Des paysages en évolution vus du ciel



H.PARMENTIER, UMR 5600 ,ENS DE LYON, E.V.S., ISIG

FESTIVAL INTERNATIONAL DE GÉOGRAPHIE de Saint-Dié-des-Vosges

evs CNRS UMR 5600

ENS DE LYON

INTRODUCTION :

Les données d'observation de la Terre par imageries satellitaires constituent des solutions pertinentes à **l'observation esthétique et fonctionnelle des paysages** : Les deltas de fleuves, déserts et dunes de sable, barrières de corail, chaînes de montagnes… Google Earth (2005).

Toutefois leurs **fonctions de « monitoring », de mesure et de suivis de l'évolution de la terre** complètent ce rôle notamment par des missions de surveillance appliquées à **l'environnement, aux infrastructures humaines et aux risques naturels**.

Plusieurs constellations satellites existent et sont en fonction dans le ciel (**USA, Europe, Chine, Russie, Inde**…)

Par exemple au **niveau européen, le programme COPERNICUS lancé en 1998** (anciennement GMES, Global Monitoring for Environment and Security) propose actuellement **une plateforme Images Sentinelle avec traitements « on line » d'indices spectraux**. Outre atlantique, les USA avait lancé **Landsat en 1982**, suivi des images diffusées par les produits **Google pour les larges échelles, et de manière plus locale les acquisitions images de drones permettent elles de visualiser, d'analyser et cartographier des zones d'études plus précises.**

Par cette présentation, je vous propose d'aborder **quelques paysages de restaurations écologiques vus à travers un cadre législatif européen en utilisant Google Earth, pour ensuite passer à des exemples d'analyses spatiales sous Google Earth Engine, et conclure sur son usage enseignement et recherche.**

QUELQUES EXEMPLES DE VUES PAYSAGERES DE RESTAURATIONS ECOLOGIQUES EN EUROPE

Quel fil conducteur ?

Cette partie s'appuiera sur le ***règlement européen en matière de restauration de la nature*** entré en ***vigueur en 2024*** et qui a fixé des objectifs juridiquement contraignants pour **la restauration des écosystèmes dégradés à travers l'Europe**.

Avec **80 % des habitats européens en mauvais état**, le ***règlement de l'Union européenne*** sur la restauration de la nature **(NRR)** vise à ***accroître la biodiversité, à limiter le changement climatique et à atténuer l'impact des catastrophes naturelles***.(revue Géo)
Chaque État membre de l'UE doit élaborer ***un plan national de restauration (NRP-*** « National Recovery Plans »), décrivant les ***zones à restaurer, leur superficie et les indicateurs de résultats***. Ces plans doivent inclure des ***cartes, des indicateurs et un calendrier***.

Avec l'échéance proche de certains plans nationaux de restauration, les États membres sont confrontés à une question urgente : **comment cartographier, planifier et suivre la restauration sur des millions d'hectares de manière cohérente et vérifiable ?**

Dans le cas des écosystèmes terrestres, côtiers et d'eau douce, par exemple, les ***États membres de l'UE doivent garantir qu'au moins 30 % des zones dégradées fassent l'objet d'une restauration effective d'ici 2030 (et 90 % d'ici 2050).***

Sources : AFCCRE et PatriNat

Des paysages et des écosystèmes différents….des défis différents.

Le règlement définit des objectifs spécifiques pour l'amélioration et le rétablissement des habitats à grande échelle, pour les **écosystèmes agricoles, forestiers, urbains et aquatiques**, ainsi que pour les **pollinisateurs, la connectivité des cours d'eau et le renforcement des populations d'espèces**.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Le Règlement européen sur la restauration de la nature

Cibles de restauration surfaciques (moyens) – renforcement directives existantes / indicateurs (résultats) – nature ordinaire



* Ajouté durant les négociations (trilogue)

Pour en savoir plus : https://www.zesumme-vereinfachen.lu/fr-FR/projects/nrp/2
et https://eur-lex.europa.eu/FR/legal-content/summary/nature-restoration.html

https://www.europe-en-france.gouv.fr/fr/appels-a-projet/life-nature-biodiversite-projets-action-standard-sap-2026

Processus et étapes des NRP :

Le processus de **révision des données nationales (NRP)**se déroule en **quatre étapes** logiques : **analyse de la situation actuelle, planification des interventions, mise en œuvre sur le terrain et suivi des résultats.**

1 - La constitution de la base de connaissances : la phase de **recensement des écosystèmes** (**nombre, localisation et état**) données peuvent être obtenues grâce à l'imagerie satellitaire : ex : santé de la végétation, l'humidité des sols, la qualité de l'eau ou les fuites de carbone. L'imagerie d'archives permet elle de donner du recul temporel dans ces analyses. Différents niveaux de précision sont alors mobilisés selon les échelles d'analyse. (10 m à 0,30 m)

2- Élaboration de plans nationaux de restauration : Une fois la situation de référence établie, doivent être **identifier les zones prioritaires, proposer les mesures à prendre et fixer des échéanciers**, tout en tenant compte des aspects écologiques, économiques et sociaux.

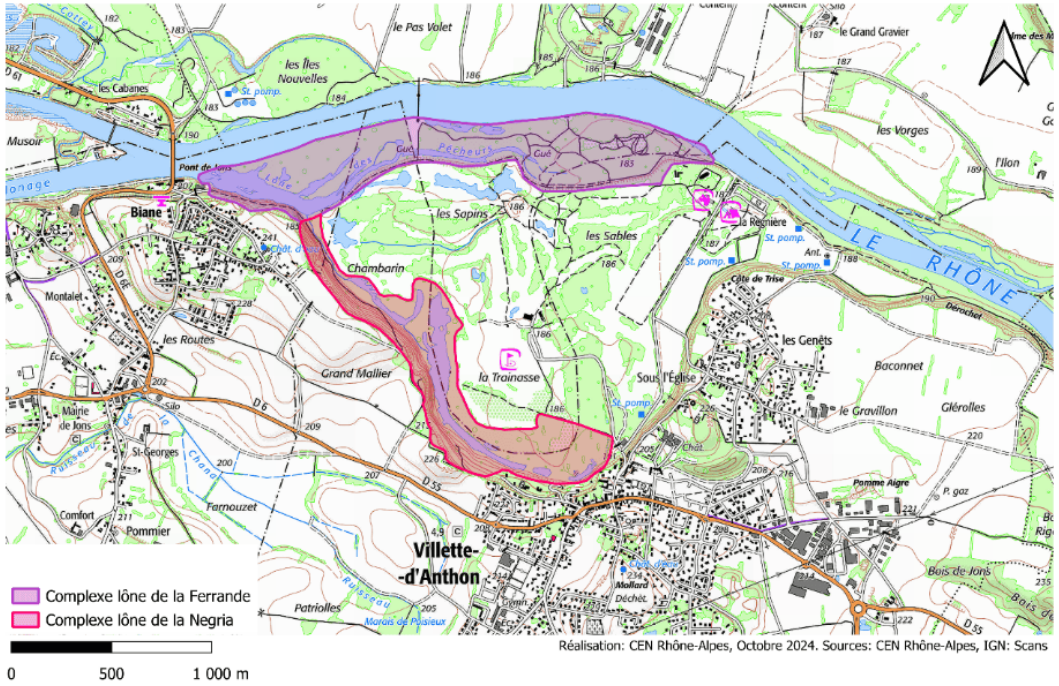
3- Mise en œuvre sur le terrain: La restauration peut prendre de nombreuses formes : reconnecter les cours d'eau, restaurer les zones humides ou introduire des infrastructures vertes en milieu urbain… **Les images THR** (0,30m) **permettent l'emplacement précis** des barrages fluviaux, de mesurer l'étendue de la prolifération des espèces envahissantes ou encore suivre l'état des arbres ….

4- Suivi et rapports : Le **NRP accorde une grande importance aux suivis à long terme**. À partir de 2028, les États membres devront soumettre des **rapports réguliers**. Cela implique de disposer de **données** non seulement **exactes**, mais aussi **cohérentes dans le temps**.



Région de Tillabéri, au sud-ouest de la République du Niger –Image Pléiades 50 cm - **projets du SCO France**

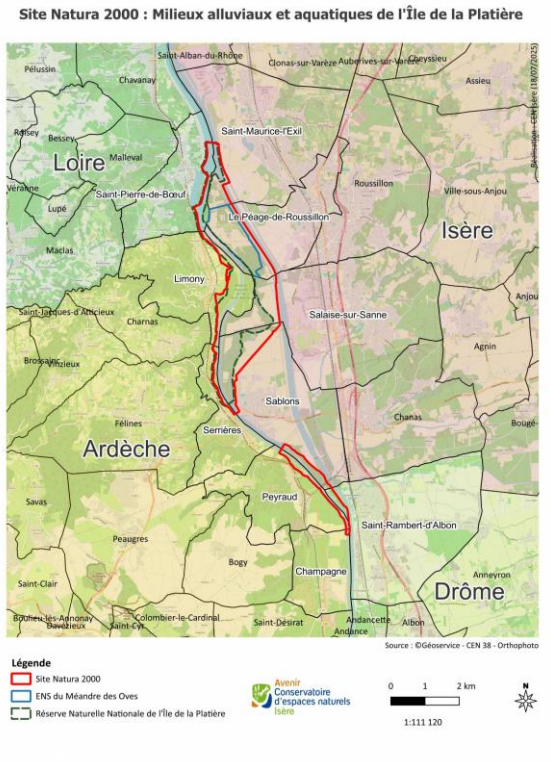
Quelques exemples de restauration écologique nationaux et européens vue avec Google Earth.



Les lônes de la Ferrande et de la Négria (Isère) sont des zones humides fluviales issues des anciennes divagations du Rhône. Ces milieux remarquables, à la biodiversité riche et singulière, constituent des réservoirs de vie et rendent de nombreux services écosystémiques : régulation des crues, épuration de l'eau, refuge pour la faune, ou encore atténuation des effets du changement climatique.

Timelaps





A mi-chemin entre Lyon et Valence, **la réserve naturelle de l'ile de la Platière** (Isère, la Loire et l'Ardèche) préserve 484 hectares de l'un des derniers grands ensembles naturels de la moyenne vallée du Rhône. Ce fleuve impétueux, a longtemps divagué dans une large plaine alluviale. Au 19e siècle, le lit mineur fut totalement fixé par des digues submersibles. La stabilisation des îles a alors permis l'utilisation forestière et pastorale de ces espaces très influencés par le fleuve. Dans les années 70, la mise en gabarit européen du fleuve transforma à nouveau le milieu en créant, parallèlement au fleuve, un canal de dérivation, débutant par une vaste retenue d'eau ; paysages de forêts alluviales et milieux aquatiques préservés

Site réserve

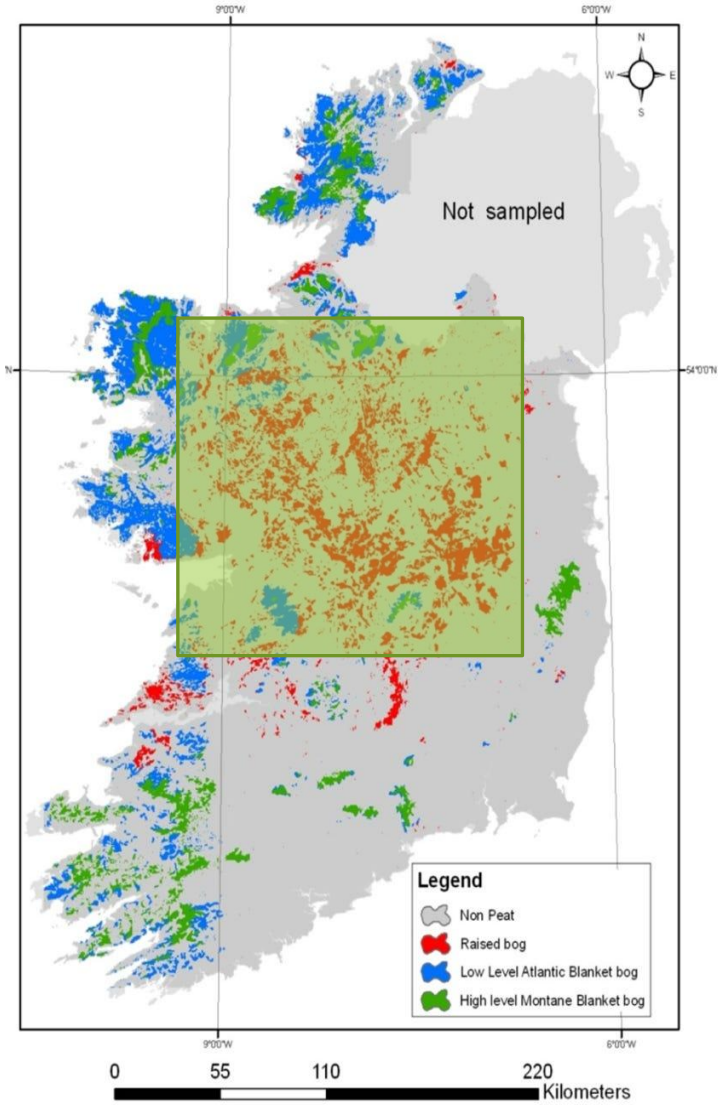


Un premier exemple européen financé par EU LIFE Nature et Biodiversité : Irlande



En **Irlande, le projet Living Bog, réalisé de 2016 à 2021, avait pour but de restaurer 3000 hectares de « tourbières hautes »**.
Pour y parvenir, on bloque les fossés de drainage et on élimine les arbres et arbustes invasifs. Le temps fait ensuite son œuvre.





Timelaps

Immersion 19/06/2010

Immersion 10/04/2025 :



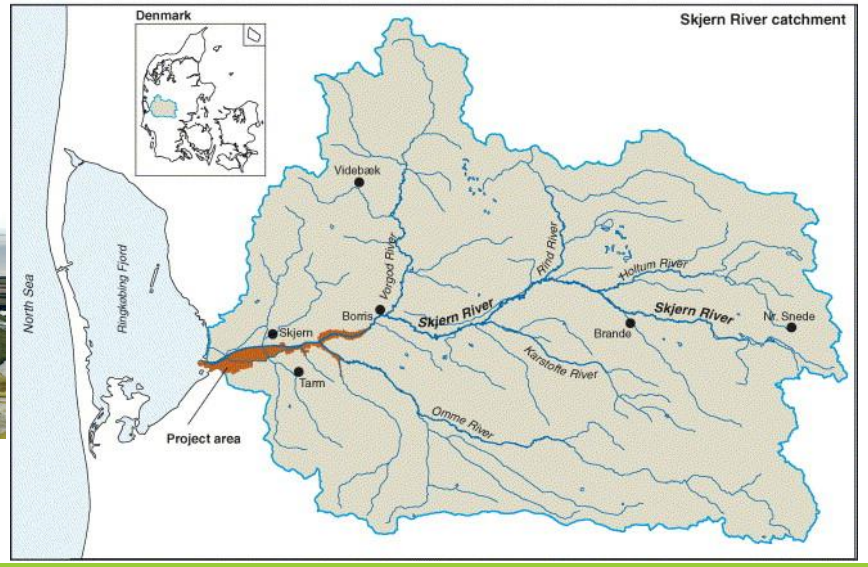
Irlande

Deus exemples européen financé par EU LIFE Nature et Biodiversité :

La rivière Skjern se situe dans l'ouest du Jutland, est, en termes de débit d'eau, **la plus grande rivière du Danemark**, avec un bassin versant de 250 000 ha. À l'embouchure de la rivière, il y avait autrefois une vaste étendue de marécages (4 000 ha) abritant un mélange d'habitats humides : prairies, marécages à roseaux, cours d'eau sinueux, marais et lacs peu profonds. Dans les années 1960, on avait transformé les marais qui la flanquent en terres cultivables denses. En 1987, le gouvernement a ainsi lancé un projet de **renaturalisation de la rivière**, qui a retrouvé **une plaine inondable** où elle peut décrire des méandres, et donc s'autopurifier.

Timelaps





River LIFE (Conservation de l'écrevisse de torrent) : Lancé récemment, ce projet vise à restaurer la continuité des cours d'eau dans le **centre de la Bulgarie (bassins des rivières Stryama et Tundzha)**. Il prévoit notamment la **suppression des barrières obsolètes (barrages, seuils abandonnés)** pour reconnecter les habitats



Vue immersive : Slatina, Plovdiv

LifeBulgaria

Danemark **Bulgarie**

QUELQUES EXEMPLES D'ANALYSES PAYSAGERES AVEC GOOGLE EARTH ENGINE

Exemples de recherche choisis :

02 développements d'applications encore expérimentales et phases d'améliorations:

1- Paysages périurbians forestier de Saint Dié : pertes et gains forestiers entre 2000 et 202' (Hansen).

2- Paysage urbain et périurbain de Lyon entre 2013 et2024 : analyse de la variabilité thermique LST Landsat 5 à 9

02 accompagnements de thèses sub-équatoriales :

3- Parc forestier du Mikea (SSW Madagascar) : analyse et suivis de feux.

4- Paysage urbain Kinsasha (RDC) : essai sur analyse des risques inondations

Les codes indiqués ne sont pas actifs mais des démonstrations peuvent être transmises ainsi que des échanges sur le sujet

GEE : plateforme d'analyse géospatiale basée sur le cloud

Test d'analyse sur le risque caniculaire : Lyon France

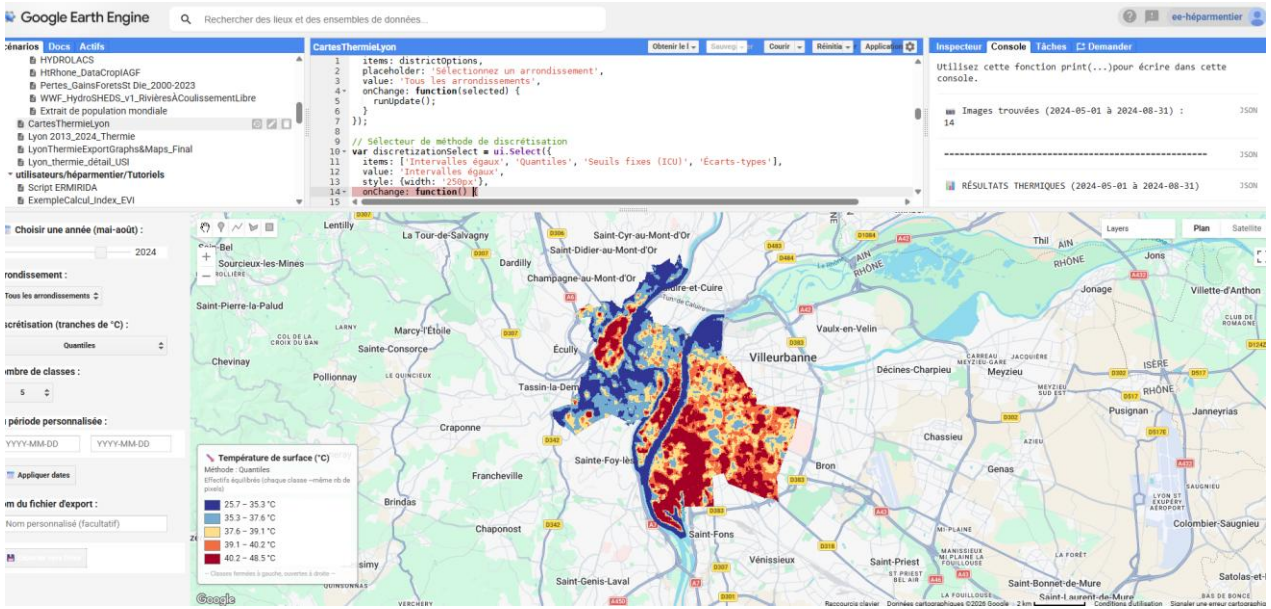
Lyon 2013 à 2024 : Test expérimental d'un interface analyse thermique de surface : (bande thermique Landsat). Thèse Margot Guggenbuhl : https://theses.fr/s398360

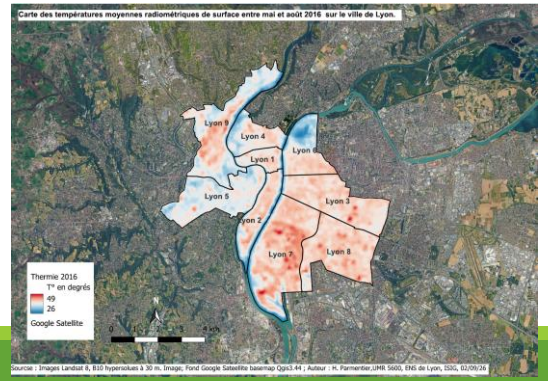
Applications 1 : https://code.earthengine.google.com/e40c48718a4e8962ac31468f82c1807c
Applications 2 : https://code.earthengine.google.com/ba4ee4c2787472d98a8f5fdd507480ab

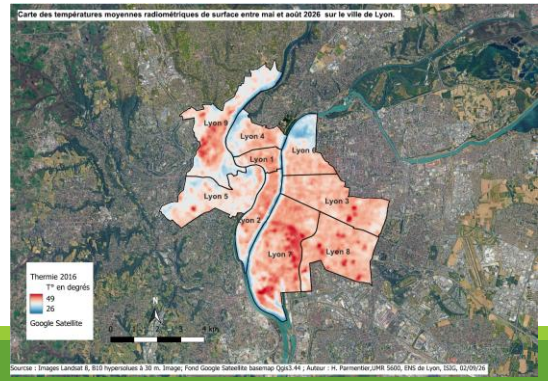
PAYSAGES URBAINS CANICULAIRES









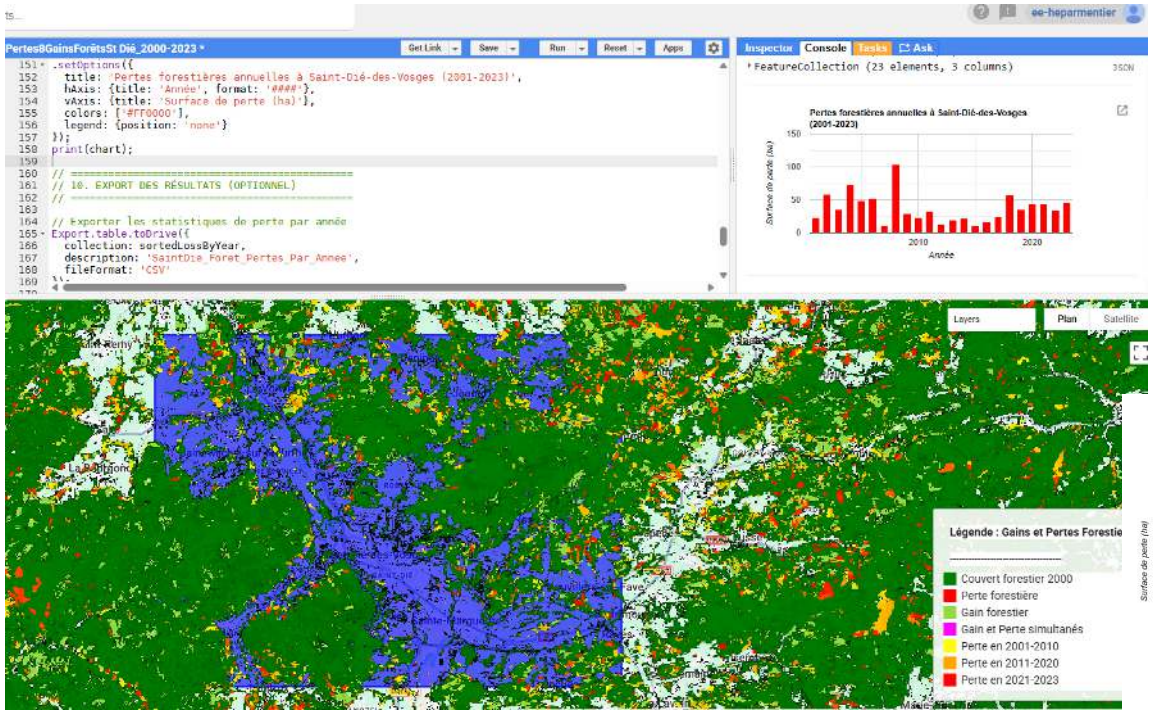


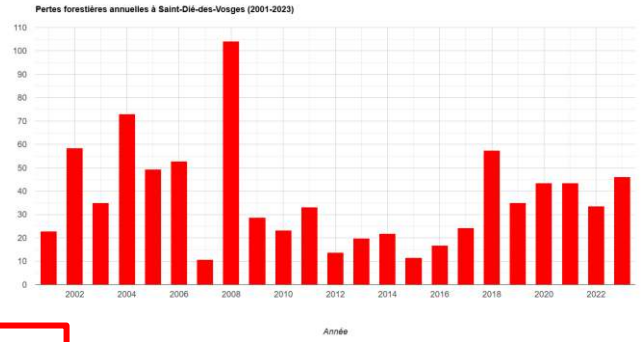
Cette cartographie à été réalisé par des traitements sur le canal thermique d'images Landsat 7 à 9 entre 2016 et 2026 entre le 01/05 et le 01/09/26. Le pixel obtenu normalement a une résolution de 100 m et a été hyperésolu à 30 m. la méthode standard de la littérature s'appuie sur la relation physique et statistique entre la température de surface (LST) et les indices de végétation/structures (NDVI,NDBI,AlbedoMNDWI)

Toutefois pour obtenir vraie hyperrésolution thermique qui respecte les structures physiques au sol (bâtiments, forêts), il faut utiliser une méthode statistique de type DisTrad ou un modèle Random Forest

Essai pertes et gains forestiers (2000 à 2023)- St Dié des Vosges : (Hansen Forest world mapping)

https://code.earthengine.google.com/aaf4bb6d823a2a809d62cdc6032688c3





PAYSAGES FORESTIERS DE RESINEUX (97 %)





La hauteur des canopées avec SpotForm

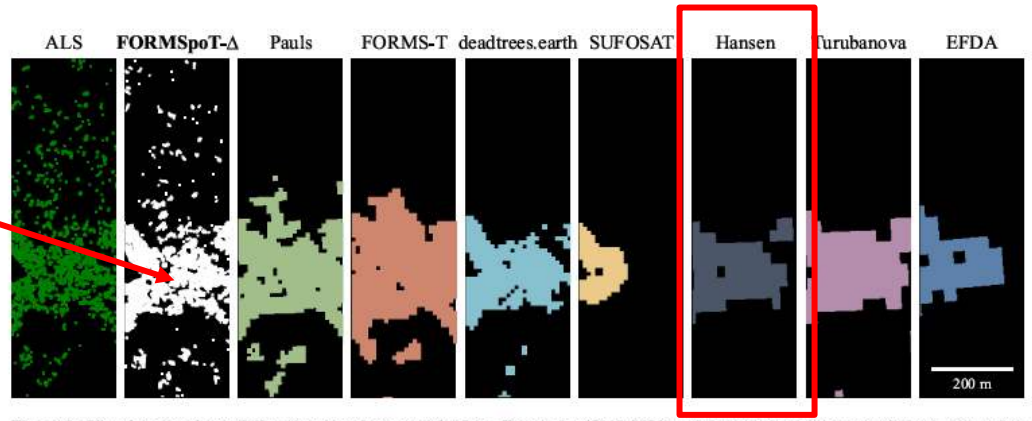


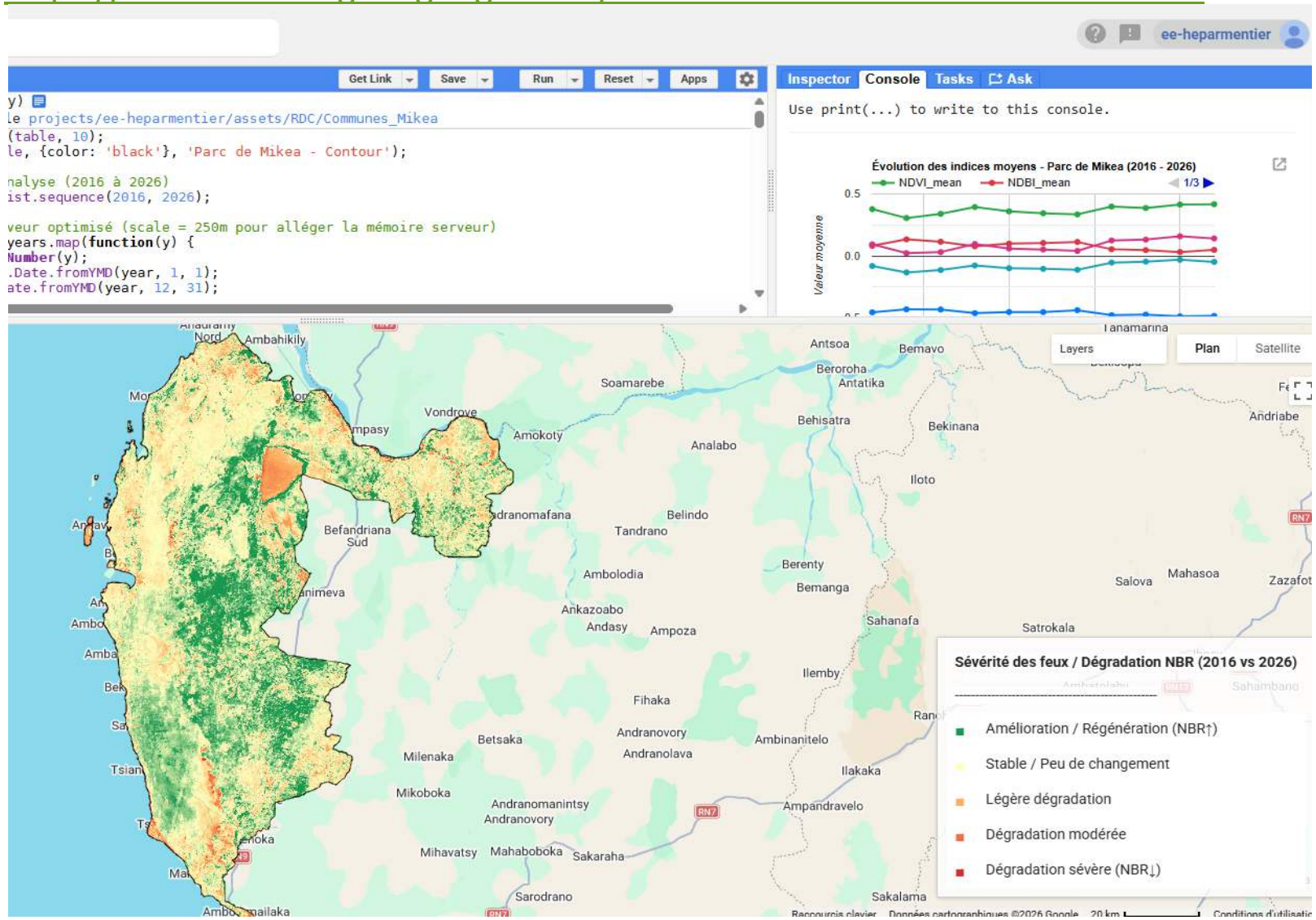
Figure 9: Visual comparison of disturbance polygons at the Joux-Fresse site (2019-2022). ALS-derived polygons were derived using a 5 m threshold and an opening morphological filter (Section 4.4.1). The Turubanova dataset is only available for 2019-2021 but is shown for reference. Location: 46.83 °N, 6.03°E.

https://arxiv.org/pdf/2512.17021

Parc du Mikea (S.S.W. Madagascar) : sévérité des feux (2016 Vs 2026).

Thèse Baovola RAFANOHARANA, IRD Montpellier- Projet co-publication AIC

https://code.earthengine.google.com/fcda5f2928fb284afe0c82c1748e45d7



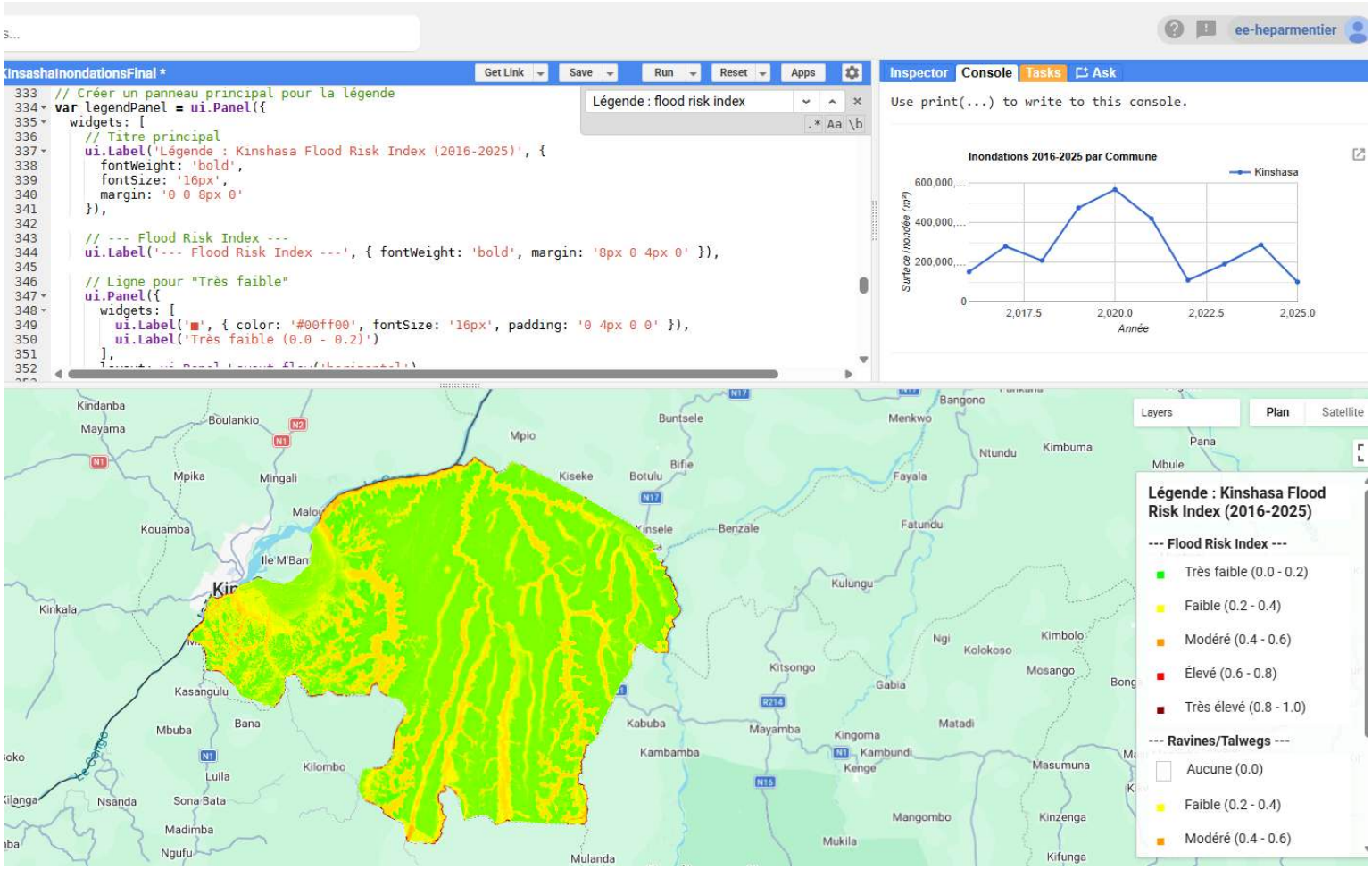
PAYSAGES FORESTIERS DECIDUS SECS





Risques inondations Kinshasa (RDC) – Thèse DIEUMERCI Eluo, UMR 5600, , EVS Isthme, Université St Etienne

https://code.earthengine.google.com/95df4cecc194027f83a2df9345bf7daf



PAYSAGES URBAINS INONDES







Test de cartographie des ravines à risques d'inondations avec classification qualitative du risque

CONCLUSION :
Un usage conditionné par les résolutions (spatiale et temporelle) des images utilisées pour les paysages

Ses fonctionnalités clés sont :

1.Accès à des données massives :

- Données satellitaires (Landsat, Sentinel, MODIS, etc.).
- Données météorologiques, topographiques, et environnementales.
- Historique d'images remontant jusqu'aux années 1970.

2.Traitement en cloud :

- Exécution de calculs complexes directement sur les serveurs de Google.
- Pas besoin de télécharger ou stocker les données localement.

3.Outils d'analyse :

- Détection des changements (déforestation, urbanisation, etc.).
- Classification d'images (ex. : couverture végétale, types de sols).
- Analyse temporelle (suivi de l'évolution d'une zone sur plusieurs années).

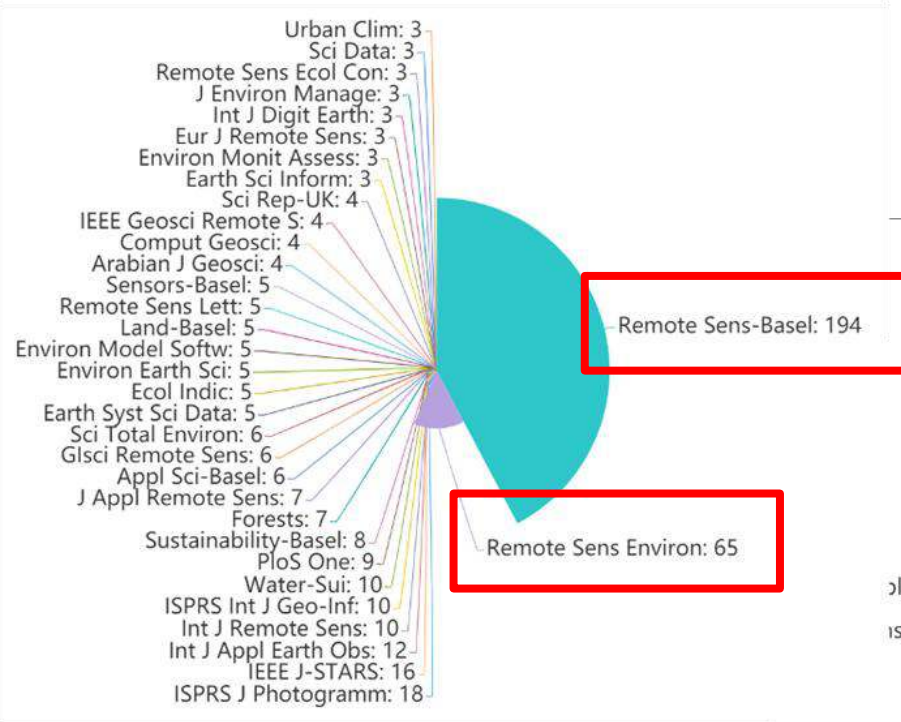
4.API JavaScript et Python :

- Permet d'écrire des scripts pour automatiser des analyses.
- Intégration avec des outils comme Google Colab ou Jupyter Notebook.

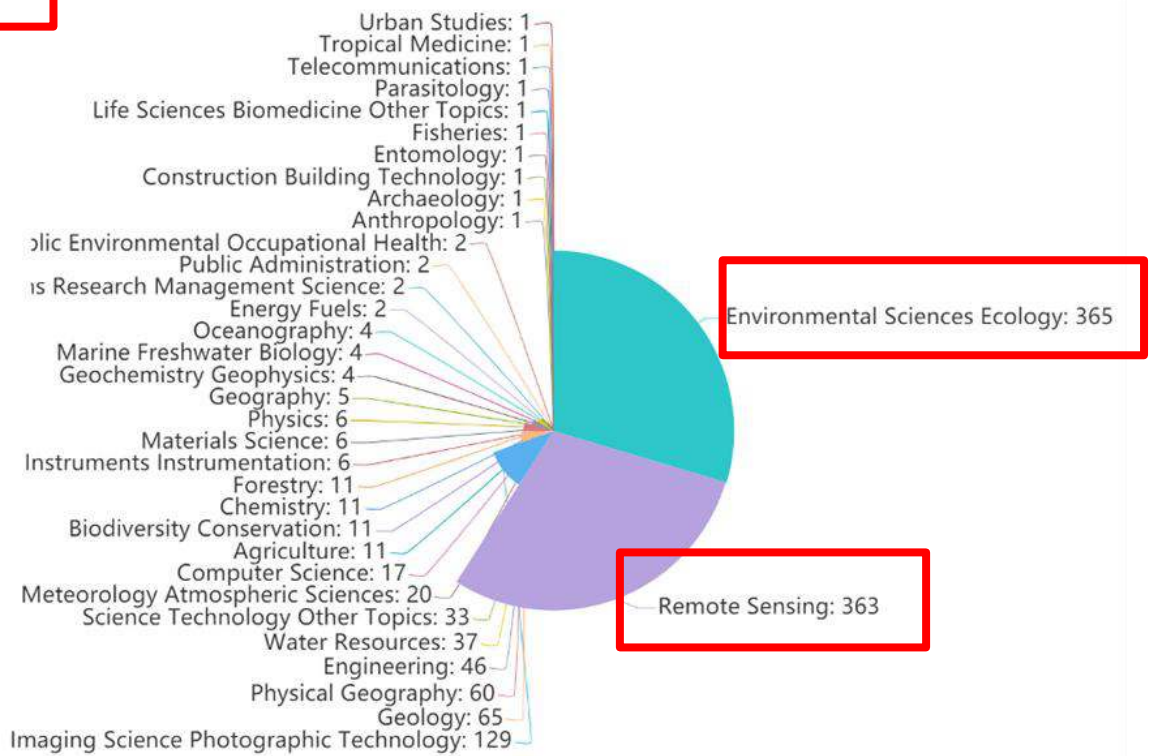
5.Visualisation interactive :

- Création de cartes et de timelapses pour explorer les données.

GEE - Quelles limites et ouvertures ? Publication et disciplines



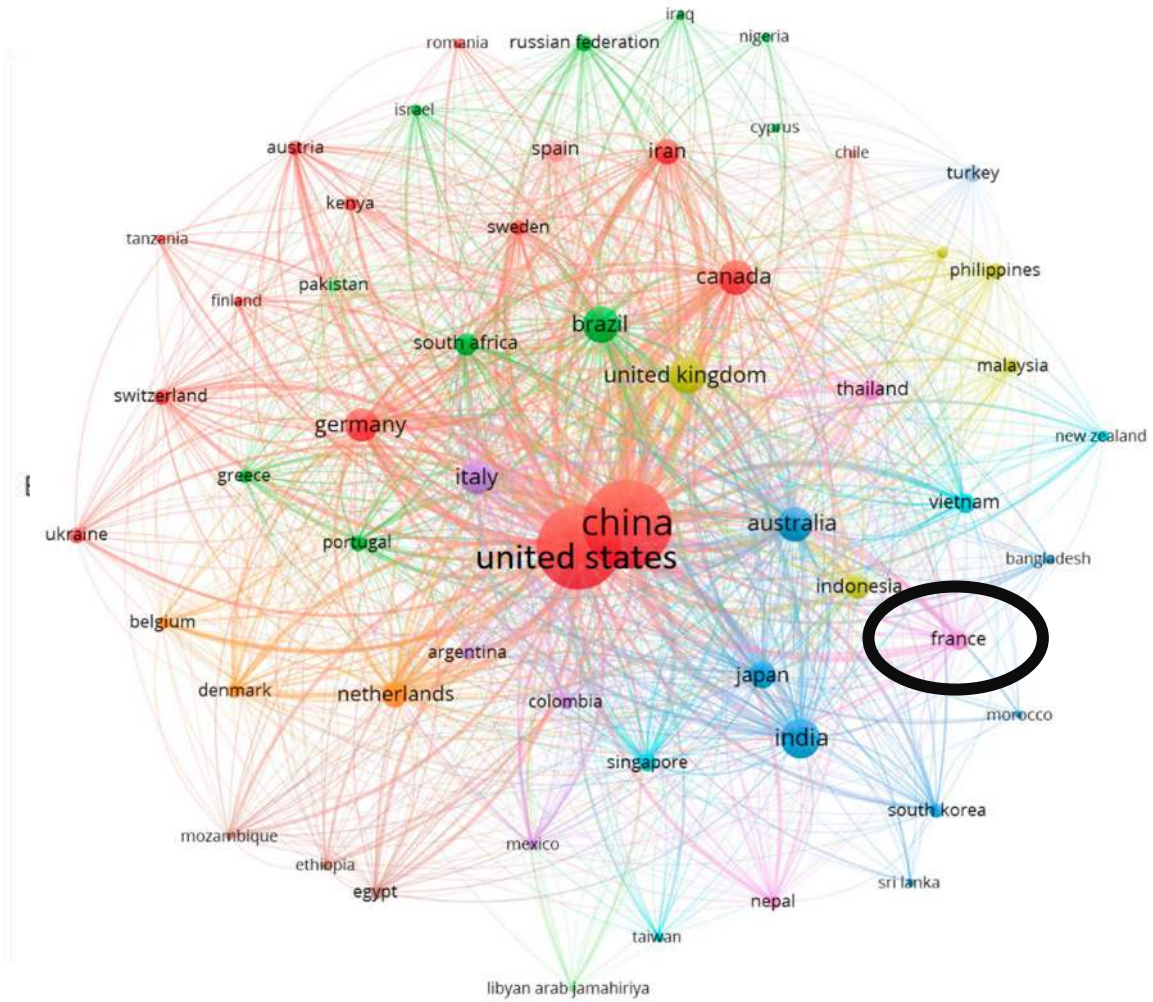
Publications GEE par type de revues



Disciplines de recherche impliquant GEE

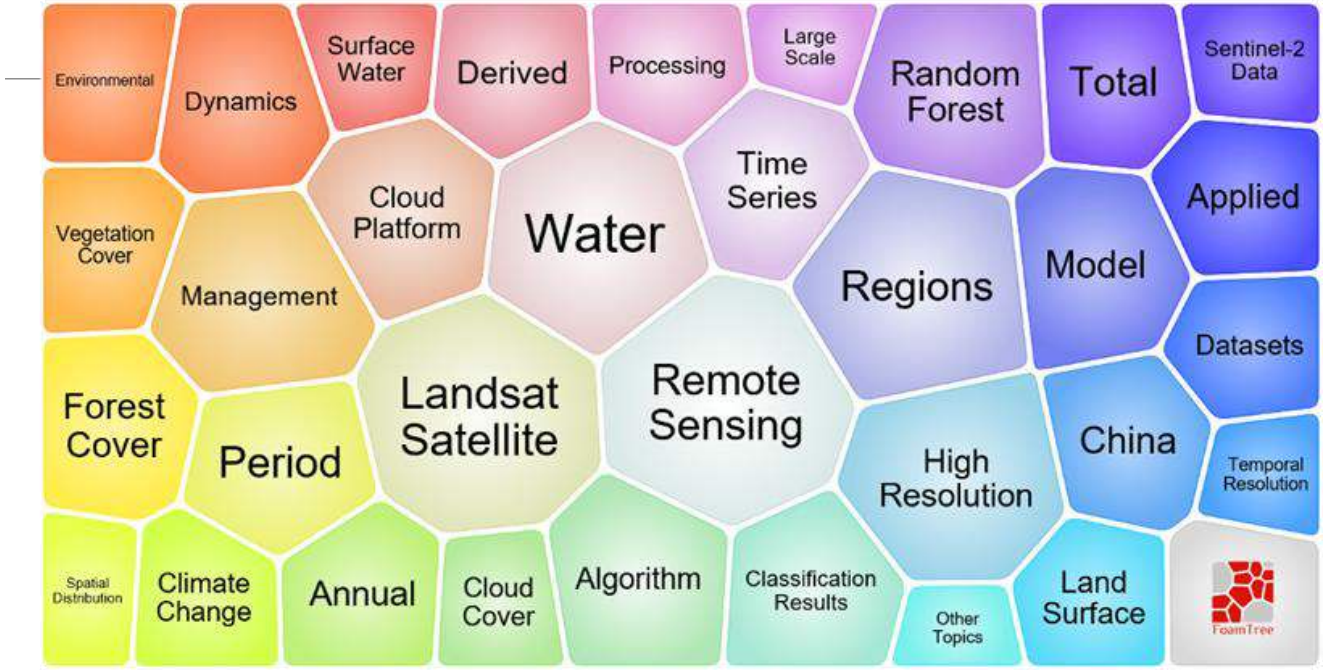
Source : https://encyclopedia.pub/entry/14783

GEE - Quelles limites et ouvertures ? Pays utilisateurs, mots clefs.



Pays utilisateurs de GEE (2022)

Source : https://www.mdpi.com/2072-4292/15/14/3675



Mots-clés liés à GEE

Source : https://encyclopedia.pub/entry/14783

GEE pour suivre l’évolution des paysages et de leurs composantes

Limites à l’utilisation de GEE

Analyse multi-dimensionnelle des contraintes techniques, méthodologiques et éthiques



⚙️ 1. Enjeux Techniques

- **Complexité algorithmique**
  Nécessite des compétences avancées en programmation (JavaScript/Python) et en télédétection (Machine Learning, séries temporelles).
- **Limites de calcul**
  Plafond mémoire/calcul atteint lors de requêtes trop complexes ou sur de très grandes zones.
- **Qualité des données**
  Dépendance directe aux résolutions (spatiale, temporelle, spectrale) et à la qualité des prétraitements.

🔬 2. Enjeux Méthodologiques

- **Choix des indices & modèles**
  Sélectionner les bons algorithmes et indices nécessite une solide expertise théorique.
- **Validation des résultats**
  Nécessité de croiser avec des données de référence (vérité terrain) pour éviter les biais ou erreurs de classification.

GEE pour suivre l’évolution des paysages et de leurs composantes

Limites à l’utilisation de GEE

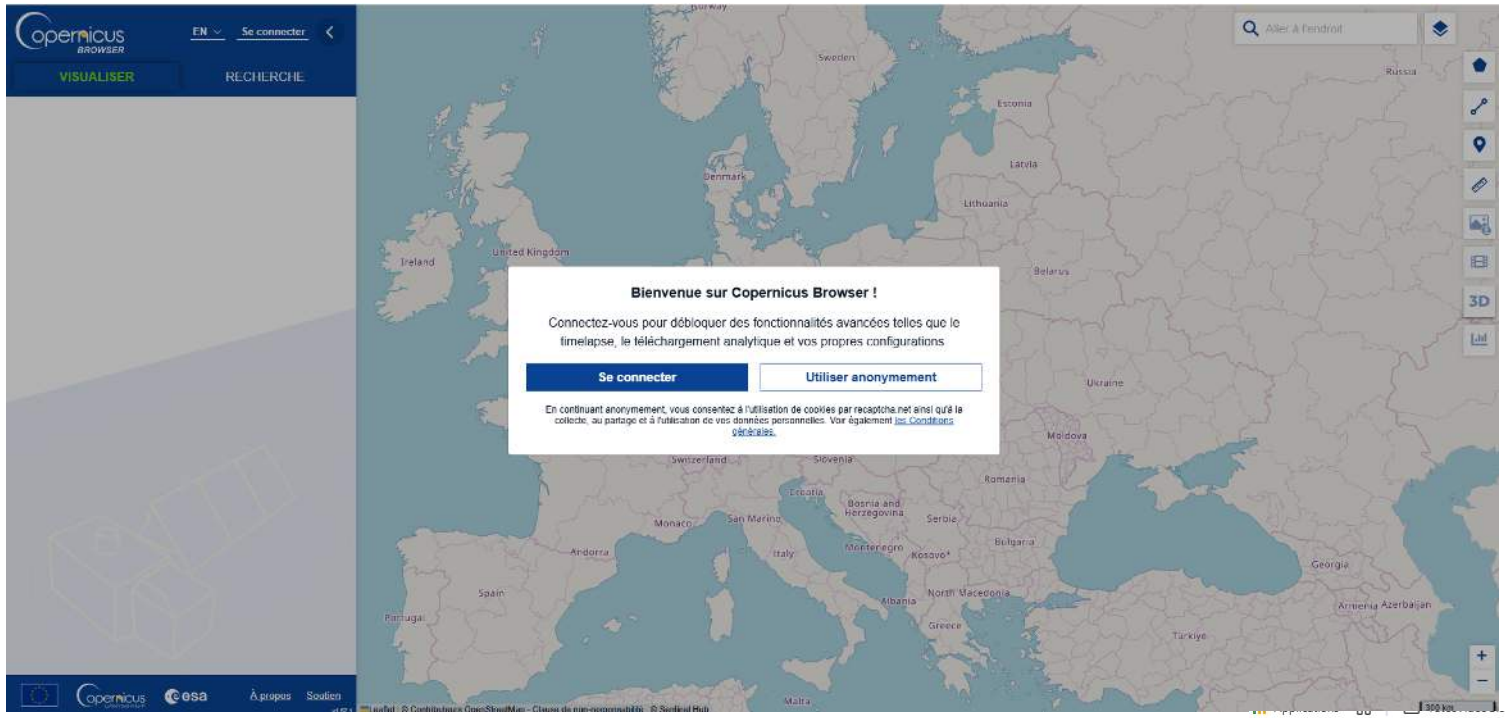
⚖️ 3. Enjeux Éthiques & Sociétaux

- **Accès aux données**
  Démocratisation par GEE mais restrictions sur certaines zones/données pour des raisons de sécurité ou confidentialité.
- **Utilisation responsable**
  Les analyses doivent respecter scrupuleusement la vie privée.
- **Impact environnemental**
  Consommation massive de ressources par les data centers (empreinte carbone des traitements).

🎯 4. Enjeux Applicatifs

- **Prise de décision**
  Directement influent sur les politiques publiques (aménagement, gestion des ressources) et stratégies privées (agriculture de précision).
- **Collaboration & partage**
  Facilité de partage de scripts, mais exige une bonne documentation pour assurer la réutilisabilité.

PERSPECTIVES : Quelle alternative complémentaire européenne ?



[Copernicus Browser]

CoperniCUBE



Nationale ?

MERCI DE VOTRE ATTENTION !

Hervé PARMENTIER

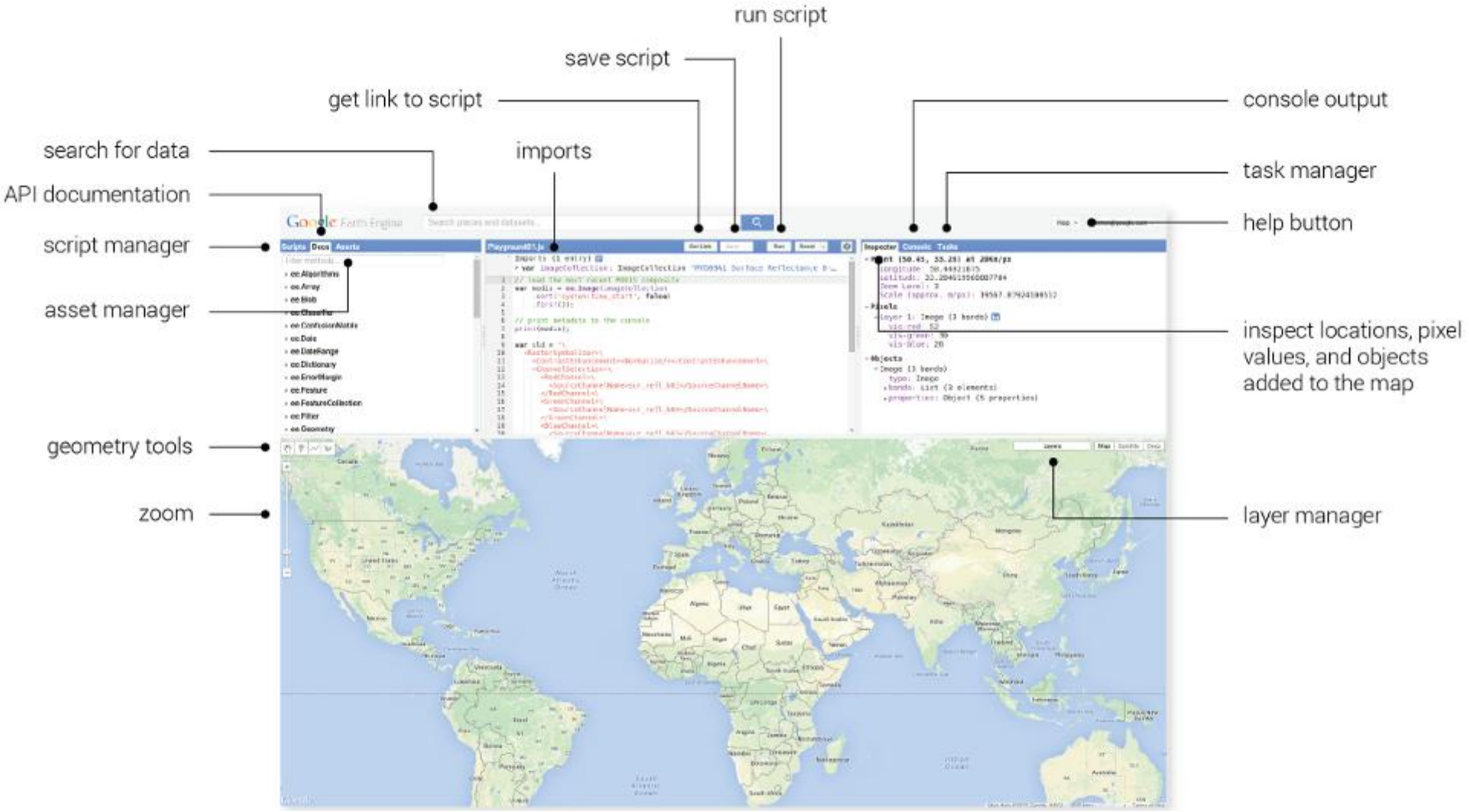
Ingénieur d'étude en Sciences de l'information Géographique
ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE LYON
Pôle de la Recherche, plateforme Ingénierie spatiale, Images et Géomatique (ISIG)
UMR 5600 - Laboratoire Environnement, Ville, Société
Bâtiment D4 / Descartes / Bureau D4-245
15 Parvis René Descartes, BP 7000
69342 Lyon cedex 07
Email : herve.parmentier@ens-lyon.fr
Tel :(00 33) 4.37.37.64.37.

Hal publications
ResearchGate publications
DGESCO Geoconfluences publications

FESTIVAL INTERNATIONAL DE GÉOGRAPHIE de Saint-Dié-des-Vosges
evs CNRS UMR 5600
ENS DE LYON

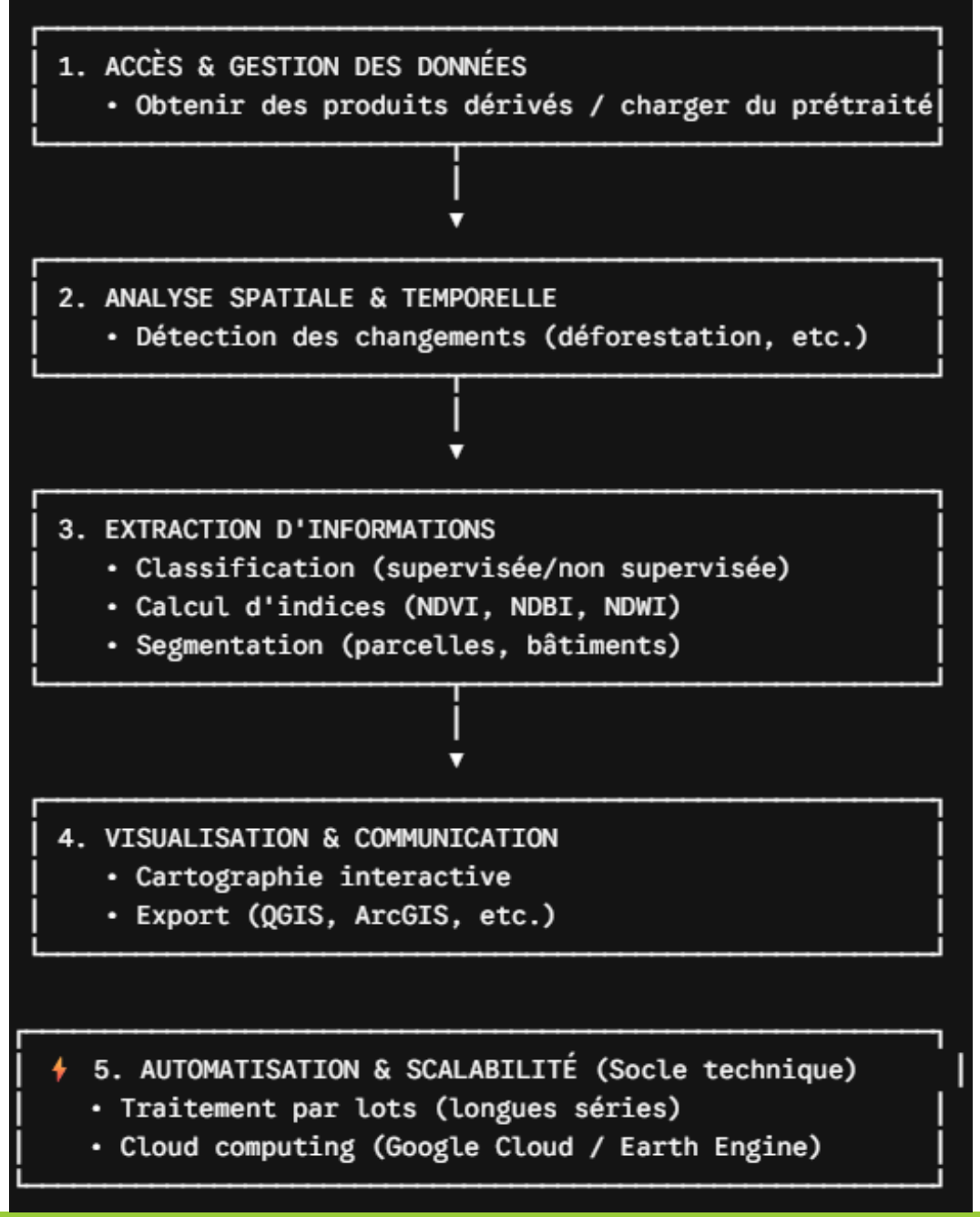
ANNEXE :
PRESENTATION SOMMAIRE DE LA PLATEFORME GEE

Interface de navigation:



GEE pour suivre l’évolution des paysages et de leurs composantes

Possibilités d’utilisation de GEE



Ses fonctionnalités clés sont :

1.Accès à des données massives :

- Données satellitaires (Landsat, Sentinel, MODIS, etc.).
- Données météorologiques, topographiques, et environnementales.
- Historique d'images remontant jusqu'aux années 1970.

2.Traitement en cloud :

- Exécution de calculs complexes directement sur les serveurs de Google.
- Pas besoin de télécharger ou stocker les données localement.

3.Outils d'analyse :

- Détection des changements (déforestation, urbanisation, etc.).
- Classification d'images (ex. : couverture végétale, types de sols).
- Analyse temporelle (suivi de l'évolution d'une zone sur plusieurs années).

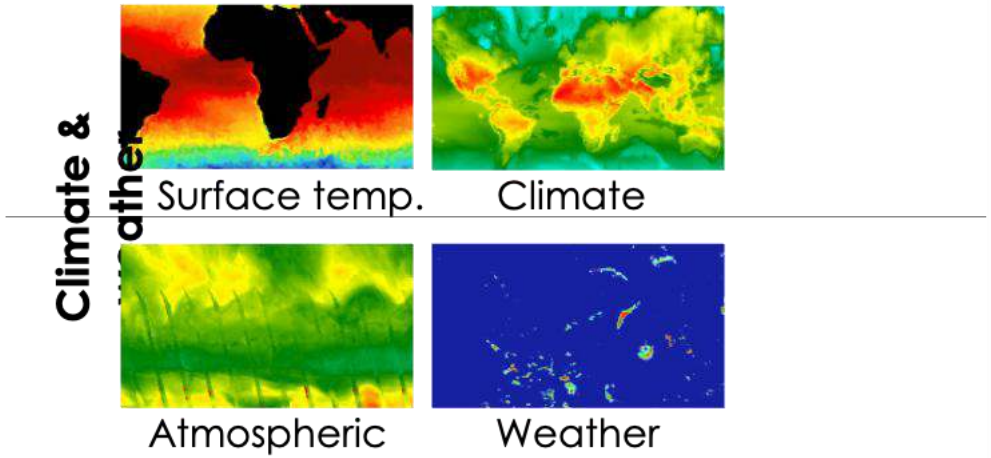
4.API JavaScript et Python :

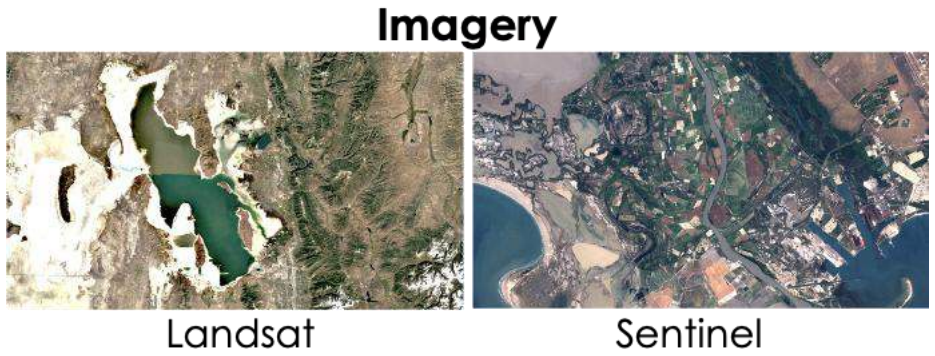
- Permet d'écrire des scripts pour automatiser des analyses.
- Intégration avec des outils comme Google Colab ou Jupyter Notebook.

5.Visualisation interactive :

- Création de cartes et de timelapses pour explorer les données.

GEE - Catalogue des données disponibles- 1





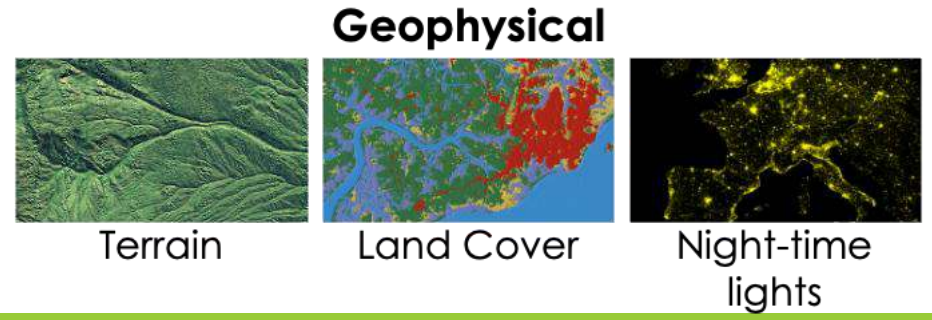


Table 1
Frequently used datasets in the earth engine data catalog.

Dataset	Nominal resolution	Temporal granularity	Temporal coverage	Spatial coverage
Landsat				
Landsat 8 OLI/TIRS	30 m	16 day	2013–Now	Global
Landsat 7 ETM+	30 m	16 day	2000–Now	Global
Landsat 5 TM	30 m	16 day	1984–2012	Global
Landsat 4–8 surface reflectance	30 m	16 day	1984–Now	Global
Sentinel				
Sentinel 1 A/B ground range detected	10 m	6 day	2014–Now	Global
Sentinel 2A MSI	10/20 m	10 day	2015–Now	Global
MODIS				
MOD08 atmosphere	1°	Daily	2000–Now	Global
MOD09 surface reflectance	500 m	1 day/8 day	2000–Now	Global
MOD10 snow cover	500 m	1 day	2000–Now	Global
MOD11 temperature and emissivity	1000 m	1 day/8 day	2000–Now	Global
MCD12 Land cover	500 m	Annual	2000–Now	Global
MOD13 Vegetation indices	500/250 m	16 day	2000–Now	Global
MOD14 Thermal anomalies & fire	1000 m	8 day	2000–Now	Global
MCD15 Leaf area index/FPAR	500 m	4 day	2000–Now	Global
MOD17 Gross primary productivity	500 m	8 day	2000–Now	Global
MCD43 BRDF-adjusted reflectance	1000/500 m	8 day/16 day	2000–Now	Global
MOD44 veg. cover conversion	250 m	Annual	2000–Now	Global
MCD45 thermal anomalies and fire	500 m	30 day	2000–Now	Global
ASTER				
L1 T radiance	15/30/90 m	1 day	2000–Now	Global
Global emissivity	100 m	Once	2000–2010	Global
Other imagery				
PROBA-V top of canopy reflectance	100/300 m	2 day	2013–Now	Global
EO-1 hyperion hyperspectral radiance	30 m	Targeted	2001–Now	Global
DMSP-OLS nighttime lights	1 km	Annual	1992–2013	Global
USDA NAIP aerial imagery	1 m	Sub-annual	2003–2015	CONUS
Topography				
Shuttle Radar Topography Mission	30 m	Single	2000	60°N–54°S
USGS National Elevation Dataset	10 m	Single	Multiple	United States
USGS GMTED2010	7.5″	Single	Multiple	83°N–57°S
GTOPO30	30″	Single	Multiple	Global
ETOPO1	1′	Single	Multiple	Global
Landcover				
GlobCover	300 m	Non-periodic	2009	90°N–65°S
USGS National Landcover Database	30 m	Non-periodic	1992–2011	CONUS
UMD global forest change	30 m	Annual	2000–2014	80°N–57°S
JRC global surface water	30 m	Monthly	1984–2015	78°N–60°S
GLCF tree cover	30 m	5 year	2000–2010	Global
USDA NASS cropland data layer	30 m	Annual	1997–2015	CONUS
Weather, precipitation & atmosphere				
Global precipitation measurement	6′	3 h	2014–Now	Global
TRMM 3B42 precipitation	15′	3 h	1998–2015	50°N–50°S
CHIRPS precipitation	3′	5 day	1981–Now	50°N–50°S
NLDAS-2	7.5′	1 h	1979–Now	North America
GLDAS-2	15′	3 h	1948–2010	Global
NCEP reanalysis	2.5°	6 h	1948–Now	Global
ORNL DAYMET weather	1 km	Annual	1980–Now	North America
GRIDMET	4 km	1 day	1979–Now	CONUS
NCEP global forecast system	15′	6 h	2015–Now	Global
NCEP climate forecast system	12′	6 h	1979–Now	Global
WorldClim	30″	12 images	1960–1990	Global
NEX downscaled climate projections	1 km	1 day	1950–2099	North America
Population				
WorldPop	100 m	5 year	Multiple	2010–2015
GPWv4	30″	5 year	2000–2020	85°N–60°S

GEE - Quelles limites et ouvertures ?

Avantages

> Accès aux données et traitements

> Possibilité de transferts et partage de scripts et de resources vers d'autres utilisateurs.

> Résolution temporelle

> Large communauté (tutoriels, scripts partagés, blogs…)

> Differents niveaux de traitements

> Utilisation avec Python et Js API

> Utilisation avec GPT

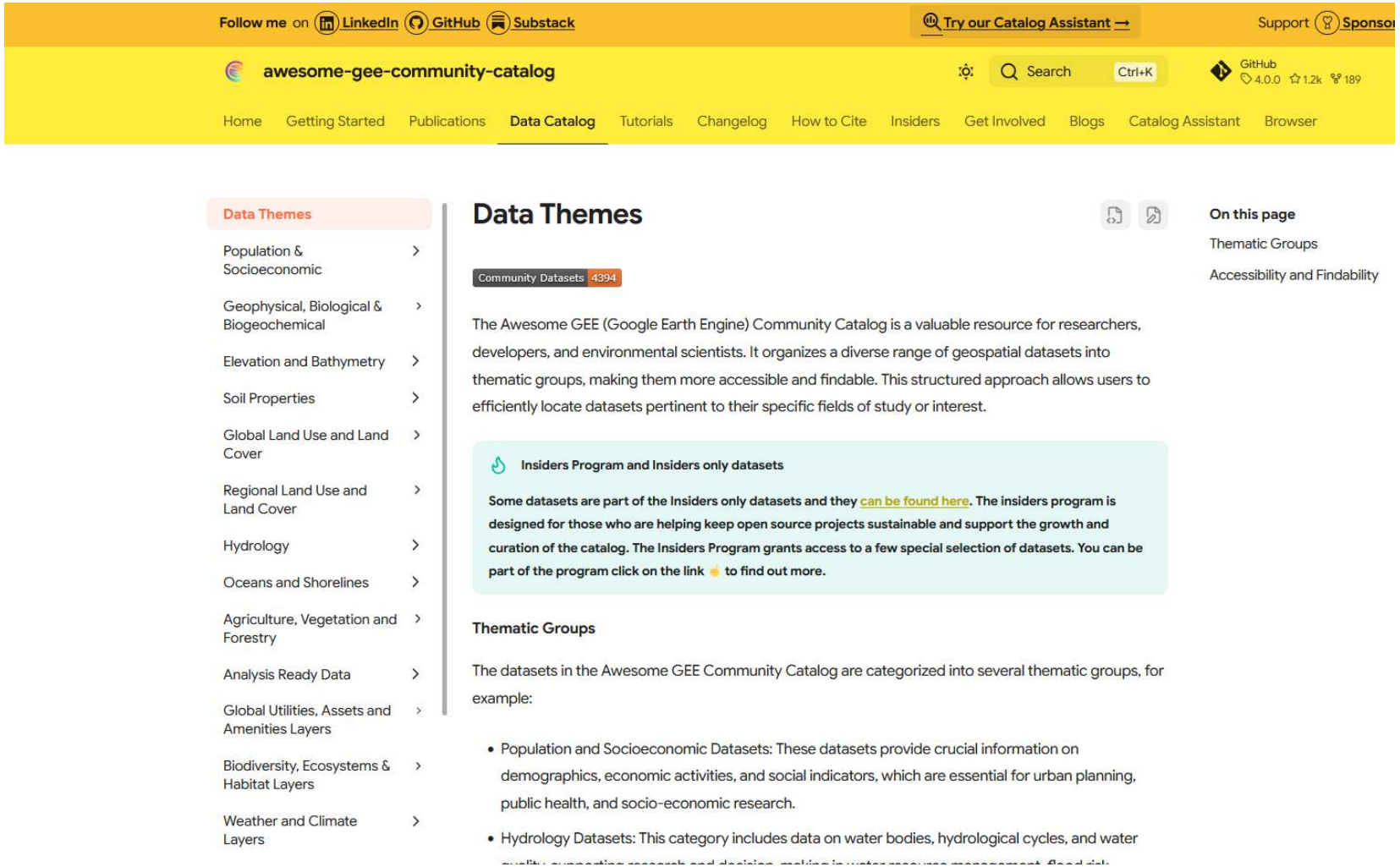


Inconvénients

- Données libres ? Le stockage sur le Google Drive est limité à 15 Go…
- API JavaScript de GEE (basée sur le Web) ou Python pas toujours simple à appréhender.
- > Résolution spatiale : pas moins de 10 m
- Plantage si calculs trop important sur grandes séries images ou complexité des calculs



GEE - Catalogue des données disponibles - 2



https://gee-community-catalog.org/projects/

GEE - Quelques ressources

Pour débuter :

> Comment utiliser Google Earth Engine : https://developers.google.com/earth-engine

> Premiers pas avec Earth Engine : https://developers.google.com/earth-engine/guides/getstarted

> Des tutos "first steps" utile : https://courses.spatialthoughts.com/end-to-end-gee.html

ou https://geospatialdev.com/earth_engine

Pour programmer :

> L'API JavaScript Earth Engine / tutoriels :
https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/tutorials

> Tutoriels vidéos (Eng) : https://developers.google.com/earth-engine/tutorials/videos

> Maîtriser le développement sous google earth engine :
https://pressbooks.etsmtl.ca/developpementsougoogleearthengine/front-matter/introduction/

ou https://geospatialdev.com/earth_engine

> Enfin pour l'accès au forum de discussion et autres ressources : https://developers.google.com/earth-engine/

Comment se faire aider par une communauté d'utilisateurs-trices ?

> Linkedin GEE community : https://www.linkedin.com/company/googleearth/

> Obtenir de l'aide sur GEE : https://developers.google.com/earth-engine/help?hl=fr

> Ressources éducation pour GEE : https://www.google.com/intl/fr/earth/resources/

> Contenus Github divers de la communauté GEE : https://github.com/gee-community