

Année académique : 2020 – 2021
Cursus Ingénieur Agronome

RAPPORT DE STAGE DE DEUXIEME ANNEE

YEBOUET Cédrick-Armel Yao

PRODUCTION D'UN OUTIL DE VISUALISATION
D'INDICATEURS SPATIALISES DU RISQUE DE
DEFORESTATION

Maîtres de Stage

Clovis GRINAND

Elsa SANIAL

Tuteur Pédagogique :

Nicolas DEVAUX

Stage Réalisé du 25 mai au 20 août 2021

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	4
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	5
LISTE DES FIGURES	6
LISTE DES TABLEAUX.....	6
RESUME	7
INTRODUCTION	8
1) ENJEUX ET BESOINS POUR UNE CACAOCULTURE DURABLE	10
1.1 Situation de la cacaoculture en Côte d’Ivoire	10
1.2 Rôle de la cacaoculture dans la déforestation en Côte d’ivoire	11
1.3 Systèmes de certification pour une cacaoculture durable	11
1.4 L’agroforesterie : Un mode de production durable	12
1.5 Présentation de la structure d’accueil.....	13
1.5.1 Présentation de Nitidae	13
1.5.2 Missions.....	13
1.5.3 Nitidae Lab’	13
1.6 Positionnement et tentatives de réponse de ce stage	14
2) MATERIEL ET METHODES	14
2.1 Matériel	14
2.2 Méthodes	14
2.2.1 Collecte d’informations	14
2.2.2 Choix des données satellitaires.....	14
2.2.3 Outil de développement : <i>Code Editor</i> de GEE	15
2.2.4 Construction des séries temporelles de NDVI.....	15
2.2.4 Calcul des métriques à partir des produits satellitaires.....	15
3) DESCRIPTION DES DONNEES	15
3.1 Données de terrain.....	15
3.2 Données et produits satellitaires.....	17
3.2.1 Tropical Moist Forest (TMF)	17
3.2.2 Radar for Detecting Disturbance (RADD) Forest disturbance Alerts	18
3.2.3 Global Land Analysis and Discovery Forest Loss Alerts (GLAD Alerts)	18
3.2.4 Global Forest Change	18
3.2.5 Cocoa Map.....	19
4) ANALYSE ET CONCEPTION	19
4.1 Spécification des besoins	19

4.2 Fonctionnalités	19
5) REALISATION ET CONCEPTION.....	20
5.1 Client vs server.....	20
5.2 Importation et stockage des données.....	20
5.3 Gestion des accès	21
5.4 Fonctionnalités de l’outil final	22
5.5 Présentation de quelques interfaces de l’application.....	23
5.6 Usages possibles de l’application prototype	24
6) LIMITES DE L’APPLICATION	25
CONCLUSION.....	27
BIBLIOGRAPHIE.....	28
ANNEXES.....	29
Annexe 1 : Lien de l’application	29
Annexe 2 : Lien du répertoire des scripts.....	29
Annexe 3 : Cahier des charges du stage	30

REMERCIEMENTS

Notre reconnaissance va à l'endroit de toutes ces personnes qui, de près ou de loin, ont contribué au bon déroulement de ce stage ainsi qu'à la réalisation du présent rapport. Plus particulièrement, nous tenons à remercier :

- **Nicolas Deveaux**, notre tuteur pédagogique, pour l'obtention de ce stage et son accompagnement durant sa réalisation ;
- **Clovis Grinand**, notre maître de stage, pour sa disponibilité et ses commentaires constructifs tout au long de ce stage ;
- **Elsa Sanial**, notre maître de stage pour sa disponibilité, ses commentaires constructifs et sa relecture d'une version antérieure de ce rapport ;

Nos salutations les plus distinguées encore une fois à toute l'équipe du N' Lab' pour l'accueil dont nous avons eu droit.

SIGLES ET ABREVIATIONS

SIGLES	DEFINITIONS
SIG	Système d'Information Géographique
GEE	Google Earth Engine
BCEAO	Banque Centrale des Etats d'Afrique de l'Ouest
TMF	Tropical Moist Forest
REDD	Réduction des Emissions issues de la Déforestation et de la Dégradation forestière
FAO	Food and Agriculture Organization
ENV	Enquête sur le Niveau de Vie des ménages
PIB	Produit Intérieur Brut
CIRAD	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
GLAD	Global Land Analysis and Discovery
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
GRET	Groupe de Recherche et d'Echange Technologique

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Hypothèses de rendement du cacao. Source : UNRED, 2018.....	12
Figure 2 : Zone écologique couverte par TMF	18
Figure 3 : Illustration importation de données dans les assets.....	21
Figure 4 : Gestion des accès et autorisations	21
Figure 5 : Architecture du prototype.....	22
Figure 6 : Page d'accueil de l'application.....	23
Figure 7 : Interface principale de l'application	23
Figure 8 : Comparaison de deux cartes	24
Figure 9 : Sélection d'une carte à afficher.....	24
Figure 10 : Exportation d'images	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description et méthodes d'agrégation des métriques	16
Tableau 2 : Liste des indicateurs terrains importés dans l'application	17

RESUME

Le secteur du cacao en Côte d'Ivoire va connaître des bouleversements en partie lié à la dégradation de l'environnement agro écologique de la cacaoculture dont il est en partie responsable. La Côte d'Ivoire a vu une grande partie de sa forêt convertie en cacaoculture et doit maintenant envisager de nouveaux modes de productions plus durables pour répondre aux nouvelles exigences des consommateurs sur le marché mondial. Une manière de faire serait d'encourager la transition vers des systèmes agro forestiers notamment en rémunérant les producteurs certifiés.

Ce stage apporte sa contribution par le développement d'un outil de suivi des systèmes agroforestiers et d'alerte déforestation sur Google Earth Engine. Cet outil peut avoir de nombreuses applications notamment être un outil d'appui dans la certification en retraçant l'historique des parcelles de cacao. Toutefois, Il doit être amélioré pour véritablement devenir un outil référence d'aide à la décision que ce soit au niveau des auditeurs que des politiques. Il s'agit entre autres d'optimiser le temps d'exécution de l'application, d'identifier automatiquement les parcelles à risques et la possibilité de faire des analyses sur n'importe quelle zone d'intérêt entrée par l'utilisateur.

Mots clés : Cacaoculture ; déforestation ; certification ; Google Earth Engine

INTRODUCTION

Pays d’Afrique de l’Ouest, la Côte d’Ivoire est située entre 4°30 et 10°30 de latitude nord et 2°30 et 8°30 de longitude ouest, avec une superficie de 322 462 Km². Elle abrite une population de plus de 23 ,7 millions d’habitants qui vivent principalement de l’agriculture (FAO, 2009). En effet, l’agriculture a constitué le principal moteur de l’économie ivoirienne à l’aube de son indépendance avec le développement de cultures de rentes impulsé par l’Etat. La cacaoculture est rapidement devenue le fer de lance de l’économie ivoirienne et représente 15 % du produit intérieur brut, 40 % des exportations du pays (Banque Mondiale, 2019) et assure les moyens de subsistance de près de huit millions de personnes. Toutefois, la fertilité décroissante des sols, les maladies et le vieillissement des plantations ont poussé les petits producteurs de cacao ivoiriens à chercher de meilleurs rendements sur les terres forestières. Au rythme actuel de déforestation, la Côte d’Ivoire est en voie de perdre irrémédiablement la totalité de son couvert forestier d’ici à 2034 (UNREDD, 2018).

Au vu du déclin du capital forestier ivoirien, les politiques et les acteurs se sont engagés (notamment au sein de *Cocoa and Forests Initiative*) à s’inscrire dans la stratégie nationale REDD+ et la politique agricole zéro déforestation. Ainsi tous sont d’accord que l’intensification agricole durable et l’intégration de l’agroforesterie dans les plantations sont des conditions sine qua non à la lutte contre la déforestation et la reconstitution du couvert forestier ivoirien « *afin de briser le cercle vicieux de la dégradation environnementale, de l’appauvrissement des producteurs et de l’insécurité alimentaire* » (UNREDD, 2018). Afin d’inciter la transition vers l’agroforesterie qui a un coût financier, il faut penser un cadre de valorisation et de certification du cacao agroforestier pour la rémunération des producteurs certifiés.

La multiplication des données satellitaires et plateformes de traitements et d’analyse de haut niveau offre des moyens de suivre l’état des agroécosystèmes à des vitesses et niveaux de précision sans précédent mais ces données demeurent sous-exploitées du fait de limitations techniques, de ressources, de pertinence vis-à-vis des besoins des utilisateurs et de correspondance avec des observations de terrain. De ce fait, la présente étude a pour but de produire un **tableau de bord dynamique** d’indicateurs de suivi de la dynamique des couverts pour le suivi chronologique des parcelles de cacao. De manière spécifique il s’agira de développer une chaîne de traitement de données satellitaires, bien commentée, avec Google Earth Engine et une interface utilisateur de visualisation (tableau de bord) des indicateurs terrains et de télédétection de suivi des parcelles de cacao sur Google Earth Engine.

A cet égard, ce rapport passe en revue, dans la première partie les enjeux et les besoins d'une cacao-culture durable, puis aborde dans un deuxième temps le matériel et la méthode utilisée pour justifier les résultats avant de revenir sur les étapes de la conception de l'outil. Les limites de la présente étude sont discutées dans la dernière partie.

1) ENJEUX ET BESOINS POUR UNE CACAOCULTURE DURABLE

1.1 Situation de la cacaoculture en Côte d'Ivoire

La cacaoculture est omniprésente dans l'historique et le vécu des populations ivoiriennes. Elle est au cœur des événements qui ont marqué le développement de la Côte d'Ivoire au cours de ces soixante dernières années. Ces événements démontrent de l'importance capitale de la filière qui compte pour 14 % du PIB et permet à l'Etat de financer 10 % de ses dépenses. La filière du cacao emploie indirectement un cinquième de la population ivoirienne. Le premier maillon de cette chaîne est constitué de près d'un million de petits producteurs qui assurent la première transformation. Depuis les indépendances, la Côte d'Ivoire a vu sa production de cacao quadrupler passant de cinq cent cinquante mille tonnes en 1980 à près de deux millions de tonnes en 2018 faisant du pays le premier producteur mondial (Banque Mondiale, 2019). Ces performances sont le fait du million de petits producteurs qui paradoxalement n'ont pas vu leurs revenus s'améliorer. Les résultats de l'enquête sur le niveau de vie des ménages en Côte d'Ivoire de 2015 (ENV 2015) font état de 54,4 % de producteurs de cacao qui vivaient en dessous du seuil de pauvreté dans un pays où la moitié de la population (48,9 %) vivait au-dessous de ce seuil selon cette même étude. Pour cause la baisse tendancielle des cours internationaux, le vieillissement et la faible productivité des vergers (la moitié du verger ivoirien à plus de 30 ans), la fiscalité importante qui atteint 22 % (Banque Mondiale, 2019) de la valeur coût-assurance-fret (CAF) et la faible part perçue par la Côte d'Ivoire du prix de vente sur le marché international. Ainsi le développement de la production s'est fait au détriment du capital naturel du pays. En effet, pendant longtemps il a été plus facile et moins coûteux pour le producteur de créer de nouvelles plantations que de renouveler une cacaoyère déjà existante ou de planter une cacaoyère sur jachère. Ce mode de culture itinérant en plein soleil a conduit à la destruction du capital forestier du pays qui est passé de douze millions d'hectares en 1960 à moins de trois millions d'hectares en 2014 (BCEAO, 2014). Ces importants coûts environnementaux n'ont pourtant pas permis à la Côte d'Ivoire d'avoir plus de parts dans la richesse générée par le cacao-chocolat au niveau mondial. Elle n'en tire qu'une infime partie et pour cause 80 % de cette richesse (estimée à \$ 110 milliards) est générée au niveau de la deuxième et de la troisième transformation où la Côte d'Ivoire ne joue aucun rôle important (Banque Mondiale, 2019). Son intervention est concentrée au niveau des premières transformations où elle occupe la position de premier broyeur mondial. Pourtant aujourd'hui le monde change et le secteur du cacao doit changer avec lui. Le secteur du cacao ivoirien doit faire face à de nouvelles tendances mondiales notamment le changement climatique et des

exigences de plus en plus pressantes des consommateurs en matière de respect de normes environnementales et sociales. Ces forces évolutives sont d'autant plus ressenties par les ménages que l'amenuisement des réserves foncières et humaines et le vieillissement du verger font leurs effets. De ce fait le pays doit renoncer au statut quo et entamer une réforme de sa filière.

1.2 Rôle de la cacaoculture dans la déforestation en Côte d'Ivoire

La déforestation en Côte d'Ivoire est l'une des plus importantes en Afrique tropicale. Le taux de perte est estimé à 4,32 % et 2,69 % respectivement pour les périodes 1960 – 2000 et 2000 – 2015 (BNETD, 2016). Selon les prédictions, le pays devrait irrémédiablement perdre la totalité de son couvert forestier d'ici 2034 si rien n'est fait (UNREDD, 2018). L'extension des terres agricoles pour la cacaoculture est pointée du doigt pour être le principal moteur de déforestation dans le pays. La déforestation liée au cacao affecte également les forêts classées concernant 40 % de la production actuelle de cacao (UNRED, 2018). Cette déforestation, en plus de nuire à la réputation des entreprises qui se sont rendues coupables d'achats de cacao illégaux, constitue un risque économique pour les acteurs de la chaîne de valeur du cacao. En effet la dégradation de l'environnement agroécologique du cacao, due à la déforestation risque de rendre la Côte d'Ivoire inapte à la culture du cacao. Cette situation pourrait être une catastrophe tant pour l'économie locale et les millions de personnes qui vivent des revenus du cacao mais aussi pour tout le marché mondial puisque la Côte d'Ivoire produit 32 % de la production mondiale (BCEAO, 2014).

1.3 Systèmes de certification pour une cacaoculture durable

Dans ce contexte de tension sur les ressources forestières du pays, les grandes entreprises du secteur se sont engagées à faire converger leurs programmes individuels de durabilité via l'« Initiative Cacao et Forêts ». Certaines sont par ailleurs impliquées dans des projets de type REDD+ s'inscrivant dans la stratégie nationale REDD+ dont l'objectif est de restaurer le couvert forestier en préservant la biodiversité et sans compromettre les objectifs de production agricole, de sécurité alimentaire et de développement. Par ailleurs, face aux nouvelles exigences des consommateurs sensibles à la préservation de l'environnement et à la lutte contre le travail infantile dans les plantations, la certification est devenue une approche de durabilité dans la filière cacao. « *La certification au moyen des normes de durabilité a pour objectif d'accompagner les acteurs des filières à adopter des pratiques vertueuses afin d'améliorer leurs résultats en matière de développement durable* » (Aurélié CARIMENTRAND, 2021).

1.4 L'agroforesterie : Un mode de production durable

L'agroforesterie est au cœur de toutes les politiques de restauration du couvert forestier ivoirien et constitue l'un des principes de la déclaration de la politique forestière. Dans le cadre de la stratégie nationale REDD+ une définition a été adoptée pour l'agroforesterie : « *une approche de gestion des ressources naturelles dynamiques et écologiques qui, à travers l'intégration des arbres dans les paysages agricoles, diversifie et augmente la production tout en assurant la promotion des bénéfices sociaux, économiques et environnementaux des usagers* » (UNRED, 2018). De tels systèmes de production devraient permettre de faciliter la réhabilitation du couvert forestier y compris dans les forêts classées. Comme le montre la figure 1, même si les rendements maxima en agroforesterie sont moins élevés par rapports aux systèmes de plein soleil ils sont plus intéressants à partir de la vingt-cinquième année de production. Ainsi L'agroforesterie serait plus avantageuse sur le long-terme. Toutefois la transition vers de tels systèmes de production a un coût, en termes de temps et de finances, pour le producteur et devrait limiter son engouement vers de tels modes de production sur le court-terme. De ce fait, la création d'un cadre de rémunération du cacao agroforestier s'avère salulaire pour encourager les producteurs qui décident d'entamer la transition ou qui produisent un cacao agroforestier.

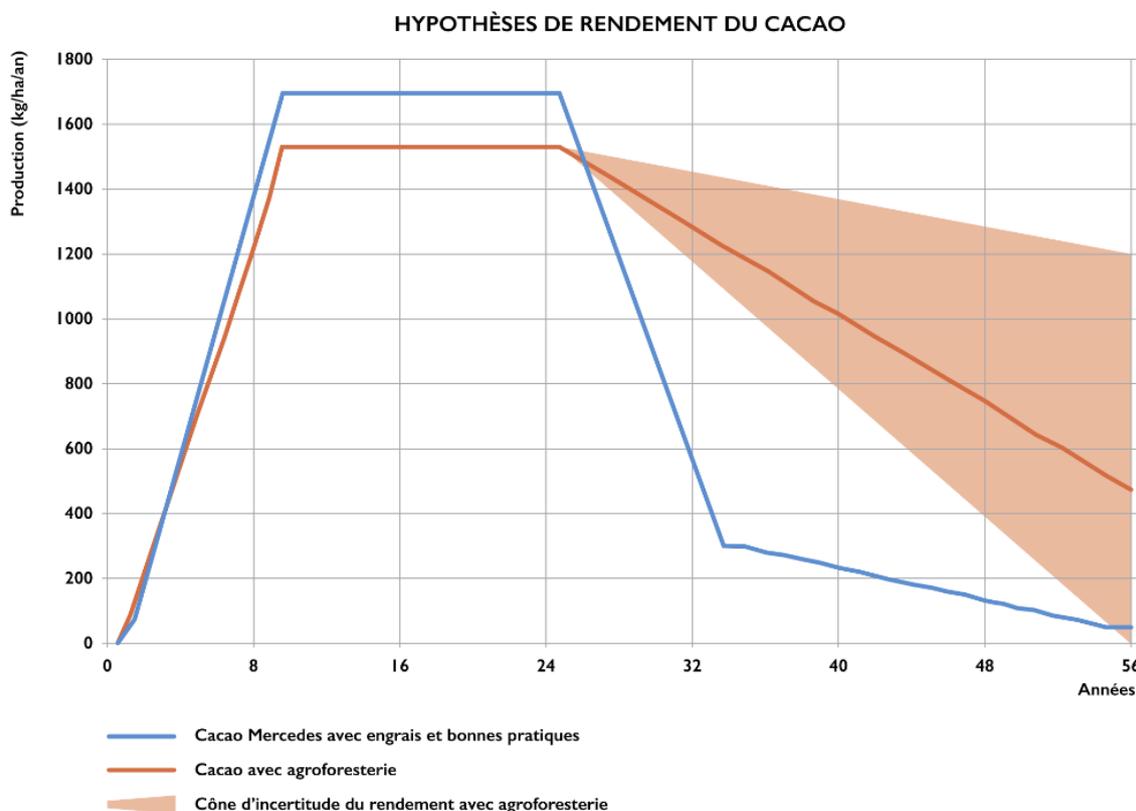


Figure 1 : Hypothèses de rendement du cacao. Source : UNRED, 2018

1.5 Présentation de la structure d'accueil

1.5.1 Présentation de Nitidæ

Nitidæ est une association loi 1901 à but non lucratif française créée en décembre 2017 née de la fusion des ONG **Rongead** et **Etc Terra**. Ces deux ONG ont décidé de conjuguer leurs expertises complémentaires afin de créer une interface d'innovation à même de proposer des solutions intégrées pour les territoires ruraux africains. Créé en 1983, **Rongead** menait des actions visant à l'amélioration du fonctionnement des filières agroalimentaires et à l'augmentation des revenus des producteurs et de la valeur ajoutée sur les territoires d'intervention. **Etc Terra**, créé en 2012, intervenait sur des projets de terrain conciliant préservation des ressources naturelles et dynamisme économique dans les territoires ruraux. Aujourd'hui, Nitidæ conduit une cinquantaine de projets, principalement à Madagascar, au Burkina Faso, au Mozambique et en Côte d'Ivoire. L'association a pour vision « *proposer des réponses efficaces et pérennes aux enjeux de développement des populations rurales des pays en développement, et démontrer qu'il est possible et bénéfique de concilier dynamisme économique et préservation du capital naturel, par des projets de terrain, répliquables à grande échelle.* ».

1.5.2 Missions

L'action de Nitidæ repose principalement sur des projets accompagnant les producteurs vers une exploitation durable des forêts, dans l'évolution de modes de production vers des systèmes écologiquement intensifs et économiquement rentables. Au niveau des organisations de producteurs, Nitidæ facilite l'accès aux marchés locaux et internationaux et accompagne les processus de certifications. Au-delà de l'échelle projet, Nitidæ participe activement à l'élaboration de stratégies REDD+ nationales dans les pays où elle opère, en étroite collaboration avec les gouvernements nationaux (Madagascar, Mozambique, Côte d'Ivoire).

1.5.3 Nitidæ Lab'

Le Nitidæ Lab' est né de la nécessité de mesurer de manière fiable et documentée l'impact des actions de Nitidæ, tout en étant convaincu de la nécessité de renforcer les capacités des partenaires des pays du sud. Ce pôle Recherche et Développement de l'association a pour mission de suivre, analyser et modéliser les dynamiques des paysages et des territoires afin d'améliorer le pilotage de projets de développement et d'évaluer les impacts socio-environnementaux ex-ante ou ex-post. Dans ce but, l'équipe du Lab' utilise l'état de l'art des

technologies d'Observation de la Terre et cherche à garantir le transfert et la reproductibilité des outils développés.

1.6 Positionnement et tentatives de réponse de ce stage

Ce stage qui s'est déroulé du 25 mai 2021 au 20 août 2021 se positionne à l'interface de deux programmes de recherche de Nitidae à savoir le suivi et la simulation de la déforestation et le suivi des systèmes agroforestiers. Il tente d'y contribuer par le développement d'un outil de suivi temporel des systèmes agroforestiers et d'alerte déforestation. Ceci en partant de l'état de l'art de données d'observation de la terre et de données de terrain. L'idée étant de les regrouper dans un tableau de bord afin de mieux appréhender l'historique de déforestation au niveau des parcelles et les pratiques des producteurs dans les processus de certification.

2) MATERIEL ET METHODES

2.1 Matériel

Le matériel utilisé au cours de ce stage est essentiellement composé d'outils informatiques. Il a été utilisé divers logiciels installés sur un ordinateur portable personnel ou sur le cloud. Il s'agit notamment des logiciels de SIG QGIS pour le prétraitement des données géoréférencées et de *Code Editor* de la plateforme GEE.

2.2 Méthodes

2.2.1 Collecte d'informations

Une recherche bibliographique a été nécessaire pour mieux cerner le sujet, dresser un inventaire des données pertinentes pour l'étude et approfondir les connaissances sur le développement en javascript avec *Code Editor* de GEE. Pour ce faire, des ressources bibliographiques ont été mises à disposition par la structure d'accueil. La page d'aide de GEE, divers rapports, articles et ressources disponibles sur internet ont également été utilisés.

2.2.2 Choix des données satellitaires

Le choix des données satellitaires s'est fait sur la base de la résolution spatiale et la question traitée qui devait être en lien avec la surveillance des forêts, l'usage et l'occupation des sols ainsi que des données de réflectances. Ces données devaient, évidemment, couvrir tout ou partie de notre zone d'étude : la Côte d'Ivoire.

2.2.3 Outil de développement : *Code Editor* de GEE

Code Editor a été choisi sous recommandation de la structure d'accueil. Il présente l'avantage d'avoir un accès privilégié au catalogue de données de GEE et de bénéficier de sa puissance de calcul. Il ne nécessite aucune installation et ne requiert pas d'avoir un ordinateur puissant pour les calculs. Il bénéficie également de fonctionnalités *on the go* qui permettent un développement plus ou moins aisé d'interfaces utilisateurs.

2.2.4 Construction des séries temporelles de NDVI

La décision de construire des séries temporelles de NDVI est justifiée par le fait qu'il est utilisé dans le monde entier pour cartographier la désertification (déforestation). L'indice NDVI est privilégié pour l'observation globale de la végétation car il permet de compenser les changements de conditions d'éclairage, de pente de surface, d'exposition et d'autres facteurs exogènes (Lillesand, 2004). De plus c'est un indice facile à calculer. Pour les séries temporelles, il a été utilisé la valeur médiane à l'année corrigée de l'effet des nuages. Les images Landsat 7 ont été préférée pour la longue disponibilité de ses données et leurs bonnes résolutions spatiales (30 mètres).

2.2.4 Calcul des métriques à partir des produits satellitaires

Il a été calculé des métriques à partir de certains des produits satellitaires décrits ci-dessous. Cette démarche a été entreprise afin de produire des métriques qui puisse permettre de quantifier entre autres les gains ou pertes de forêts avec des grandeurs facilement compréhensible et interprétable pour l'utilisateur. Le tableau 1 résume les métriques calculées et les méthodes d'agrégation utilisées (la fonction GEE correspondante est donnée en gras entre crochets).

3) DESCRIPTION DES DONNEES

3.1 Données de terrain

Les données de terrain importées dans notre outil ont soit été collectées auprès de producteurs de cacao dans 4 localités ivoiriennes (Akoupé, Blé, Guéyo et Kragui), par Elsa Sanial dans le cadre de ses travaux de thèse (2015-2019), soit été calculées à partir de données d'inventaires collectées dans le cadre de cette même étude. Il s'agit de polygones (délimitation des parcelles) au format shapefiles (SHP) et de tables attributaires au format comma-separated values (CSV). Le tableau 2 présente les indicateurs issus de ces données de terrain.

Tableau 1 : Description et méthodes d'agrégation des métriques

Indicateurs	Description	Méthode d'agrégation
Mean Tree Cover in 2000	Cette métrique a été calculée à partir de l'indicateur <i>Tree canopy cover for year 2000</i> du dataset Global Forest Change.	[ee.Reducer.mean()] Moyenne des valeurs de pixels de l'indicateur avec treecover2000.
Forest Cover Loss since 2001	Cette métrique a été calculée à partir de l'indicateur <i>Year of gross forest cover loss event</i> du dataset Global Forest Change.	[ee.Reducer.count()] Décompte des pixels détectés comme étant de la déforestation puis conversion en surface déforestée par multiplication par 0,09 ha (30 de résolution).
Forest Cover Gain	Cette métrique a été calculée à partir de l'indicateur <i>Global forest cover gain 2000–2012</i> du dataset Global Forest Change.	[ee.Reducer.count()] Décompte des pixels détectés comme étant un regain potentiel de végétation puis conversion en surface déforestée par multiplication par 0,09 ha (30 de résolution).
Mean canopy Height in 2019	Hauteur moyenne de la canopée en 2019 calculé à partir de la donnée GLAD Canopy Height.	[ee.Reducer.mean()] Moyenne des valeurs de pixels de l'indicateur canopyheight.
RADD disturbed areas since 2020	Cette métrique donne les superficies perturbées selon la donnée RADD alerts.	[ee.Reducer.count()] Décompte des pixels détectés comme étant de la perturbation (confirmées ou non) puis conversion en surfaces perturbées par multiplication par 0,01 ha (10 m de résolution)
Degraded area since 1990	Cette métrique donne la surface dégradée depuis 1990 sur la parcelle. Elle a été produite à partir de la métrique <i>Degradation Year</i> du dataset TMF.	[ee.Reducer.count()] Décompte des pixels de dégradation puis multiplication par 0,09 ha (30 m de résolution)
Deforestation year	Cette métrique donne la surface dégradée depuis 1990 sur la parcelle. Elle a été produite à partir de la métrique <i>Degradation Year</i> du dataset TMF.	[ee.Reducer.count()] Décompte des pixels de déforestation puis multiplication par 0,09 ha (30 m de résolution).

Tableau 2 : Liste des indicateurs terrains importés dans l'application

Indicateur	Description
<i>Precedent Use</i>	Désigne le précédent cultural (Forêt, forêt secondaire, jachère, culture de café, culture de cacao, etc.)
<i>Associated trees number</i>	Désigne le nombre d'arbres associés et permet de caractériser le système agroforestier du producteur
<i>Forest cover in 2018</i>	Désigne la couverture forestière dans un rayon de 300 m et permet de caractériser le contexte environnemental de la plantation
<i>Number of species</i>	Nombres d'espèces de plantes dont les ligneux
<i>Alpha diversity index</i>	Indice de biodiversité alpha
<i>Jensen-Shannon index</i>	Indice de biodiversité Jensen-Shannon
<i>Simpson index</i>	Indice de simpson
<i>Hill index</i>	Indice de Hill
<i>Trees AGB per ha</i>	Biomasse aérienne des arbres associés par hectare
<i>Total AGB per ha</i>	Total de la biomasse aérienne de tous les arbres de la parcelle cacaoyers compris.
<i>Basal area</i>	Surface terrière des arbres de la parcelle.

3.2 Données et produits satellitaires

3.2.1 Tropical Moist Forest (TMF)

TMF est un ensemble de données satellitaires qui sont le résultat d'une analyse sur une longue période (1990 – 2019) de la dynamique de la végétation dans les forêts tropicales humides. Ce jeu de données est le résultat de l'exploitation des attributs multi-spatiaux et multi-temporels des données Landsat 1, 4, 5, 7 et 8. TMF. Il permet d'identifier les principales trajectoires de changement dans la canopée à travers ses cartes de transition et de mesurer l'intensité des perturbations. TMF comprend deux principaux produits :

- *Transition Map* qui permet de visualiser la distribution des forêts tropicales humides à la fin de l'année 2020 ;
- *Annual Change Collection* qui permet de visualiser les étapes de transition depuis 1990 jusqu'à 2020 ;
- *Degradation Year* qui permet de visualiser sur une carte l'année pendant laquelle le couvert forestier a été dégradé (perturbation constatée pendant 900 jours maximum dont la dernière remonte à 2019) pour la première fois ;
- *Deforestation Year* qui permet de visualiser sur une carte l'année pendant laquelle le couvert forestier a été déforesté (conversion permanente en non-forêt débutée avant 2018) pour la première fois.

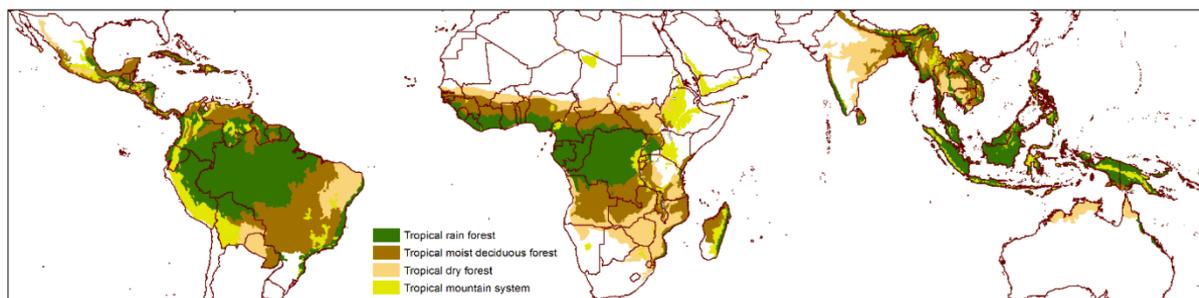


Figure 2 : Zone écologique couverte par TMF

3.2.2 Radar for Detecting Disturbance (RADD) Forest disturbance Alerts

RADD *Forest disturbance Alerts* (RADD Alerts) est un jeu de données qui permet de détecter les perturbations dans un masque de forêts tropicales primaires à partir de données RADAR Sentinel 1 à 10 mètres de résolution. Les données radar permettent de s'affranchir de la couverture nuageuse et de détecter avec ce jeu de données les perturbations (à des petites échelles) dues à l'agriculture et aux opérations d'abattage. Les données RADD Alerts sont disponibles depuis 2020.

3.2.3 Global Land Analysis and Discovery Forest Loss Alerts (GLAD Alerts)

GLAD Alerts est un jeu de données qui cartographie les pertes de couverts forestiers. Les alertes de déforestation données par ce jeu de données sont disponibles depuis 2020 et sont basées sur les images Landsat 7 et 8 à 30 mètres de résolution. Les alertes sont données avec deux niveaux d'importance : Perte probable et perte confirmée. La perte est dite probable lorsqu'on a seulement une seule observation signalée. Si de nouvelles observations de perte sont signalées dans les 4 prochaines observations ou les 180 prochains jours, la perte est dite confirmée. Sinon elle est reclassée pas de perte.

3.2.4 Global Forest Change

GFC est donnée référence dans la caractérisation de la dynamique des forêts. Ce jeu de donnée disponible sur la période 2000 – 2020 est le résultat d'analyses d'images Landsat pour la caractérisation de l'extension et des changements dans les couverts forestiers. GFC propose les indicateurs suivants utilisés dans notre outil :

- *Tree canopy cover for year 2000* (Treecover2000) qui désigne le pourcentage de couverture arborée de plus de 5 m de haut ;

- *Global forest cover gain* (gain) qui désigne un gain de couverture forestière défini comme le changement d'état non-forêt – forêt sur la période 2000 – 2012 ;
- *Year of gross forest cover loss event* (lossyear) qui désigne une perte de forêt définit comme le passage de l'état d'une forêt à l'état de non-forêt.

3.2.5 Cocoa Map

Cocoa Map est un jeu de données de détection de plantation de cacao par télédétection. Il a été réalisé à partir d'images Sentinel-1 et Sentinel-2 de l'année 2019. Il s'agit d'une cartographie des parcelles cacao sur les moitiés Sud de la Côte d'Ivoire et du Ghana.

4) ANALYSE ET CONCEPTION

4.1 Spécification des besoins

L'expression des besoins consiste à décrire ce que le système doit faire, non pas comment le faire, en se basant sur la demande et les besoins des utilisateurs.

A cet effet, les besoins concernant cette application se situent à deux niveaux. Le premier concerne les **fonctionnalités attendues** et le second la **réutilisabilité du code source**. En ce qui concerne le second niveau, en absence d'expertise de la plateforme Google Earth Engine, l'application développée doit poser les bases d'une vulgarisation de Google Earth Engine au sein de Nitidae au travers d'un code commenté et du présent rapport. Ainsi les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Développer une chaîne de traitement de données satellitaires, bien commentée, avec Google Earth Engine ;
- Développer une interface de visualisation (tableau de bord) des indicateurs terrains et de télédétection de suivi des agrosystèmes basée sur Google Earth Engine ;
- Produire un document méthodologique d'extraction et d'analyse des données précisant les résultats.

4.2 Fonctionnalités

L'outil développé au cours de ce stage devait être capable de tirer parti des bases de données d'observation de la terre disponibles en faisant ressortir des indicateurs de déforestation ou de risque de déforestation. A l'issue d'échanges avec les maîtres de stages, les principales fonctionnalités suivantes étaient attendues :

- Cartes interactives ;
- Affichage de données importées des bases de données de terrain ;

- Affichage de métriques calculées à partir de données satellitaires ;
- Graphiques de séries temporelles ;
- Exportation des données et *reporting*.

5) REALISATION ET CONCEPTION

5.1 Client vs server

Pour faciliter la compréhension des paragraphes qui vont suivre il est important d'aborder les notions de *client* et de *server* et faire la distinction entre des objets *client-side* et *server-client side*. Il est important de faire la distinction entre les objets javascript et Earth Engine dans Google Earth Engine. En effet, il y va de la vitesse de calcul et de la possibilité d'appliquer des fonctions spécifiques à ces objets. Les Objets Earth Engine (EE) ou objets *client-side* sont des objets proxy qui permettent de manipuler les objets javascript ou objets *client-side* sur le server. Les objets *server-side* qui ne contiennent aucune donnée réelle ne sont que des conteneurs pour des calculs sur le serveur. Pour effectuer des opérations javascript avec le contenu de ces conteneurs, il est utilisé la fonction **getInfo()** pour assigner le contenu à une variable javascript. **Toutefois l'usage abusif de cette dernière fonction ralentit l'exécution du script puisqu'elle l'interrompt.**

5.2 Importation et stockage des données

L'importations des données que nous abordons ici concerne le chargement de données extérieures au catalogue de GEE dans les assets de *Code Editor*. Il peut en effet être utile de charger ses propres ressources dans GEE pour des analyses. Il est possible de charger des images au format GeoTIFF(.tif, .tiff), des tables (.csv) et des polygones (.shp). Pour charger de nouvelles données dans les assets il faut cliquer sur **New** (Figure 3) puis choisir le format de données à importer. Aussi, faut-il préciser que la taille maximale du fichier à importer ne doit pas excéder 10 giga octets (Go). Le stockage disponible dans les assets est de 250 Go. Pour avoir un espace de stockage illimité, il est possible de faire appel au service Google cloud Platform dans GEE. Ceci permet d'utiliser le service payant de stockage cloud.

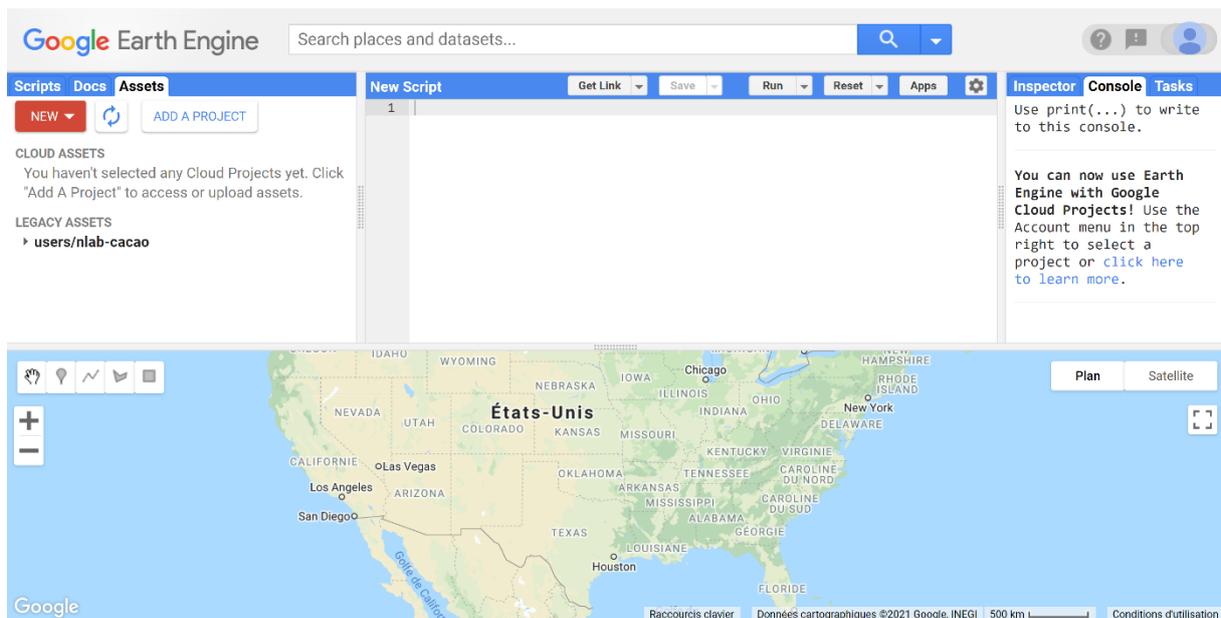


Figure 3 : Illustration importation de données dans les assets

5.3 Gestion des accès

Le déploiement de notre outil auprès d'utilisateurs tiers nécessite de bien gérer les accès. Il s'agit de définir les autorisations qui permettent aux tiers de pouvoir lire et/ou modifier les répertoires de scripts, les scripts et les assets. Ainsi trois statuts sont possibles pour un utilisateur dont les implications sont intuitives : *Owner*, *Writer* et *Reader*. Comme l'illustre la figure 5, il est possible d'ajouter et définir les autorisations manuellement pour un utilisateur ou cocher *anyone can read* pour permettre à tous les utilisateurs qui disposent du lien de la ressource de pouvoir la lire ou l'exécuter. C'est ce dernier cas qui convient pour notre

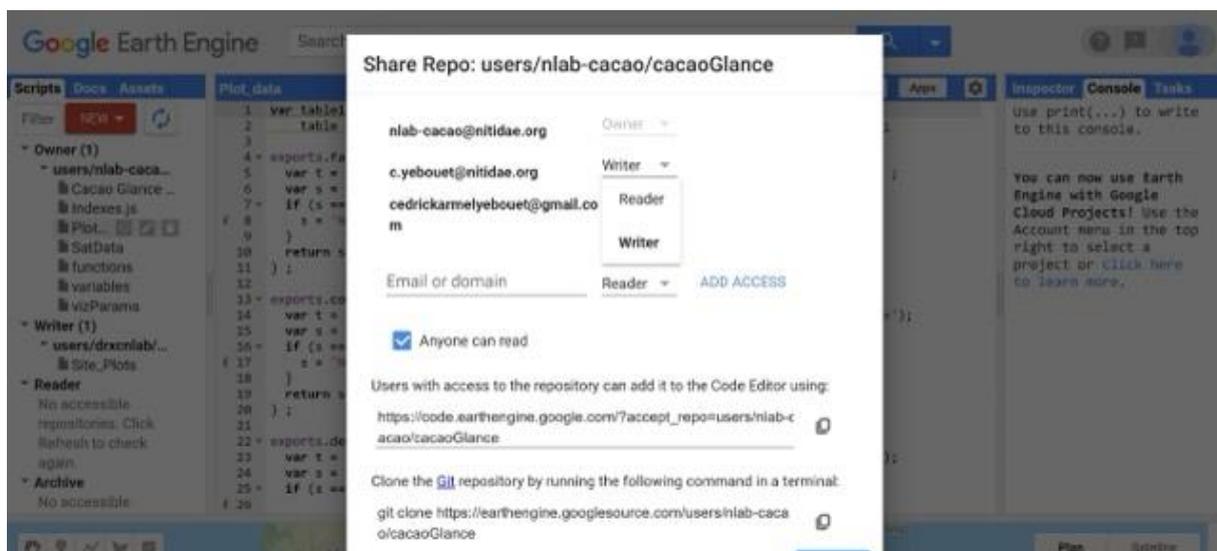


Figure 4 : Gestion des accès et autorisations

application puisqu'elle est destinée à une multitude d'utilisateurs qui ne peut être ajoutée individuellement.

5.4 Fonctionnalités de l'outil final

Dans cette partie il est question de présenter les fonctionnalités de l'application développée au cours de ce stage et qui est accessible à l'adresse donnée à l'annexe 1. Cette application est

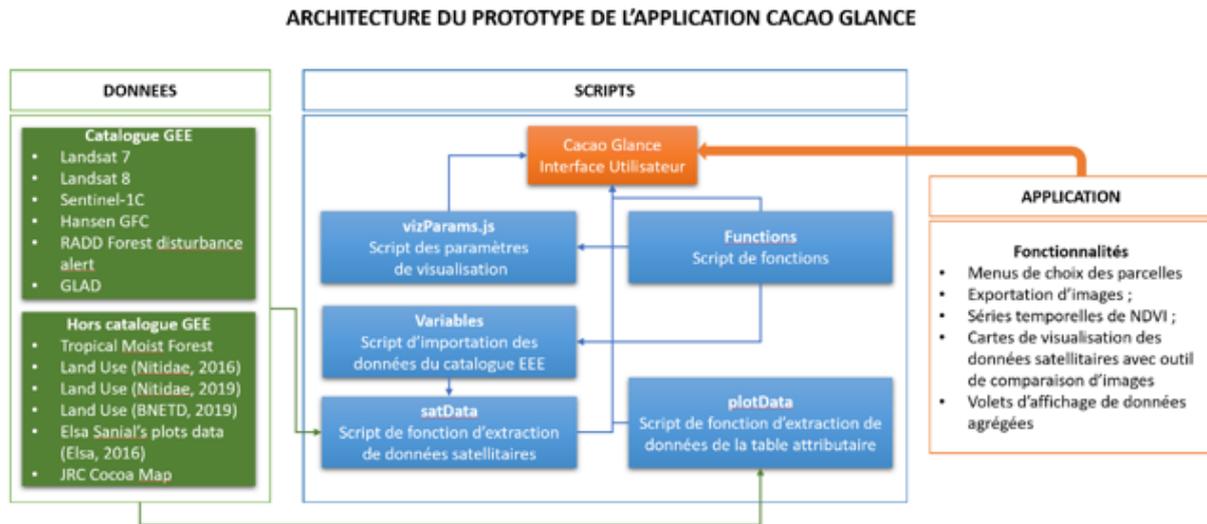


Figure 5 : Architecture du prototype

composée de sept scripts dont six fonctionnent comme des modules qui sont appelés dans le script principal *cacaoGlance.CacaoGlance* contient le script de l'interface utilisateur. En ce qui concerne les modules, *vizParams* contient les fonctions pour styliser les cartes ou les objets. *Indexes* contient les fonctions pour le calcul du NDVI. Le script *plotData* contient les fonctions utilisées pour l'extraction des données de la base de données terrain. Le script *satData* contient les fonctions qui permettent de calculer les métriques de données satellitaires et les données utilisées pour la construction des graphiques. Le script *functions* contient toutes les autres fonctions appelées dans *cacaoGlance*. Le script *variable* est le script de moissonnage des données satellitaires depuis le catalogue GEE et les assets. L'ensemble de ces scripts interagissent dans une architecture schématisée sur la Figure 5.

5.5 Présentation de quelques interfaces de l'application

L'exécution de l'application aboutit dans un premier temps sur une page d'accueil où l'utilisateur va pouvoir définir la localité, la coopérative ou parcelle sur laquelle il désire faire son analyse.

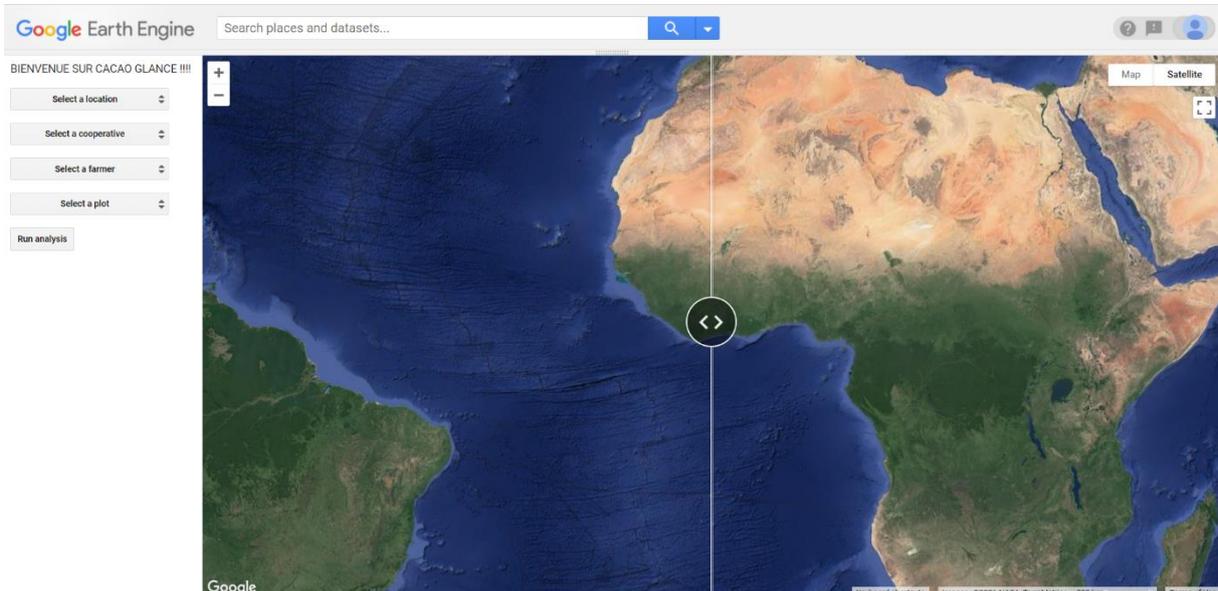


Figure 6 : Page d'accueil de l'application

Une fois ces entrées renseignées, un clic sur « *Run analysis* » lance l'analyse et aboutit sur le tableau de bord qui se présente comme illustré à la Figure 7.

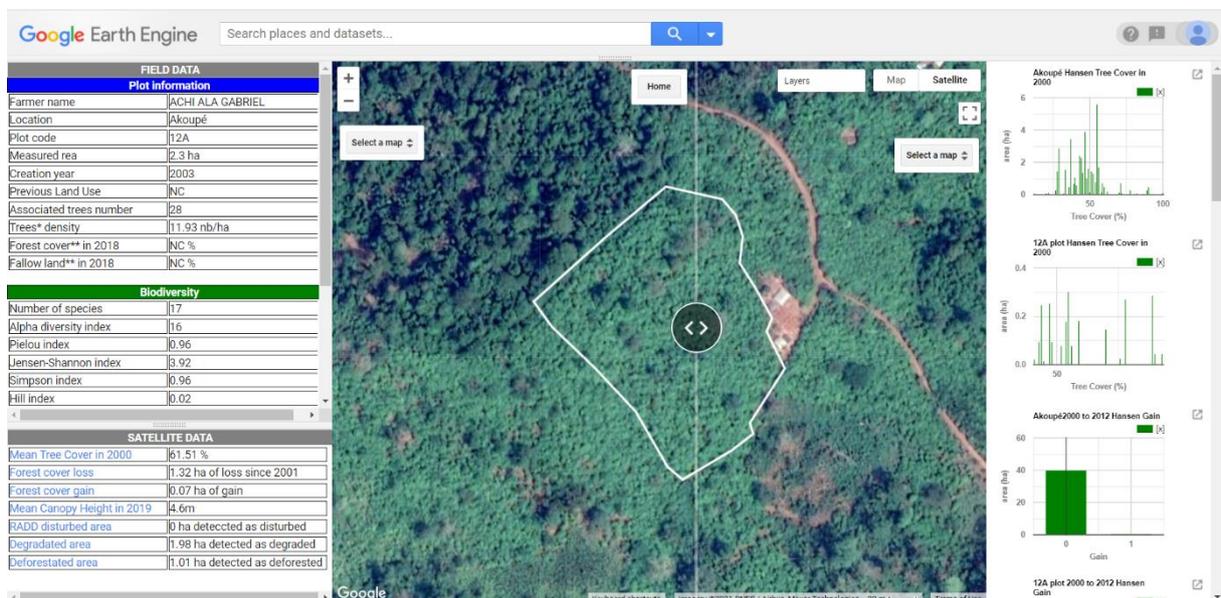


Figure 7 : Interface principale de l'application

L'utilisateur pourra identifier clairement trois volets. Le premier à gauche affiche les indicateurs terrain et les métriques calculées à partir des produits satellitaires tel que décrit dans la méthodologie. Le deuxième au milieu est la zone d'affichage des cartes. A cet niveau l'utilisateur a la possibilité d'afficher deux cartes à la fois, éventuellement pour des comparaisons.

entre deux dates comme sur la Figure 8. En cliquant sur « *Select a map* » l'utilisateur est amené à définir la ou les cartes qu'il veut analyser Figure 9. Il peut également les télécharger ou avoir plus d'informations sur elles en cliquant sur « *More* » (Figure 10). Le troisième et dernier volet est la zone d'affichage des graphiques.

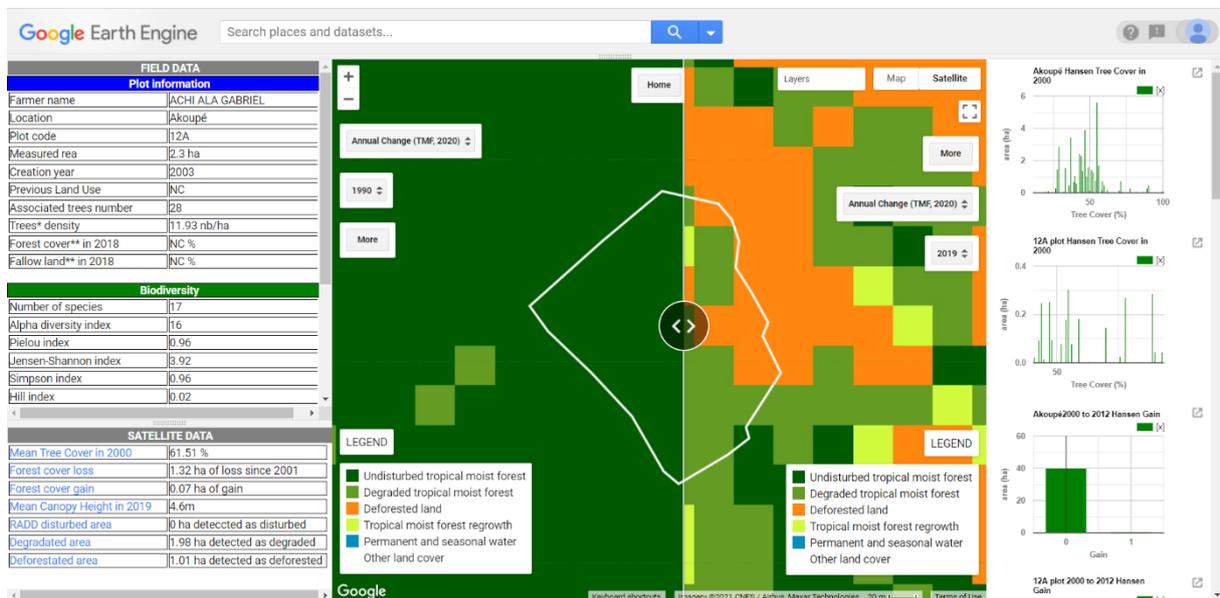


Figure 8 : Comparaison de deux cartes

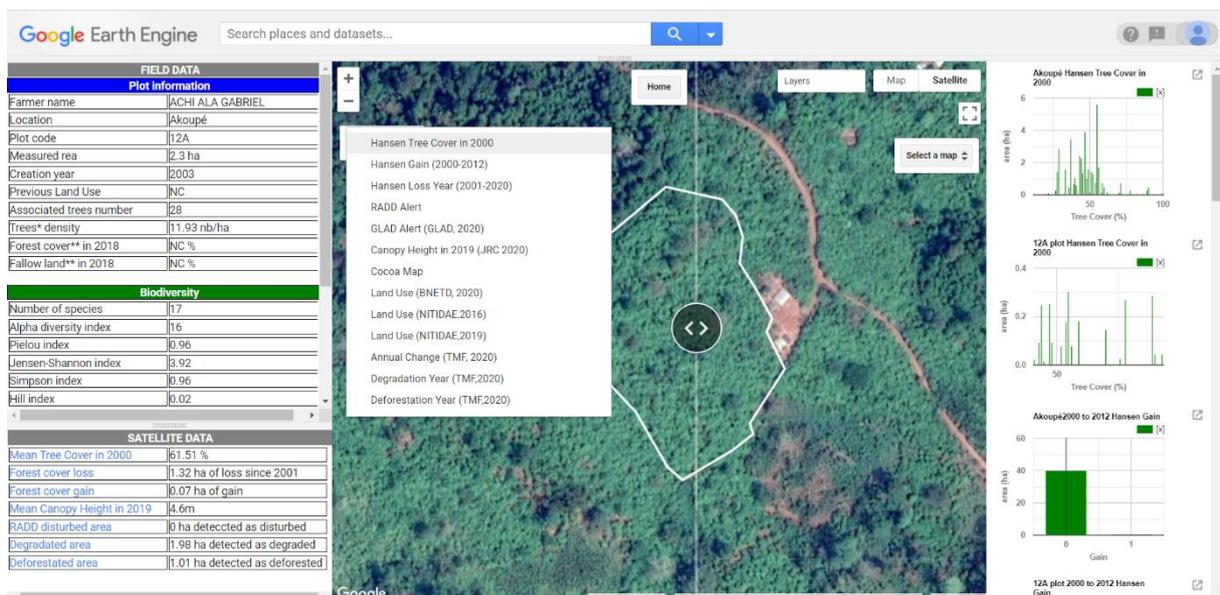


Figure 9 : Sélection d'une carte à afficher

5.6 Usages possibles de l'application prototype

L'outil développé pourra être utilisé dans des processus de certification dans la mesure où il permet de retracer l'historique de la zone où est installée la parcelle et peut permettre

d'identifier potentiellement une déforestation récente et les superficies perturbées sur ou à proximité de la parcelle. Il pose les bases d'une application plus complète dans laquelle la détection se fera automatiquement sur les parcelles de la base de données. Cet aspect peut être très intéressants pour les auditeurs qui ne peuvent pas tout suivre et qui auront à disposition un outil qui les orientera vers des zones à risques à aller voir de plus près. Ainsi il pourra soutenir les efforts pour un cacao zéro déforestation et être un outil technique d'appui aux politiques de durabilité dans la filière cacao.

6) LIMITES DE L'APPLICATION

A l'issue d'une telle étude il est important de prendre du recul et de souligner ce qui n'a bien fonctionné et les limites de notre outil. Premièrement, il a été constaté qu'une mise à jour dans la structure d'un jeu de donnée pouvait bouleverser le fonctionnement de l'application. En effet l'importation des données du catalogue GEE étant tributaire de leurs identifiants et de leurs structures, toute modification à ces niveaux a tendance à rendre la donnée inutilisable et à provoquer des erreurs lors de l'exécution de l'application. Ce fut le cas notamment, et parmi tant d'autres, avec la donnée *Annual Change Collection* du dataset TMF qui est passée d'une structure en collection d'images à une structure avec une seule image multi-bandes. L'absence de fonctionnalité qui puisse permettre d'ajouter des zones d'intérêt depuis l'interface utilisateur ou d'en développer est également regrettable. De plus il faut souligner le fait que bon nombre de données utilisées dans prototype ne sont disponibles que pour une ou deux années seulement d'étude ce qui est n'est pas en accord avec l'objectif visé avec cet outil. Afin de rendre l'application plus interactive en ce qui concerne les données de terrain nous avons pensé à les stocker dans une base de données sur un serveur (de sorte que les informations puissent être mises à jour progressivement) puis les coupler avec GEE mais cela n'est à ce jour pas possible car Google ne permet pas le pont. Au niveau de notre développement, nous avons appris les subtilités du développement avec le javascript de GEE. En effet l'usage de boucles javascript classiques et de la procédure *getinfo()* de GEE ont tendance à allonger le temps d'exécution de l'application. De là découle un autre problème qui semble être une conséquence de ce qui précède. L'un des buts visés était de pouvoir déployer cette application via le web en tant qu'application web à part entière à travers le moteur *Earth Engine Applications* ce qui n'a pas pu être réalisé.

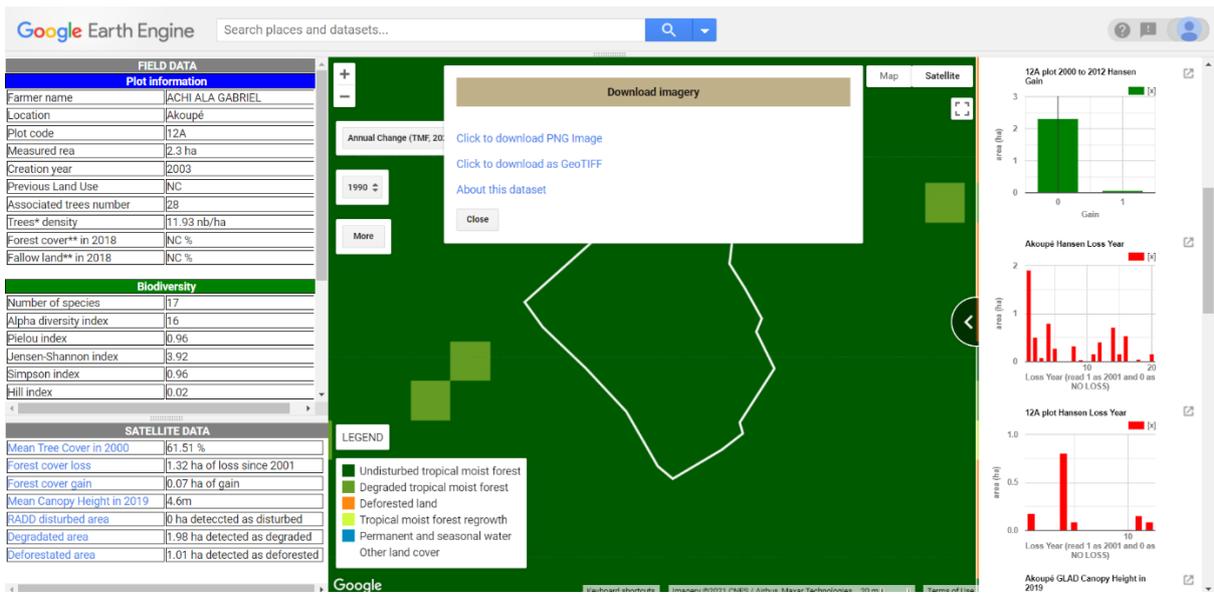


Figure 10 : Exportation d'images

CONCLUSION

Le secteur du cacao en Côte d'Ivoire va connaître des bouleversements en partie lié à la dégradation de l'environnement agro écologique de la cacaoculture dont il est en partie responsable. La Côte d'Ivoire a vu une grande partie de sa forêt convertie en cacaoculture et doit maintenant envisager de nouveaux modes de productions plus durables pour répondre aux nouvelles exigences des consommateurs sur le marché mondial. Une manière de faire serait d'encourager la transition vers des systèmes agro forestiers notamment en rémunérant les producteurs certifiés.

Ce stage apporte sa contribution par le développement d'un outil de suivi des systèmes agroforestiers et d'alerte déforestation sur Google Earth Engine. Cet outil peut avoir de nombreuses applications notamment être un outil d'appui dans la certification en retraçant l'historique des parcelles de cacao. Toutefois, Il doit être amélioré pour véritablement devenir un outil référence d'aide à la décision que ce soit au niveau des auditeurs que des politiques. Il s'agit entre autres d'optimiser le temps d'exécution de l'application, d'identifier automatiquement les parcelles à risques et la possibilité de faire des analyses sur n'importe quelle zone d'intérêt entrée par l'utilisateur.

Ce stage a également été l'occasion d'acquérir de nouvelles compétences dans le développement en javascript. De plus mes nouvelles compétences dans l'utilisations de GEE, plateforme émergente en télédétection constitue sans aucun doute un atout majeur pour ma carrière d'ingénieur en agriculture numérique. Par ailleurs, cette première expérience à plein temps en entreprise fut l'occasion de découvrir une association dynamique au sein d'une équipe à caractère humaine en portant un projet ambitieux. Nous en ressortant avec des outils de savoir-être et de savoir-faire pour mieux appréhender nos prochaines missions.

BIBLIOGRAPHIE

Abu Itohan-Osa, Zoltan Szantoi, Andreas Brink, M. Robuchon, Michael Thiel. 2020. *Cocoa Map for Cote d'Ivoire and Ghana*. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.917473>

Aurélie CARIMENTRAND. 2021. *Certification du cacao et lutte contre la déforestation : État des lieux sur la déforestation importée et les schémas de certification de l'objectif zéro déforestation dans la filière cacao*. Rapport pour le CST Forêt. CIRAD, AFD, ministère de l'Europe et des affaires étrangères. 69 pages.

BCEAO. 2014. *Etude monographique sur la filière cacao dans l'UEMOA*. 33 pages.

Groupe de la Banque Mondiale. 2019. *Au pays du cacao : comment transformer la Côte d'Ivoire*. 9ème édition. 64 pages.

UNREDD. 2018. *Production durable de cacao en Côte d'Ivoire : besoins et solutions de financement pour les petits producteurs*. REDD+, EFI. 48 pages.

ANNEXES

Annexe 1 : Lien de l'application

L'application développée peut être consultée avec le lien suivant :

<https://code.earthengine.google.com/62ca6a1b57ed15b9e4fa9d30e469b27d?hideCode=true>

Annexe 2 : Lien du répertoire des scripts

Le répertoire des scripts est accessible avec le lien suivant :

https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/nlab-cacao/cacaoGlance

Veillez, si ce n'est pas encore le cas, créer un compte GEE avant de pouvoir y avoir accès.

Pour ce faire, utiliser le lien suivant :

<https://earthengine.google.com/signup/>



**Production d'un outil de visualisation de
l'historique des parcelles de cacao en Côte
d'Ivoire**

Annexe 3 : Cahier des charges

Contexte

Nitidæ est une association loi de 1901 de droit français qui agit pour assurer la préservation des écosystèmes forestiers et la gestion durable des forêts. Pour assurer la préservation des **écosystèmes** forestiers, notre action s'inscrit notamment dans le cadre du mécanisme REDD+ (Réduction des Emissions liées à la **Déforestation** et à la **Dégradation** des forêts et rôle de la **conservation**, de la gestion durable des forêts et du renforcement des stocks de **carbone** forestier), et se décline au travers d'actions complémentaires.

En Côte d'Ivoire les 5 à 6 millions de producteurs de cacao vivent pour leur grande majorité en dessous du seuil de pauvreté notamment à cause de la baisse tendancielle des cours de cette matière première sur les places internationales. De ce fait, les producteurs de cacao pratiquent depuis longtemps des systèmes de culture itinérants plus rentables pour eux. Ainsi, Les systèmes cacaoyers proches de la monoculture sont aujourd'hui à bout de souffle à cause de la raréfaction des surfaces forestières engendrée par l'extension des surfaces cultivées.

Depuis quelques années les pays importateurs sont engagés pour un cacao zéro déforestation et issu de systèmes de cultures durables comme ceux pratiqués en agroforesterie. La certification est aujourd'hui le principal outil cherchant à garantir que le cacao produit est conforme à ces deux critères. Cependant cette approche rencontre des limites dans son opérationnalité.

La multiplication des données satellitaires et plateformes de traitements et d'analyse de haut niveau offre des moyens de suivre l'état des agroécosystèmes à des vitesses et niveaux de précision sans précédent mais demeurent sous-exploitées du fait de limitations techniques, de ressources, de pertinence vis-à-vis des besoins des utilisateurs et de correspondance avec des observations de terrain.

Dans le cadre de ses travaux de recherche-action en vue de définir des critères de durabilité, **Nitidæ** a développé le référentiel **SAF-ART** qui propose un cadre de valorisation du cacao agroforestier sur les marchés, jusque-là inexistant, basé sur deux indicateurs que sont l'origine des arbres (proxy de la diversité) et la surface terrière (proxy de la couverture). Par ailleurs, ses missions sur le terrain ont permis de collecter des données à l'échelle de la parcelle.

Objectifs

L'objectif de cette étude est de produire un **tableau de bord dynamique** à partir d'indicateurs de suivi de la dynamique des couverts – issus de données satellitaires brutes ou secondaires – et des données de terrain, notamment la densité et la surface terrière, pour le suivi chronologique/temporel des parcelles de cacao.

Toutefois d'autres sources de données jugées pertinentes au vu des besoins de cette étude pourront être introduites.

De manière spécifique il s'agira de :

- Développer une chaîne de traitement de données satellitaires, bien commentée, avec Google Earth Engine ;
- Développer une interface de visualisation (tableau de bord) des indicateurs terrains et de télédétection de suivi des agrosystèmes basée sur Google Earth Engine ;
- Produire un document méthodologique d'extraction et d'analyse des données précisant les résultats.

Ressources

Matériel

La plateforme de cloud computing Google Earth Engine est le principal outil envisagé pour cette étude. Par ailleurs il sera fait appel à d'autres outils informatiques selon l'évolution et les besoins du projet.

Données

Les données qui seront utilisées sont de sources diverses. Il s'agit de données collectées sur le terrain, de données issues de bases de données en ligne et de données satellitaires. Ces données sont regroupées en cinq catégories satellitaires, cartographiques, environnementales, sociales et économiques (*Cf. annexe 3 et annexe 4*).

Finalités

La finalité de cette étude est de mettre à la disposition des acteurs de la filière cacao un outil qui va leur permettre d'avoir de la visibilité sur les pratiques des producteurs, en termes de durabilité, sur leurs parcelles et aux alentours. Cet outil, qui s'inscrit dans une démarche exploratoire, doit être le plus complet et fonctionnel possible et valorisable dans les systèmes de certification et de traçabilité.

Déroulement du projet

La première semaine de l'étude sera consacrée à une revue de bibliographie et à l'inventaire des données existantes. Ensuite, une approche de suivi et évaluation continue sera adoptée pour plus d'efficacité. Il s'agira de mettre en œuvre les propositions et les idées tout en évaluant régulièrement si elles répondent à la commande (*Cf. annexe 1 et annexe 2*).

Contenu graphique de l'application

L'application finale sera composée d'une carte interactive affichant les différentes parcelles déjà enregistrées. L'utilisateur aura le choix entre plusieurs fonds de carte qu'il pourra afficher au masque. Une infobulle pourra être affichée en plaçant le curseur sur le marqueur d'une parcelle. Les graphiques des time series seront

affichées dans un volet prévu à cet effet. L'utilisateur pourra décider des graphiques qu'il souhaite afficher/masquer en les sélectionnant dans une liste. L'utilisateur pourra sélectionner sa région d'intérêt parmi celles disponibles ou charger de nouvelles.

Annexes

Annexe 1 : Calendrier de travail pour les six premières semaines

Activités	Durée (Semaines)	Semaines														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Revue bibliographie, définition cahier des charges	1	■														
Préparation des bases de données de terrain et indicateurs spatiaux	1		■													
Analyses de la qualité des indicateurs spatiaux et identifications des indicateurs les plus pertinent	1			■												
Développement de l'interface du prototype (V1)	1				■											
Amélioration du prototype et V2	2					■	■									
Amélioration du prototype et V3	2							■	■							
Amélioration du prototype et V4	2									■	■					
Validation de la version finale	1											■				
Finalisation du guide méthodologie et rapport	2												■	■		

Annexe 2 : Dates présentation des résultats intermédiaires

Date	Résultat présenté
Mardi 22/06/2021	Présentation de la version 1 de l'outil
Mardi 06/07/2021	Présentation de la version 2 de l'outil
Mardi 20/07/2021	Présentation de la version 3 de l'outil
Mardi 27/07/2021	Présentation de la version 4 de l'outil
Mardi 03/07/2021	Présentation de la version finale

Annexe 3 : listes des indicateurs envisagés (données de terrain)

Groupe d'indicateurs	Indicateurs	Granulométrie	Source
Cartographiques	Parcelles	Parcelle	Géoportail Projet REDD+ de la Mé
	Buffer	Parcelle	A calculer autour de chaque parcelle
	Alertes FW	Parcelle	Forest Watcher
Environnementaux	Densité	Parcelle	Noémie
	Ombrage	Parcelle	Noémie
	Parcelle	Parcelle	Noémie
	Paramètres météorologiques	Parcelle	WorldClim
Sociaux	Nombre de producteurs	Coopérative	Liste pour certification AB
	Surface moyenne	Coopérative	Shape des parcelles
	Volumes moyens	Coopérative	Volume total réparti par parcelle
	Revenus moyens	Coopérative	Revenu total réparti par producteur
Economiques	Répartition des prix	Bord-champ, export, import, à la vente	Contrat AE

Annexe 4 : Sources de données retenues (non exhaustif)

Catégories	Sources de données	Nom jeu de données	Description	Usage envisagé	Commentaires
Bases de données web	GADM	GADM data	Limites administratives sur 4 niveaux	Utile pour agréger les paramètres à plusieurs échelles	Les limites administratives sont sur cinq niveaux (niveau 0 = carte de la Côte d'Ivoire)
	WDPA	WDPA	Réseau des Aires protégées par pays	Utile pour déterminer si une parcelle a été créée dans une forêt classée	Trier et récupérer forêts classées,
	BNETD	OCSOL 2016, 2020	Cartes d'occupation du sol.	Comparaison avec les données terrain et validation pour validation des données satellitaires.	
	WorldClim	WorldClim BIO Variables	19 variables bioclimatiques actuelles et futures	Données de température, etc	
Données satellitaires secondaires	RADD Disturbance Alerts	RADD alerts	Contient : Alertes déforestation avec niveau de confiance, date de déforestation	Alertes déforestation	

	GLAD	GLAD Forest Alerts	Contient : Forest loss alert (FLA) et Day of year of FLA pour 2020 et 2021	Alertes déforestation	
	Tropical Moist Forest	Tropical Moist Forest	Cartes de transition, année de dégradation, année de déforestation, intensité de la perturbation, etc.	Renseignement sur l'historique de l'installation de la parcelle et de l'état de la végétation à proximité.	Dix jeux de données : trois jeux de données pour les cartes de transition (état de dégradation de la forêt tropicale), un jeu de donnée pour l'année de dégradation, un jeu de donnée pour l'année de dégradation, un jeu de données sur l'intensité de la perturbation, etc. Données disponibles jusqu'en 2019
	Hansen	Global Forest change	Contient : Tree cover, forest loss, forest gain, loss year, etc.	Détection les changements à l'échelle de la parcelle	Sensible à toute variation de végétation (jachère, etc.) ; plus adapté pour les forêts tropicales humides, moins bien pour les régions sec (de savane arborée par exemple)
	MODIS/Terra+Aqua Burned Area	MCD64A1	Contient : Burn Date, Burn Data Uncertainty, Quality Assurance	Un feu peut indiquer défrichement => déforestation sur la parcelle ou à proximité	
Données satellitaires brutes	Sentinel-2	Sentinel-2 Multi Spectral Instrument	Données de réflectance sur 13 bands ; résolution 10 m	Composition d'images pour le calcul mensuelle et/ou annuelle de NDVI, FCOVER, EVI pour le suivi de l'évolution des couvert	

	USGS Landsat 8	USGS Landsat 8	Données de réflectance sur 11 bandes ; résolution 15 m et 30 m	Composition d'images pour le calcul mensuelle et/ou annuelle de NDVI, FCOVER, EVI pour le suivi de l'évolution des couvert	
--	----------------	----------------	---	--	--