandes 2-12.

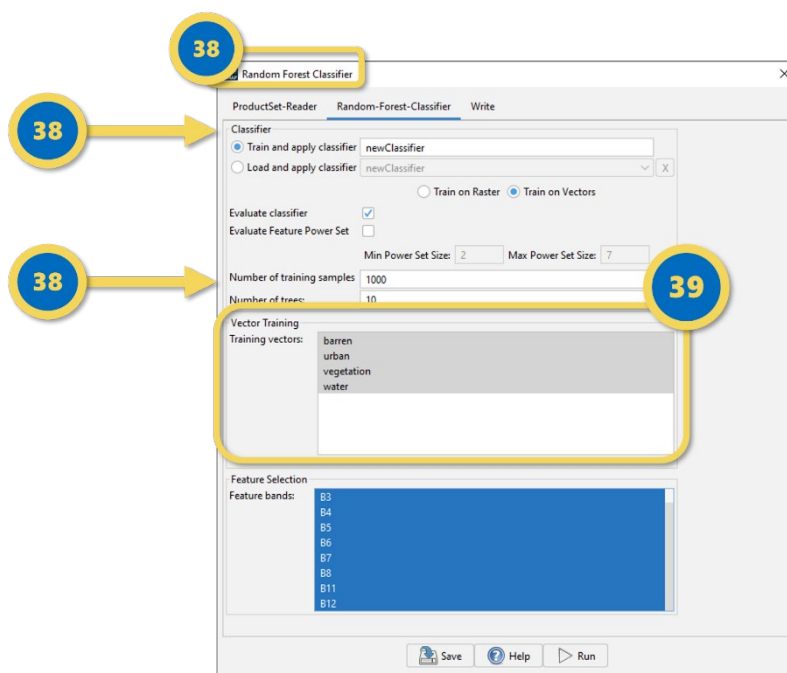


Fig. 26: Random Forest Classifier.

40. A sur l'*onglet Write* et vérifie que le *Target Product* a un nom que l'on peut trouver et qu'il est écrit dans le bon dossier (dans lequel se trouvent déjà les autres données). Clique ensuite sur *Run*.
41. Répète le même processus pour l'autre scène avec les zones d'exemple de 2024. ouvre ensuite les *Labeled Classes* pour les deux fichiers en double-cliquant sur la bande dans le *Product Explorer*.
42. En dessous du *Product Explorer*, tu devrais trouver la *Colour Manipulation*. Si ce n'est pas le cas, ajoute-la en cliquant sur *View → Tool Windows → Color Manipulation* dans le menu tout en haut.
43. Dans la *Colour Manipulation*, tu peux maintenant donner à chaque classe une couleur appropriée en cliquant sur le champ de couleur. Tu peux utiliser une des couleurs présélectionnées ou cliquer sur *More* et choisir d'autres couleurs, par exemple pour les champs de l'onglet RGB, le vert avec le code couleur *00B400*.

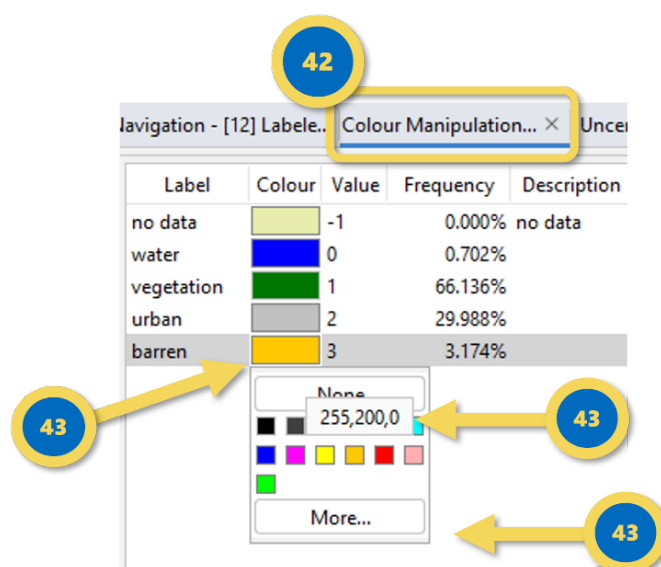


Fig. 27: Colour Manipulation.

44. Donne les mêmes couleurs aux mêmes classes dans les deux scènes.
45. Compare la *Fréquence* entre les deux scènes. Comment les surfaces totales des champs et de la ville ont-elles évolué au cours des 7 années ?
46. Compare la surface urbaine entre 2017 et 2024.

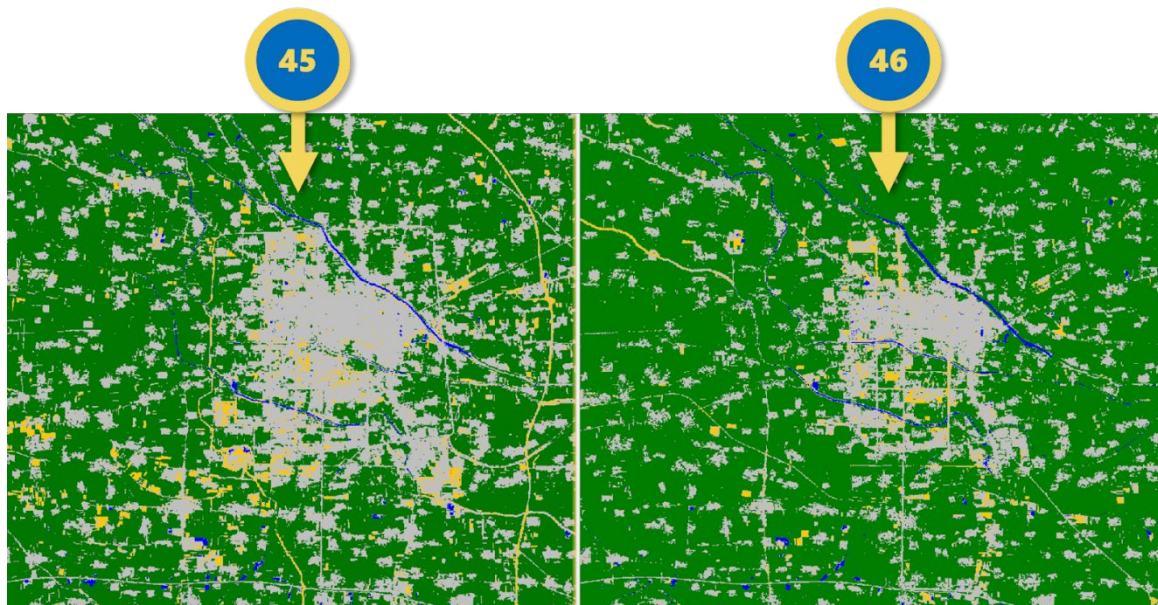


Fig. 28: Résultats.

Résultat de la classification dans notre exemple :

Class	Couleur	Fréquence en 2017	Fréquence 2024
Eau	Blue	0,75%	0,7%
Vegetation	Green	77,7%	66,1%
Urbain	Grey	19,9%	30%
Jachère	Yellow	1,7%	3,2%

Entre avril 2017 et 2024, environ 10% de la surface étudiée a été construite. La surface bâtie a ainsi été multipliée par une fois et demie. Dans le même temps, la surface plantée a occupé 11,5% d'espace en moins dans la zone étudiée. La part des friches a presque doublé, passant de 1,7 à 3,2%. En y regardant de plus près, on constate qu'en 2024, de nombreux champs situés au sud-ouest de la scène sont également en friche, peut-être actuellement récoltés ou fraîchement plantés, contrairement aux friches situées en zone urbaine ou le long de longs tronçons peu denses, qui sont probablement des chantiers. La proportion et la répartition des surfaces en eau n'ont que peu évolué et sont probablement dues à des niveaux d'eau différents dans les cours d'eau.

Au total, entre 2017 et 2024, environ 10% de la zone d'étude est passée d'une zone plantée à une zone construite.

Remarque : pour une étude scientifique précise, d'autres analyses statistiques seraient nécessaires ici, mais elles nécessiteraient un tutoriel spécifique.

3.4.2 Exemple de biologie - football - gazon synthétique vs. gazon naturel

Le NDVI nous donne des informations sur la santé des plantes dans un domaine. Ces caractéristiques permettent non seulement de savoir si les plantes sont saines ou non, mais aussi si la zone d'intérêt contient réellement de vraies plantes. Ce n'est pas toujours évident - certains terrains de football ne sont pas en gazon naturel mais en gazon artificiel, un matériau de substitution synthétique et résistant. Sur une image satellite en couleurs réelles, il est toutefois difficile de faire la différence, car le gazon synthétique est également coloré en vert - et il est même souvent nettement plus vert que le vrai gazon. En revanche, si l'on utilise l'indice de végétation NDVI, il apparaît clairement que le gazon naturel reflète davantage la lumière dans la zone proche de l'infrarouge que son substitut.

Acquisition de données :

Sentinel-2 couvre le spectre visible, le proche infrarouge et l'infrarouge avec 13 bandes. Le NDVI peut être calculé à partir des données du satellite Sentinel-2 et plus précisément de ses bandes rouge et proche infrarouge.

Cette comparaison des couleurs réelles et du NDVI peut être effectuée directement dans le navigateur Dataspace Copernicus. Pour ce faire, nous utilisons l'interrogation des données et l'analyse interne du logiciel en ligne.



Fig. 29: Couleurs réelles vs. image NDVI



Fig. 30: Navigateur Dataspace Copernicus Requête d'images satellites

1. Navigue sur browser.dataspace.copernicus.eu et connecte-toi ou inscris-toi gratuitement sur le site pour pouvoir utiliser toutes les fonctions.
2. Clique sur le champ de recherche en haut à droite et entre « Kapfenberg Austria ».
3. Clique sur SEARCH pour spécifier la recherche de satellites
4. Sélectionne Sentinel-2 et une couverture nuageuse faible (environ 15%). Choisis un intervalle de temps raisonnablement long afin de disposer de suffisamment de jours/d'images satellites avec une faible couverture nuageuse (ill. 30).
5. Clique sur rechercher
6. Sélectionne l'un des résultats en cliquant sur « Visualize » ou adapte tes critères de recherche si nécessaire.
7. Dès que l'image satellite a été visualisée (cela peut prendre un certain temps), sélectionne NDVI sous « Layers ».
8. Clique sur « Add to » et enfin sur « Add to Compare ».
9. Effectue les étapes 7 et 8 également pour la couche « True Color ».

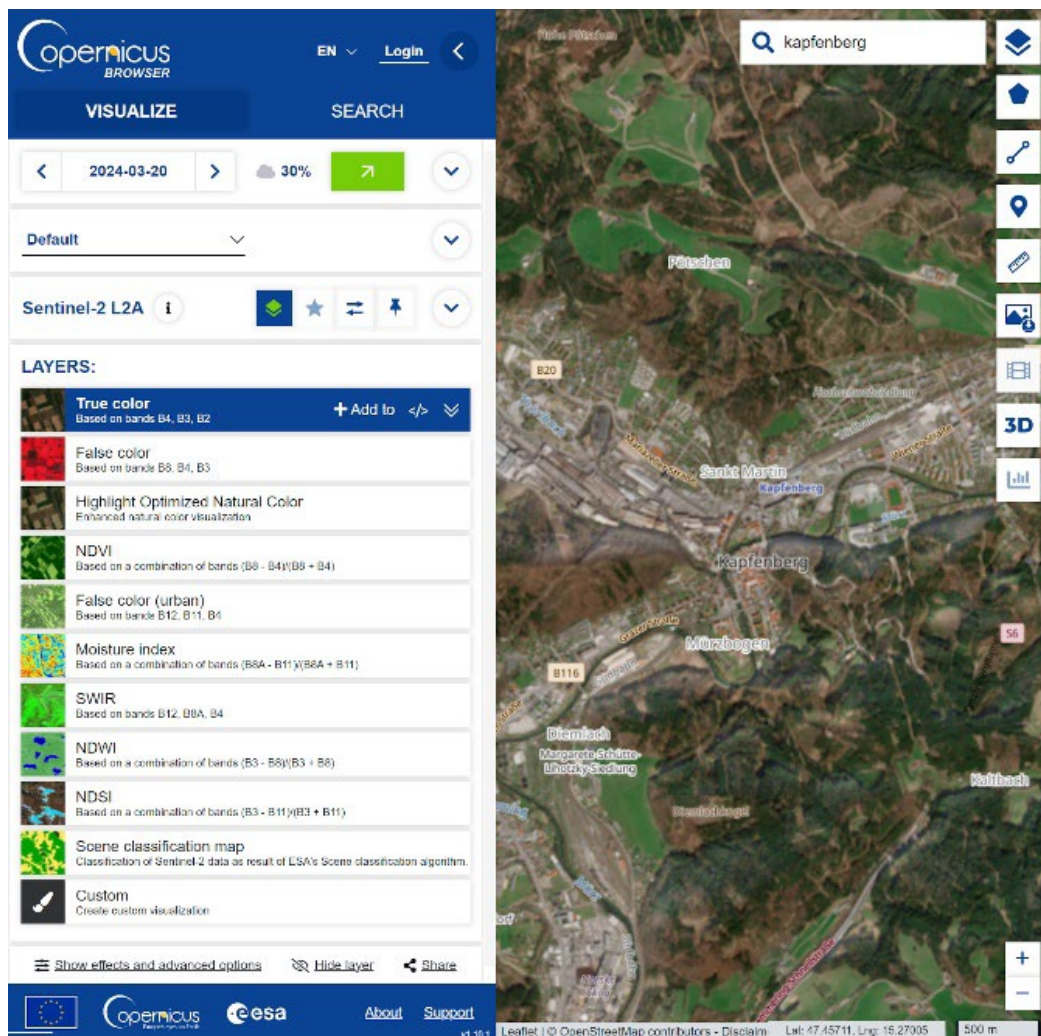


Fig. 31: Choix de la couche du navigateur Dataspace Copernicus

10. Cliquez maintenant sur le « Compare Panel », le bouton avec deux flèches horizontales.
11. À l'aide des curseurs, tu peux maintenant régler l'affichage de manière à pouvoir comparer directement le NDVI à l'image True Color.

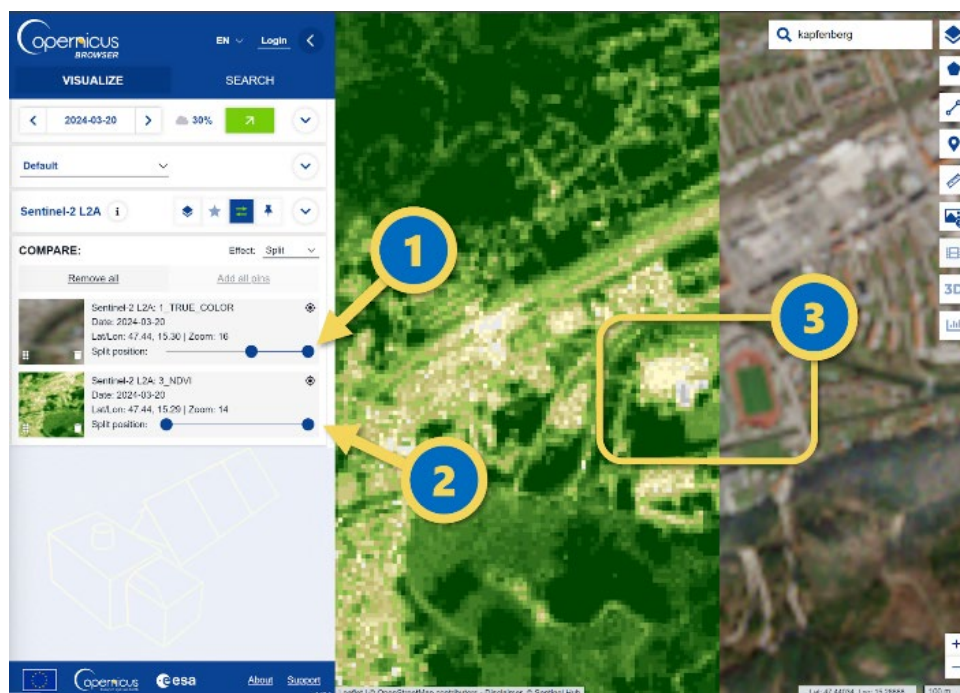


Fig. 32 : Vue comparative du navigateur Dataspace Copernicus

12. Cliquez sur l'icône avec l'image et la flèche pour télécharger l'image représentée.

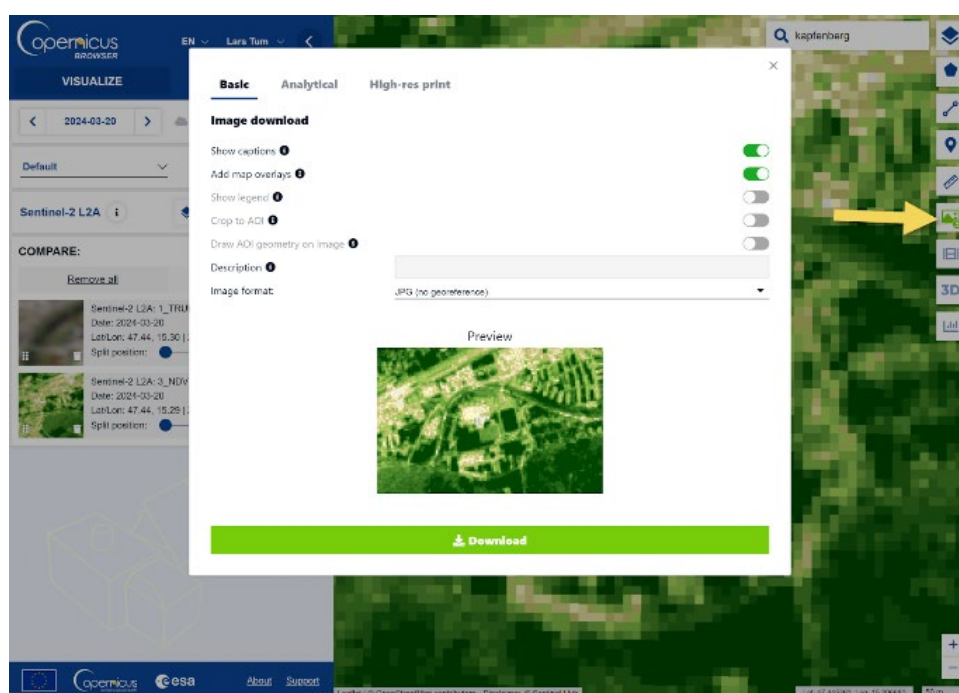


Fig. 33 : Fonction de téléchargement du navigateur Dataspace Copernicus

3.4.3 Exemple de géographie - la chaleur en Espagne

Télécharge les données du navigateur Copernicus :

1. Va sur <https://dataspace.copernicus.eu/> et place le curseur de la souris en haut au milieu sur *Explore Data*. Clique sur *Copernicus Browser* dans le menu pop-up.
2. Enregistre-toi ou connecte-toi au Copernicus Browser (c'est gratuit et sans publicité !)
3. Clique sur l'onglet *RECHERCHE* dans le coin supérieur gauche pour accéder à la zone de téléchargement.
4. Clique sur le champ *Go to Place* dans le coin supérieur droit et tape *Madrid*.
5. Clique sur l'une des options Madrid en Espagne. La fenêtre devrait maintenant se déplacer vers l'Espagne. Zoome plus près du centre du pays jusqu'à ce que Madrid occupe la majeure partie de l'écran.
6. Dans le menu Gauche, sous *Jeux de données*, active *Sentinel-3*, dans le sous-menu *SLSTR* (il s'agit du capteur infrarouge thermique), puis *Level-2 LST* pour la température de surface terrestre (Land Surface Temperature).
7. Pour affiner la recherche, clique sur les « filtres » à côté de Sentinel-3 et active « *Non Time Critical* » et « *Descending* » pour n'obtenir que des images de jour.

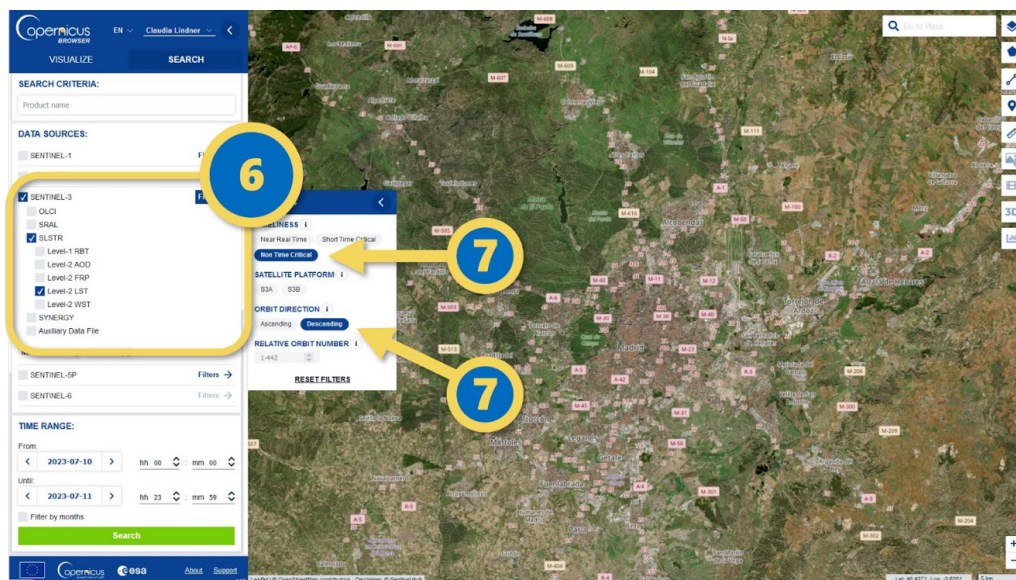


Fig. 34 : Sélection des jeux de données et du filtre Images du jour.

8. Sélectionne la période du 10 au 11 juillet 2023, c'est-à-dire de 2023-07-10 à 2023-09-11 et clique sur *Rechercher*.

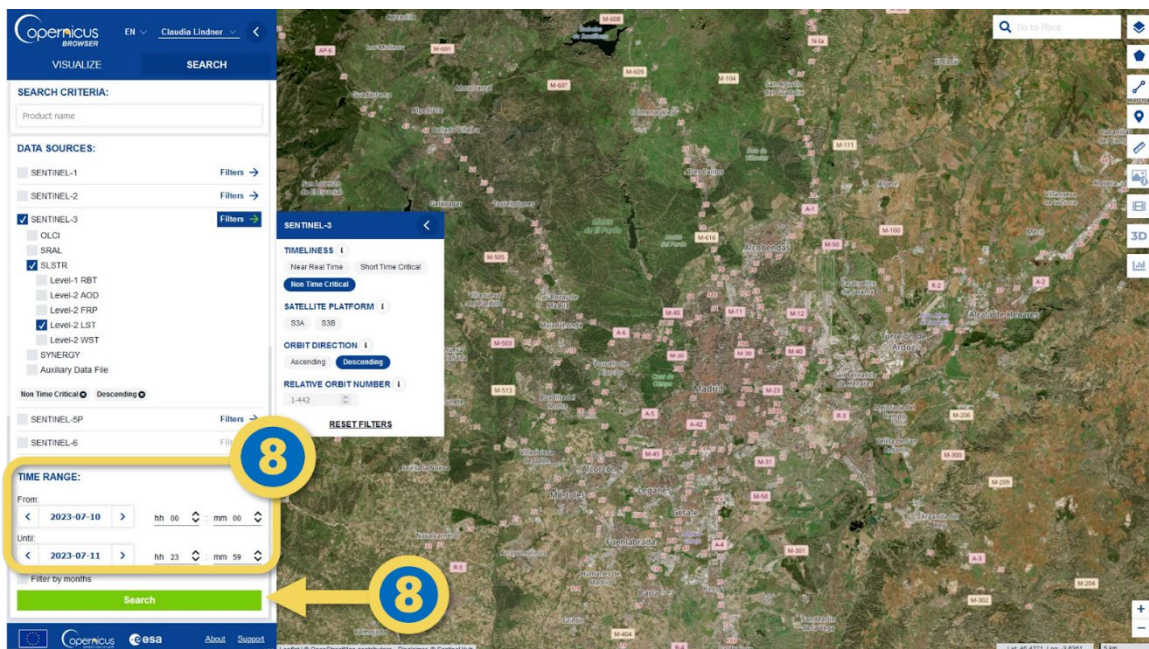


Fig. 35 : Sélection de la période.

9. Une liste de résultats de recherche devrait être affichée, qui recoupe le lieu dans le zoom. Si tu dézoomes maintenant, tu peux voir plus précisément la couverture des scènes. Certaines scènes couvrent mieux l'Espagne que d'autres. Les frontières entre les différentes scènes coupent l'Espagne en deux. Si l'Espagne n'est pas entièrement couverte, zoome un peu vers le nord ou le sud et recommence la recherche.
10. Clique sur l'une des scènes à un endroit où il n'y a pas de chevauchement avec d'autres scènes et regarde l'image d'aperçu. Essaie de reconnaître ce qui est représenté et ce que signifient les couleurs. Si tu regardes bien, tu peux reconnaître quelques nuages dans l'image du 11 juillet.
11. Télécharge les deux scènes : `S3B_SL_2_LST___20230710T103317..` et `S3B_SL_2_LST___20230710T103017...`



Fig. 36 : Téléchargement des scènes.

12. Dézippe les deux fichiers dans ton dossier de travail

Explore les images dans SNAP :

13. Lance le *SNAP*.
14. Clique sur l'icône du dossier pour ouvrir les fichiers. Navigue jusqu'au dossier dans lequel ils ont été décompressés et clique sur *xfdumanifest.xml* dans chacun des dossiers *.SEN3*.

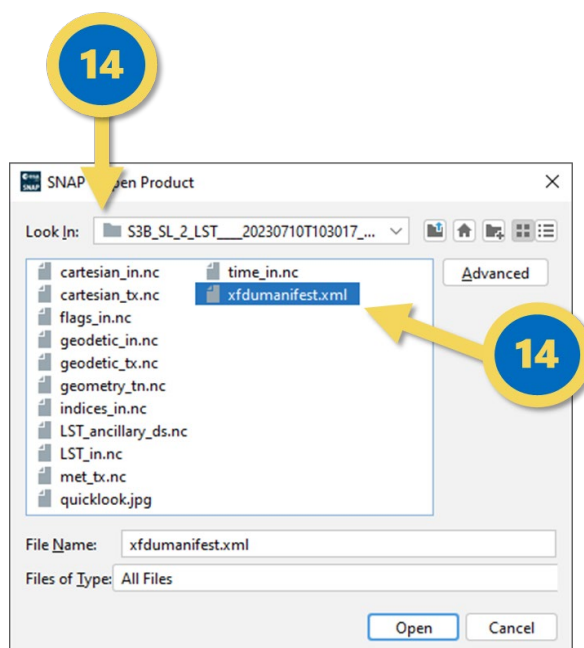


Fig. 37 : Ouverture des fichiers.

15. Clique sur le petit + à côté du nom de fichier pour voir le contenu. Clique ensuite sur le petit + à côté de *Bands*. Double-clique sur *LST* pour ouvrir l'image.

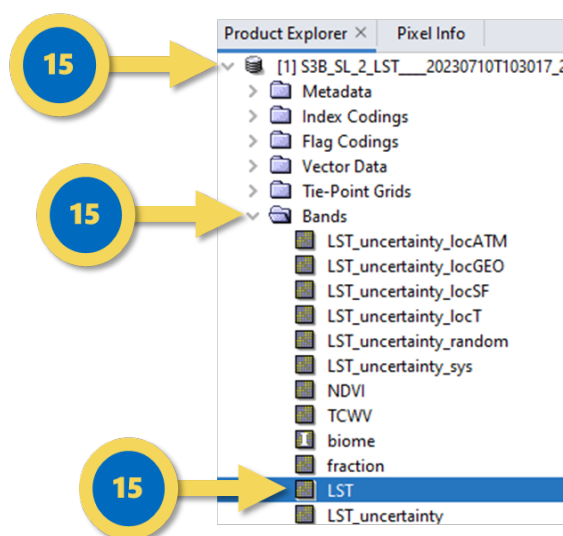


Fig. 38 : Ouverture de l'image.

16. L'image apparaît en noir et blanc et ne couvre que la moitié de notre zone d'étude, qui sera traitée prochainement.
17. En dessous du *Product Explorer*, il devrait y avoir un onglet *Colour Manipulation*. Si ce n'est pas le cas, tu peux l'activer dans l'onglet *View* tout en haut. Dans la *Colour Manipulation*, tu peux choisir entre de nombreuses palettes différentes. Choisis-en une qui corresponde à la température, par exemple *5_colors*.

18. Regarde l'étendue des valeurs. On remarque qu'elles sont toutes réparties autour de 300 environ. Cela est dû au fait que la *LST* est représentée en Kelvin, c'est-à-dire à partir du zéro absolu à $-273,15^{\circ}$ Celsius. Cela aussi va maintenant être adapté.

Assemble les extraits et ajuste la mosaïque :

19. Clique sur l'onglet *Raster* en haut, puis maintiens la souris sur *Geometric* et clique ensuite sur *Mosaicking* dans le dernier sous-menu.

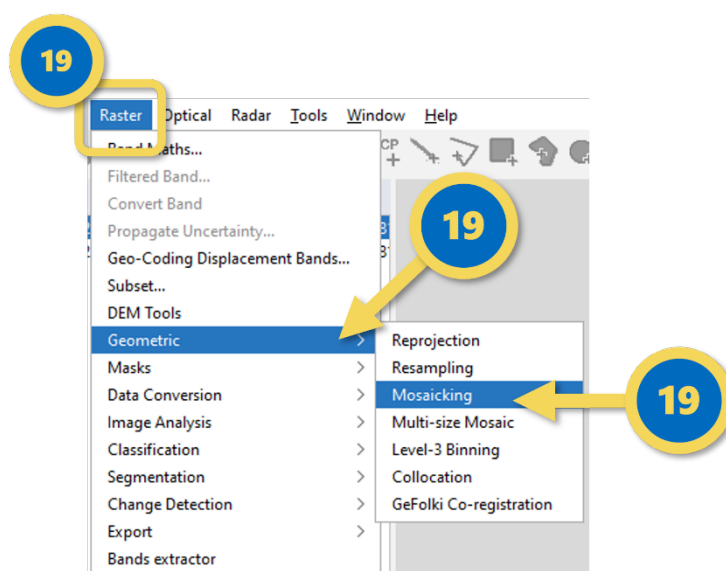


Fig. 39 : Sélection de la raster

20. Dans l'onglet *I/O Parameters*, tu peux ajouter les deux scènes en cliquant sur le petit $+$ et en répétant la même chose que pour les ouvrir.
21. Assure-toi que l'Update *Target Product* n'est PAS activé. Donne à la nouvelle mosaïque un nom significatif qui te permettra de reconnaître plus tard ce qui s'y trouve et quand et comment l'enregistrement a été réalisé, par exemple *IberianPeninsula_S3_LST_20230710T2023103317*.
22. Pour sélectionner le dossier dans lequel la mosaïque sera enregistrée, clique sur les 3 points à droite et navigue jusqu'au dossier dans lequel se trouvent également les deux scènes brutes.
23. va dans l'onglet *Map Projection Definition* et là dans *Coordinate Reference System (CRS)*. Change la projection en *UTM / WGS 84 (Automatic)*.
24. un peu plus bas, tu trouveras les *Mosaic Bounds*. Pour cet exemple, seule la péninsule ibérique est intéressante, la mosaïque peut donc être adaptée à celle-ci. Sur la carte de l'onglet, tu peux zoomer sur l'étendue des scènes actuelles en cliquant sur le bouton avec la flèche sur la loupe.
25. Soit tu traces les limites rouges de manière à ce qu'elles n'englobent que la zone d'étude, soit tu saisis dans les cases, par ex :

West : -10° East : 3.5° .

nord : 44.5° sud : 35.5° .

La *taille* des pixels peut rester à 1000 m.

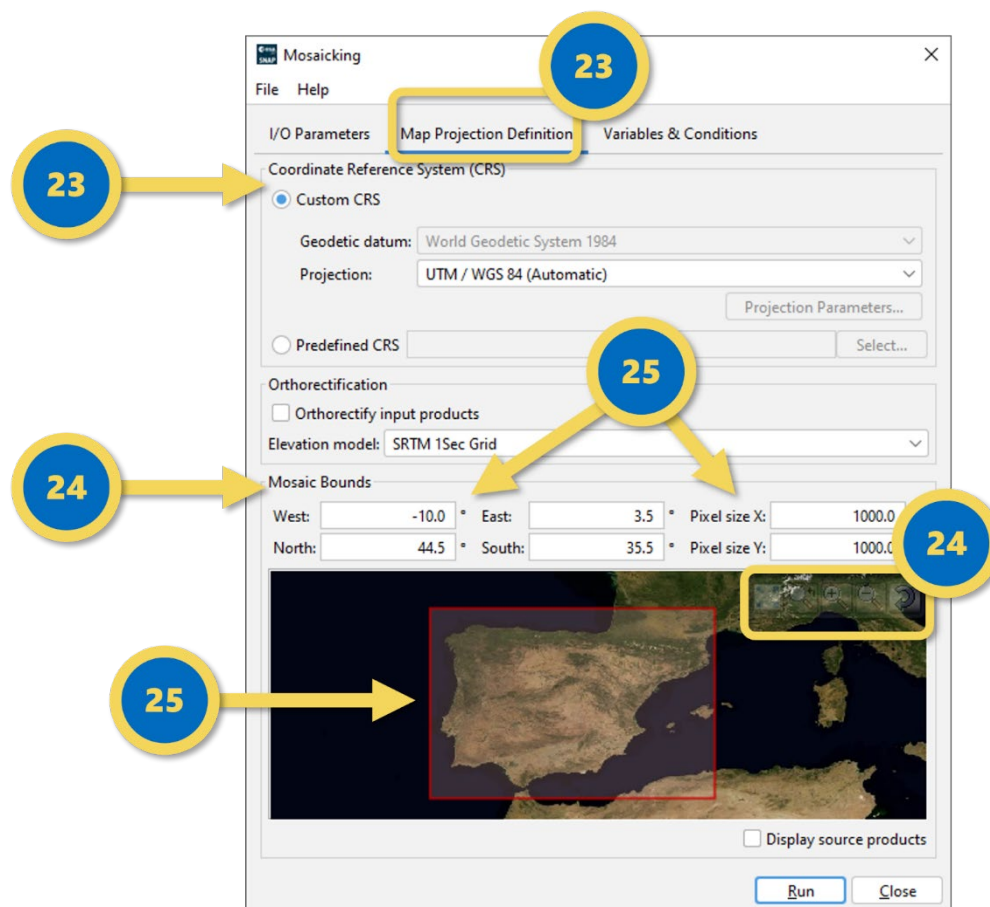


Fig. 40 : Mosaïque.

26. Passe à l'onglet *Variables & Conditions*. ouvre le *Variables Band* chooser en cliquant sur le petit symbole de document.
27. Pour cet exemple, seuls le LST et le NDVI sont utilisés, mais le LST doit encore être converti en Celsius. Il suffit donc d'activer le NDVI de toutes les boîtes et de cliquer sur OK.
28. Pour ajuster la LST, clique sur le petit + sous Variables.
29. 25. une nouvelle variable est ajoutée. Clique dans le champ « Nom » et renomme la variable, par exemple *LSTinCelsius*.
30. Double-cliquez sur le champ à côté sous *Expression*. Une nouvelle fenêtre apparaît. Tapez dans le champ Expression : *LST - 273.15* et cliquez ensuite sur *OK*.

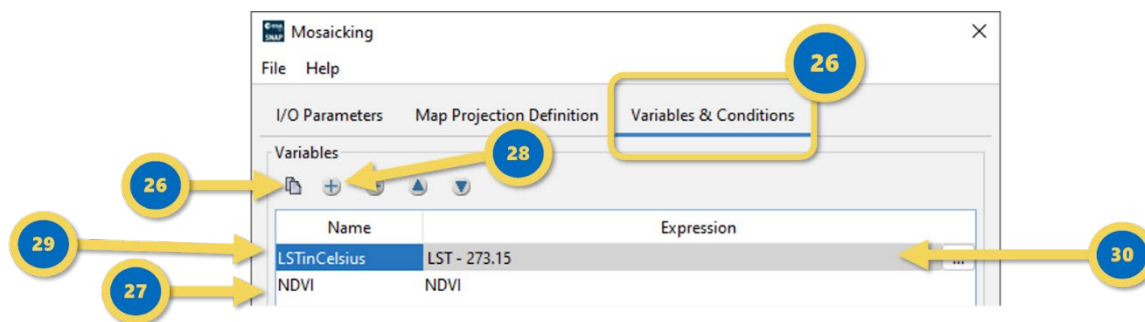


Fig. 41 : Mosaïque.

31. Clique sur *Run*.

32. Comme seule une partie des deux scènes et deux bandes ont été sélectionnées, le traitement ne devrait prendre que quelques secondes. Clique sur *OK* dans la fenêtre qui indique que le traitement est terminé et que le fichier est ouvert dans SNAP.

Visualise les données :

33. Ouvre l'image LST dans la mosaïque. Elle devrait s'ouvrir en noir et blanc. Définis à nouveau une palette de couleurs appropriée, par exemple *5_colors*.

34. Il n'existe pas de schéma de couleurs de température prêt à l'emploi dans SNAP, mais les schémas existants peuvent être adaptés. Pour ce faire, passe du réglage *Basic* au réglage *Sliders*.

35. Les petits triangles peuvent être déplacés, recolorés par un clic droit ou supprimés. En cliquant sur les valeurs en dessous, il est également possible de les adapter au clavier. Adapte la palette de couleurs comme tu le souhaites, par exemple comme dans l'image suivante :

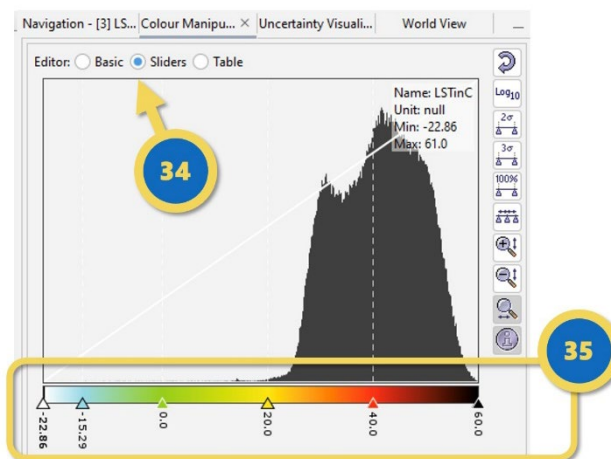


Fig. 42 : Adaptation des schémas.

36. Ouvre l'image NDVI. Celle-ci aussi est d'abord en noir et blanc. La *palette meris_veg_index* convient bien pour le NDVI. Sélectionne-la sous *Basic* et passe ensuite à *Sliders*.

37. Un NDVI élevé (0,6-0,8) indique des forêts denses, des valeurs moyennes (0,2-0,3) des surfaces faiblement couvertes de végétation comme des prairies et des buissons ou une végétation malade, des valeurs très basses (0-0,1) indiquent des surfaces sans végétation comme des

pierres, un sol nu ou des surfaces construites et des valeurs négatives (< 0) indiquent des surfaces d'eau.

Adaptez les *curseurs* en conséquence, en veillant à utiliser le point plutôt que la virgule en anglais, par exemple comme dans l'image ci-dessous :

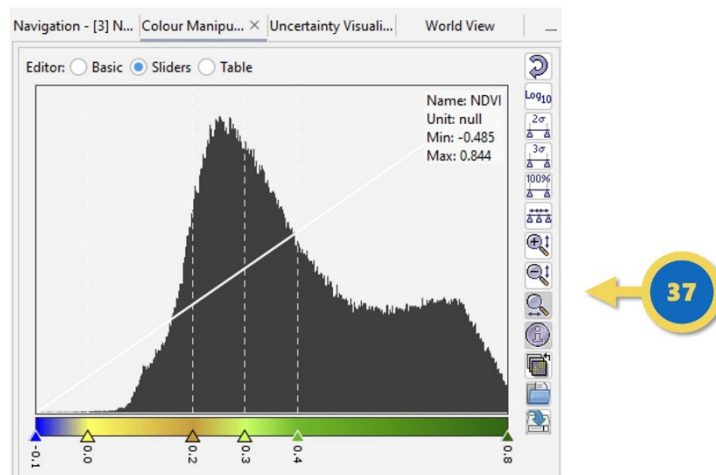


Fig. 43 : Valeurs NDVI.

38. Cliquez sur l'icône *Tile*, diviser horizontalement, dans la barre d'outils :

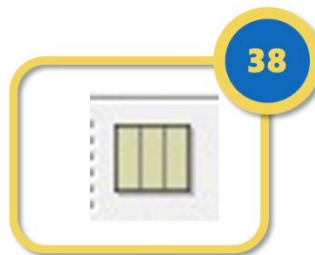


Fig. 44 : Icône 'Tile horizontal'.

Tu peux maintenant comparer les deux images côte à côte et voir l'effet que la végétation a sur la température du sol.

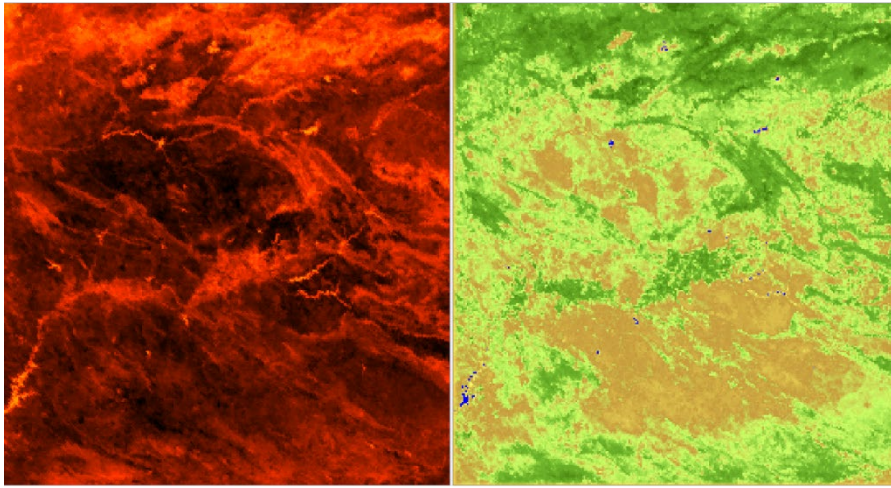


Fig. 45 : Comparaison des images satellites, de la végétation et de la température du sol.

39. Trouve ou active l'onglet *Navigation* près de la *manipulation de couleur* Ici, tu peux synchroniser les vues et le curseur de la souris.

3.4.4. Exemple physique - Canal de Suez

Va sur <https://dataspace.copernicus.eu/> et place le curseur de la souris en haut au milieu sur *Explore Data*. Clique sur *Copernicus Browser* dans le menu pop-up.

1. Enregistre-toi ou connecte-toi à Copernicus Browser (c'est gratuit et sans publicité !)
2. Clique sur le champ Go to Place dans le coin supérieur droit et tape Suez.
4. Clique sur Suez, Egypte. La fenêtre devrait maintenant se déplacer vers l'Egypte.

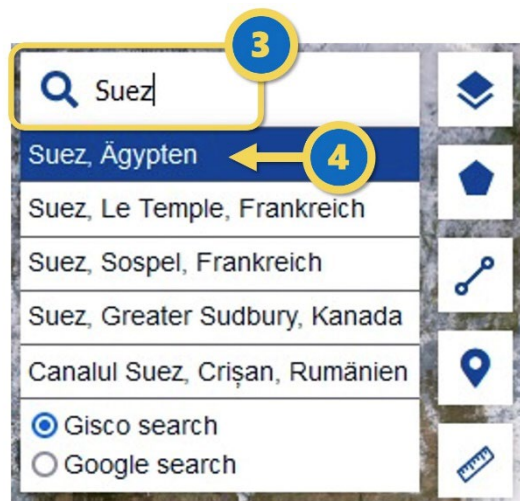


Fig. 46 : Sélection de la zone d'intérêt Suez, Égypte.

5. Active Sentinel-1 dans le menu Liens sous Jeux de données et GRD dans le sous-menu C-SAR Level-1

Fig. 47 : Activer les ensembles de données.

6. Choisis la période du 21 au 27 mars 2021, c'est-à-dire de *2021-03-21* à *2021-03-27* et clique sur *Rechercher*

Fig. 48 : Sélection de la période.

7. 5 résultats devraient s'afficher Ne télécharge que ceux dont les dates d'enregistrement sont *2021-03-27T03:44:10.127Z* et *2021-03-21T03:44:49.598Z* (premier et dernier dans la liste)



Fig. 49 : Téléchargement des moments d'enregistrement.

8. Dézippe les deux fichiers dans ton dossier de travail.
9. Démarre SNAP.
10. Clique sur l'icône du dossier pour ouvrir les fichiers. Navigue vers le dossier dans lequel ils ont été décompressés et, à l'intérieur de chacun des fichiers, vers *manifest.safe*.

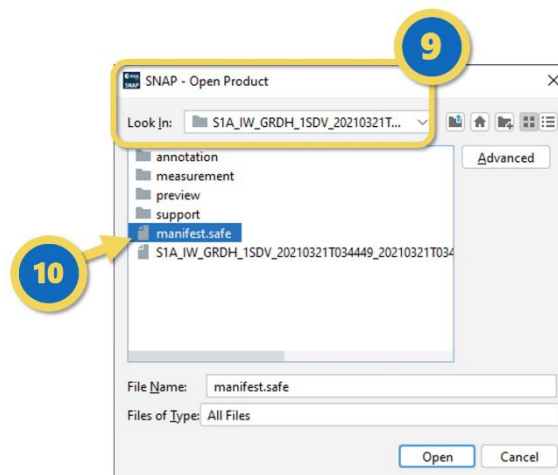


Fig. 50 : Ouverture du fichier sur SNAP.

11. Dans les paramètres de la *collocation*, sélectionne comme *maître* le premier fichier du 21 mars et comme *esclave* l'autre fichier du 27 mars.

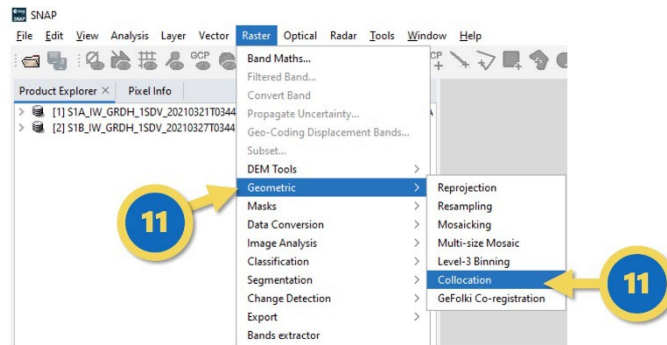


Fig. 51 : Sélectionner le fichier.

12. Renomme le Target *Product*, par exemple en *S1_EgyptMarch2021_comparison*.
13. Choisis un dossier dans lequel le produit cible doit être enregistré, par exemple le dossier dans lequel se trouvent les fichiers décompressés.
14. Adapte le changement de nom des *Source Product Components*, par exemple en ajoutant après *\${NOM_ORIGINALE}* la date correspondante et *avant* ou *après*.
15. Laisse tous les autres paramètres tels quels et clique sur *Run*.

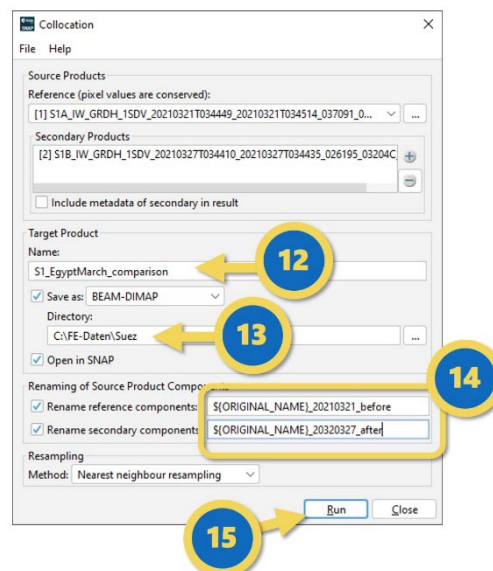


Fig. 52 : Réglages pour la collocation.

16. Une fois que le nouveau fichier est apparu dans l'*Explorateur de produits*, fais un clic droit dessus, puis clique sur *Open RGB image Window*

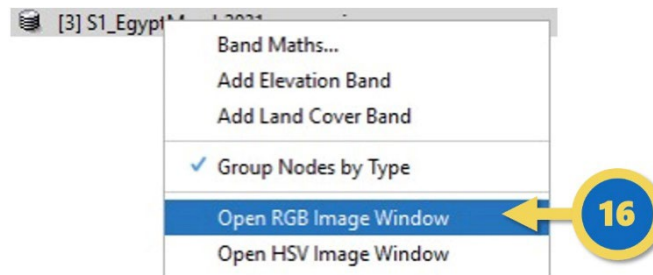


Fig. 53 : Ouverture du fichier.

17. Dans la fenêtre RGB, sélectionne l'*Intensity_VH* une fois (sur le rouge) pour la date antérieure et deux fois (sur le vert et le bleu) pour la date postérieure. (sur vert et bleu) pour la date ultérieure.

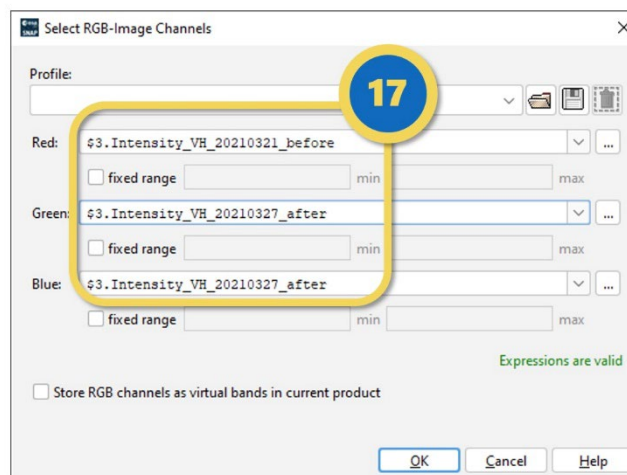


Fig. 54 : Réglages *Intensity_VH*.

18. Clique sur OK.
19. Fais un zoom sur la zone noire à droite de l'image.
20. Dans cette zone noire, la mer Rouge, on voit maintenant de nombreux bateaux de couleur claire. Les rouges étaient là le 21 mars, les turquoises le 27. Le 27, un seul navire s'est coincé de travers dans le canal de Suez, par lequel les navires passent habituellement à intervalles réguliers. C'est pourquoi un long bouchon s'est formé le 27 devant le canal.

3.5 Les données Sentinel dans l'enseignement de l'informatique

Dans le cadre de la mondialisation, l'observation de la Terre prend de plus en plus d'importance. Chaque jour, les satellites collectent d'immenses quantités de données afin de recueillir des informations pour les domaines d'application les plus divers. Rien que dans le cadre du programme Copernicus, environ 12 TB de données sont produites chaque jour. Le programme Copernicus est ainsi

le troisième plus grand fournisseur de données au monde. Pour pouvoir gérer et traiter ces quantités de données, il faut des informaticiens et des informaticiennes issus des spécialisations les plus diverses.

Ce chapitre sert de fil conducteur pour l'enseignement de différentes bases théoriques et pratiques dans le domaine de la programmation. Ainsi, les élèves apprennent entre autres la signification des termes Integrated Development Environment (IDE), Interface et Application Programming Interface (API). Les élèves génèrent des fichiers GeoJSON et se rendent compte de leur fonction et de leur structure. Ils apprennent également à programmer une API Python à l'aide d'un EDI afin de récupérer et de télécharger des données satellites à partir des serveurs Copernicus.

Pour le segment des utilisateurs en particulier, il est nécessaire d'automatiser au maximum le traitement des masses de données. Pour ce faire, on utilise entre autres ce que l'on appelle des API. Une API est une interface de programmation qui permet d'échanger des données entre des programmes ou des modules entiers de manière standardisée. Pour simplifier la programmation de telles API, on utilise des IDE. Elles se caractérisent par une interface utilisateur qui contient tous les outils et fonctions nécessaires à la programmation dans les langues les plus diverses. Parmi ces fonctions et outils, on trouve par exemple le formatage du texte source ou un débogueur.

Vous trouverez également d'autres matériels d'enseignement de l'informatique sur les sites <http://www.esero.de/> et <http://fis.rub.de/>. FIS propose entre autres un module d'apprentissage interactif sur les colonnes et les lignes dans les données tramées, le code binaire et la profondeur de bit d'une image.

ESERO Germany propose une grande variété de matériel pédagogique pour l'enseignement de l'informatique. Le groupe cible s'étend de la tranche d'âge de 8 à 20 ans. Les contenus s'étendent de l'enseignement de concepts sans ordinateur pour la navigation d'un robot à la programmation d'une station de mesure basée sur un ARDUINO avec C++. Les codes QR vous permettent d'accéder directement au matériel pédagogique.

3.5.1 Utilisation d'une API Python

Pour que la programmation de l'API Python fonctionne, Python doit être installé sur le PC avec la version 2.7 ou 3.4 et plus. Lors de l'installation, l'option permettant d'utiliser le programme de gestion de paquets « pip » doit être activée. En outre, « Sentinelsat » doit être installé à l'aide de « pip » via l'invite de commande (cmd.exe). Vous trouverez plus d'informations sur Sentinelsat, son installation et une syntaxe plus détaillée sur <https://sentinelsat.readthedocs.io/>.

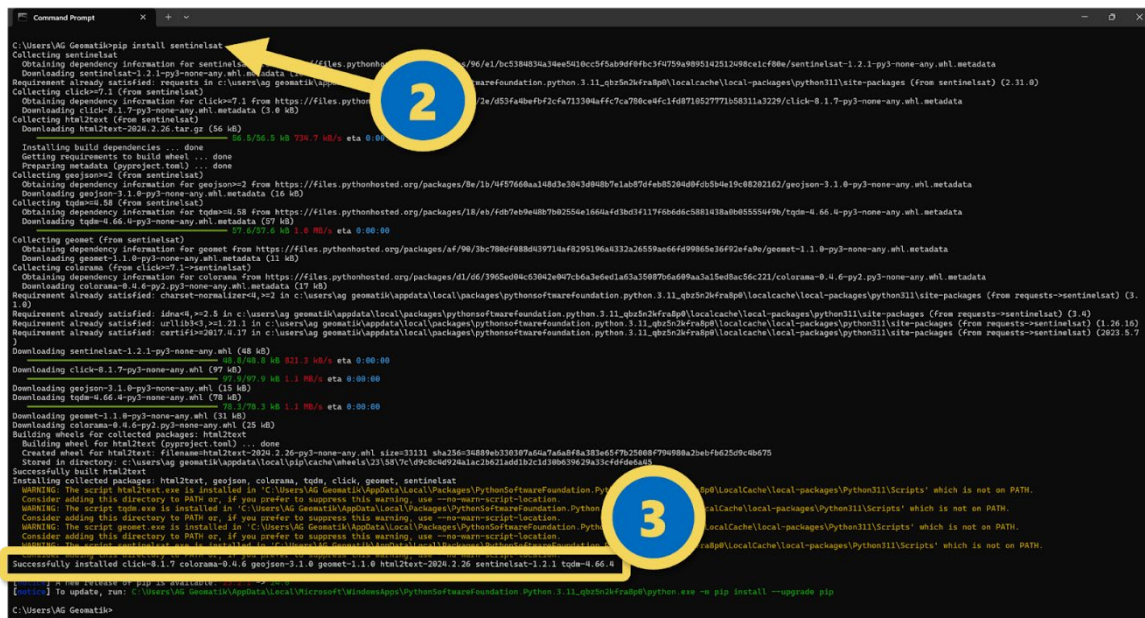


Fig. 55 : Invite de programmation.

1. Ouvrez l'invite de commande.
2. Utilisez « pip » pour installer « SentinelSat » dans l'invite de commande. La commande est la suivante :

pip install sentinelat

Appuyez sur Entrée après avoir saisi la commande.

Vérifiez ensuite si le module a été installé avec succès.

Pour spécifier un espace d'étude, il est possible d'utiliser des fichiers GeoJSON. Il s'agit d'un format qui permet d'enregistrer des données géographiques de situation et de surface à l'aide de la notation JavaScript Object Notation (JSON). Le site web www.geojson.io offre une possibilité de ne pas devoir écrire le code soi-même.

3. Visitez le site www.geojson.io
4. Choisissez l'un des outils de dessin et dessinez un polygone sur votre zone d'intérêt. Dans ce cas, les Sundarbans au Bangladesh ont été choisis.
5. Sélectionnez l'ensemble du code qui a été créé dans la fenêtre de droite.
6. Collez le texte dans un éditeur de votre choix et enregistrez le fichier avec l'extension *.geojson*.

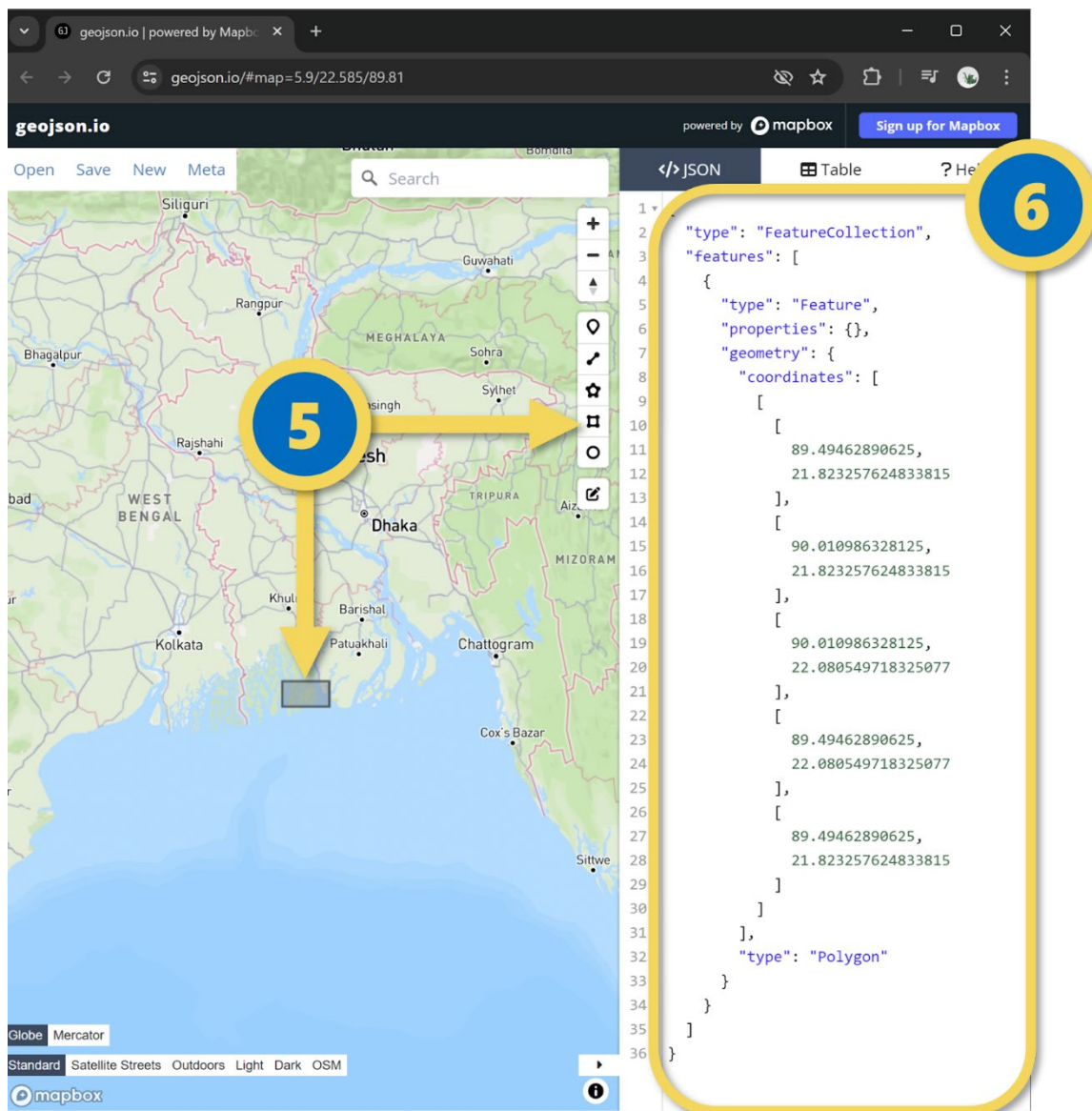


Fig. 56 : Sélection du domaine d'intérêt sur www.geojson.io.

Toutes les étapes suivantes se déroulent maintenant dans l'IDE. Dans ce cas, PyCharm Community a été utilisé. Visual Studio Code fonctionne également bien, mais nécessite l'installation de l'interpréteur Python.

8. Ouvrez un IDE approprié et créez un nouveau projet.

PyCharm crée automatiquement tous les fichiers Python pertinents dans le dossier du projet. Si vous rencontrez toutefois des problèmes avec l'interpréteur, vous pouvez adapter le chemin d'accès à Python sous *File* → *Settings* → *Project* → *Project Interpreter*.

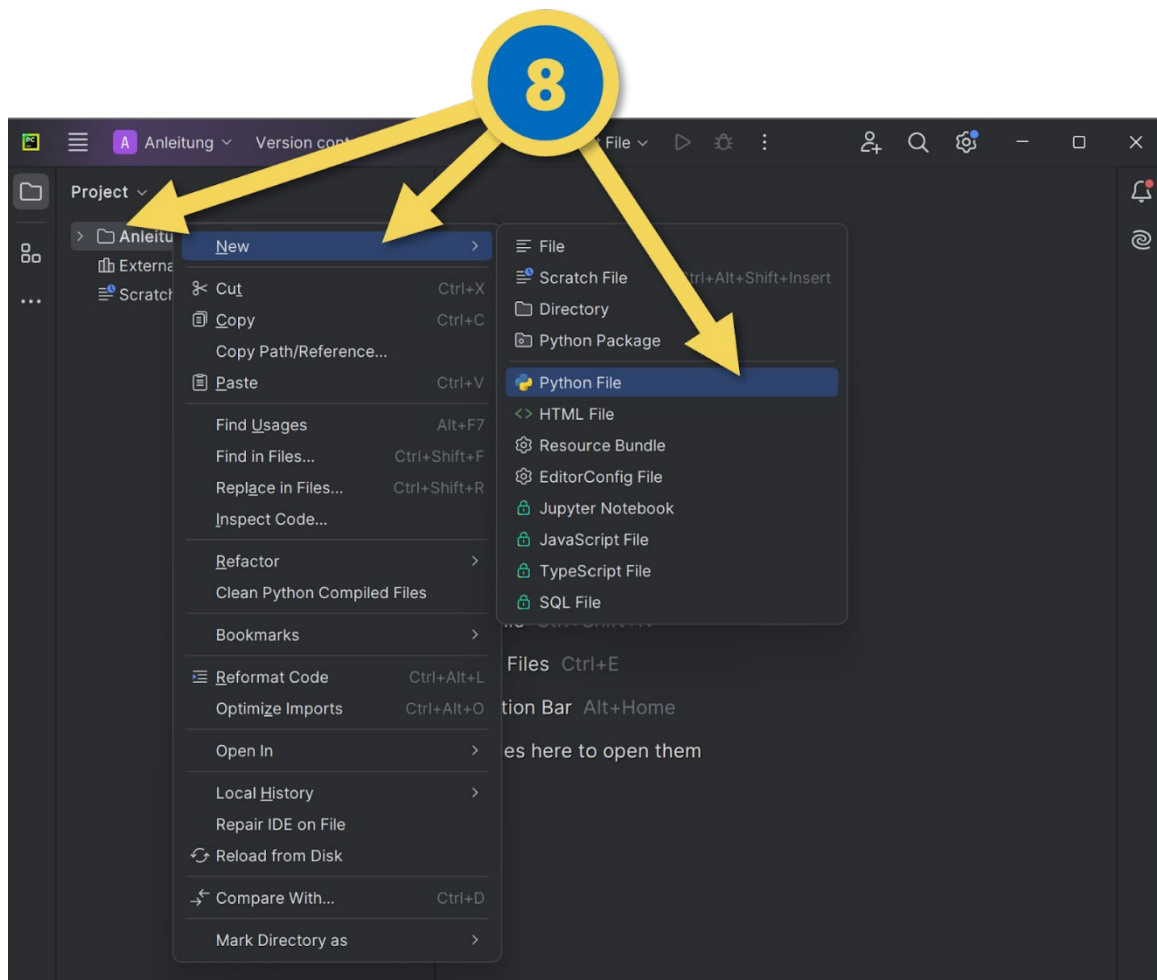


Fig. 57 : Création des fichiers Python dans PyCharm Community.

8. Ajoutez un nouveau script à votre projet. Vous pouvez le faire en cliquant avec le bouton droit de la souris sur le projet *New Python File*. Donnez-lui un nom et enregistrez le projet.

9. Importez toutes les bibliothèques nécessaires :

```
from sentinelsat.sentinel import SentinelAPI, read_geojson, geojson_to_wkt
from datetime import date
```

10. Connectez-vous au serveur Copernicus en indiquant vos données d'accès :

```
api=SentinelAPI('Username','Password','https://scihub.copernicus.eu/dhus')
```

Afin de pouvoir faire référence ultérieurement aux données d'accès, il est judicieux de travailler avec des variables. Comme les mots de passe sont visibles dans ce script, il est judicieux de préparer un certain nombre de comptes pour les élèves.

11. Copiez le fichier GeoJSON que vous venez de créer au niveau du chemin du dossier où se trouve également le script Python.

12. Faites maintenant référence au fichier GeoJSON dans le script :

```
footprint = geojson_to_wkt(read_geojson('Sunderban.geojson'))
```

Dans ce qui suit, nous allons écrire un filtre qui ne retiendra que les images satellites qui répondent à certains critères. Ces critères sont la zone d'étude (footprint), la date de prise de vue, le satellite, le degré de couverture nuageuse et le niveau de traitement. Nous souhaitons nous concentrer sur les données du satellite Sentinel 2 qui ont déjà été prétraitées. Cela signifie que des corrections atmosphériques ont déjà été apportées à l'image.

13. Le code de la requête à appliquer pour filtrer les données peut alors par exemple se présenter comme suit :

```
products = api.query(footprint,
    date=("20191101", date(2019, 11, 15)),
    platformname='Sentinel-2',
    processinglevel='Level-2A',
    cloudcoverpercentage=(0, 5))
```

14. Si le nombre de produits trouvés doit être affiché dans la console, ce filtre peut également être utilisé. Le code à cet effet se présente comme suit :

```
print('Produits trouvés: ' + str(api.count(footprint,
    date=("20191113", date(2019, 11, 15)),
    platformname='Sentinel-2',
    processinglevel='Level-2A',
    cloudcoverpercentage=(0, 5))))
```

15. La taille de tous les produits trouvés, ou leurs métadonnées, peut être affichée sous forme de GeoJSON. Le code pour cela est le suivant :

```
# getting information about product size
print(str(api.get_products_size(products)) + ' GB')
# getting geometric metadata from results
print(api.to_geojson(products))
```

16. Si tous les produits trouvés doivent ensuite être téléchargés à un endroit précis, la commande suivante peut être utilisée en l'adaptant :

```
api.download_all(products, directory_path='C:/Users/Public/Downloads')
```

17. Si un seul produit doit être téléchargé, son UUID peut être trouvé dans les métadonnées géométriques. La commande pour télécharger ce produit précis est par exemple

```
api.download('b063bb06-1b64-4dc5-9e0f-af5838725d29')
```

18. Exécutez votre script avec le type de téléchargement souhaité.

L'ensemble du script se présente alors comme suit :

```
from sentinelsat.sentinel import SentinelAPI, read_geojson, geojson_to_wkt
from datetime import date
```

```
#connect to the API
```

```
api=SentinelAPI('Username', 'Password','https://scihub.copernicus.eu/dhus')
```

```
#define Area of Interest (AOI)
```

```
footprint = geojson_to_wkt(read_geojson('Sunderban.geojson'))
```

```
#set up query to filter data
```

```
products = api.query(footprint,  
    date=("20191101", date(2019, 11, 15)),  
    platformname='Sentinel-2',  
    processinglevel='Level-2A',  
    cloudcoverpercentage=(0, 5))
```

```
#getting information about the results
```

```
#getting number of results
```

```
print('Produits trouvés ' + str(api.count(footprint,  
    date=("20191113", date(2019, 11, 15)),  
    platformname='Sentinel-2',  
    processinglevel='Level-2A',  
    cloudcoverpercentage=(0, 5))))
```

```
# getting information about product size
```

```
print(str(api.get_products_size(products)) + ' GB')
```

```
# getting geometric metadata from results
```

```
print(api.to_geojson(products))
```

```
#Download
```

```
api.download_all(products, directory_path='C:/Users/Public/Downloads')
```

```
#Download via UUID
```

```
api.download('b063bb06-1b64-4dc5-9e0f-af5838725d29')
```

3.5.2 Ouverture des enregistrements dans SNAP

SNAP est la plateforme d'applications Sentinel de Copernicus, qui peut être téléchargée et installée gratuitement à l'adresse :

<https://step.esa.int/main/download/snap-download/>.

Une fois que vous avez téléchargé un ou plusieurs produits, les données peuvent être visualisées et traitées dans le logiciel « SNAP ». Dans ce qui suit, l'image satellite sera examinée dans le cadre de

SNAP. Vous trouverez d'autres étapes de traitement entre autres sur le site web: <https://step.esa.int/main/doc/tutorials/> ou dans les chapitres précédents.

1. Ouvrez le logiciel SNAP.
2. Sélectionnez File à *Open Product...* et ouvrez le répertoire ZIP de l'ensemble de données.
3. Dans *l'explorateur de produits*, faites un clic droit sur l'enregistrement et sélectionnez *Open RGB Image Window*.

Bibliographie



Copernicus (Hg.): Copernicus Academy.

<https://www.copernicus.eu/en/opportunities/education/copernicus-academy>

Copernicus (Hg.): Copernicus Programme. <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/copernicus-programme>

Copernicus (Hg.): Die Sentinel-Satellitenfamilie. <https://www.d-copernicus.de/daten/satelliten/daten-sentinels/>

Geographisches Institut (Hg.): Copernicus4Schools - The great disaster challenge. <https://www.geographie.ruhr-uni-bochum.de/izgw/projekte.html.de>

NASA (Hg.): Virginia T. Norwood: The Mother of Landsat. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/virginia-t-norwood-the-mother-of-landsat/>

Tableau des illustrations

Fig. 1: Parc éolien Fryslân dans le lac IJssel, Pays-Bas. (<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/windpark-fryslan-lake-ijssel-netherlands>)

Fig. 2: Le réservoir de Sau à des niveaux d'eau inquiétants. (<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/sau-reservoir-worrisome-water-levels>)

Fig. 3: Deuxième éruption volcanique dans la péninsule de Reykjanes, en Islande, en l'espace de quelques jours. weeks. (<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/second-volcanic-eruption-icelands-reykjanes-peninsula-just-few-weeks>)

Fig. 4: Copernicus Sentinel-5P Formaldehyde 2018.
[https://www.esa.int/Space in Member States/Germany/Copernicus Sentinel-5P reveals new nasties](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Copernicus_Sentinel-5P_reveals_new_nasties)

Fig. 5: Comment fonctionne l'observation de la Terre ?

Fig. 6 : Les ondes électromagnétiques à hautes et basses fréquences.

Fig. 7 : Le spectre électromagnétique.

Fig. 8 : Trois types de réflexion de la lumière. La réflexion mixte (à droite) est le cas normal dans la nature.

Fig. 9 : Les données d'image sont enregistrées par le capteur sous forme de chiffres.

Fig. 10 : Systèmes d'enregistrement passifs et actifs pour l'observation de la Terre.

Fig. 11 : Différences de résolution spatiale.

Fig. 12 : Formation de pixels mixtes.

Fig. 13 : Réflexion et absorption.

Fig. 14 : Image NDVI de la Méditerranée.

Fig. 15 : Classification sur la base des valeurs de couleur.

Fig. 16 : La méthode de détection des changements.

Fig. 17 : Sélectionner le lieu à analyser.

Fig. 18 : Sélection des scènes.

Fig. 19 : Ouverture des fichiers.

Fig. 20 : Ouverture des fichiers.

Fig. 21 : Réglages du sous-ensemble spatial.

Fig. 22 : Classification du sous-ensemble de bandes.

Fig. 23 : Rééchantillonnage.

Fig. 24 : Image de couleur spectrale.

Fig. 25 : Find classification.

Fig. 26 : Classement aléatoire de la forêt.

Fig. 27 : Manipulation des couleurs.

Fig. 28 : Résultats.

Fig. 29 : Couleurs réelles vs. image NDVI.

Fig. 30 : Interrogation de l'image satellite par le navigateur Dataspace Copernicus.

Fig. 31 : Sélection de la couche du navigateur Dataspace Copernicus.

Fig. 32 : Vue comparative du navigateur Dataspace Copernicus.

Fig. 33 : Fonction de téléchargement du navigateur Dataspace Copernicus.

Fig. 34 : Sélection des jeux de données et du filtre Images du jour.

Fig. 35 : Sélection de la période.

Fig. 36 : Téléchargement des scènes.

Fig. 37 : Ouverture des fichiers.

Fig. 38 : Ouverture de l'image.

Fig. 39 : Sélection de la grille.

Fig. 40 : Mosaïquage.

Fig. 41 : Mosaïquage.

Fig. 42 : Ajustement des schémas.

Fig. 43 : Valeurs NDVI.

Fig. 44 : Icône 'Tile horizontal'.

Fig. 45 : Comparaison des images satellites, de la végétation et de la température du sol.

Fig. 46 : Sélection de la zone d'intérêt Suez, Egypte.

Fig. 47 : Activation des ensembles de données.

Fig. 48 : Sélection de la période.

Fig. 49 : Téléchargement des périodes d'enregistrement.

Fig. 50 : Ouverture du fichier sur SNAP.

Fig. 51 : Sélection du fichier.

Fig. 52 : Réglages pour la collocation.

Fig. 53 : Ouverture du fichier.

Fig. 54 : Paramètres Intensity_VH.

Fig. 55 : Invitation à la programmation.

Fig. 56 : Sélection du domaine d'intérêt sur www.geojson.io.

Fig. 57 : Création des fichiers Python dans PyCharm Community.

mentions légales

auteurs:

Isabella Holovaciuc, Dr.Henryk Hodam, Claudia Lindner, Lars Tum, Franziska Tuschen

Faculté des sciences de la terre

Institut géographique de la Ruhr-Universität Bochum

GT Sciences interdisciplinaires de l'information géographique

Universitätsstraße 150

44801 Bochum

Contact

Jun.-Prof. Dr. Andreas Rienow

Téléphone: +49 234 32-24791

E-Mail: andreas.rienow@ruhr-uni-bochum.de

Dr. Henryk Hodam

Téléphone: +49 (0)234 32-23415

E-Mail: henryk.hodam@ruhr-uni-bochum.de