

Cartographier les Zones D'opportunité pour L'agroforesterie Cacaoyère en Côte d'Ivoire

 valuer son potentiel à contribuer aux objectifs nationaux de restauration du couvert forestier et co-bénéfices en services écosystémiques



PROGRAMME
ONU-REDD



REDD+
CÔTE D'IVOIRE

Réduction des Emissions de gaz à effet de Serre issues de la Déforestation, et de la Dégradation des Forêts



Le PNUE promeut des pratiques respectueuses de l'environnement à l'échelle mondiale et dans ses propres activités. Notre politique de distribution vise à réduire l'empreinte carbone du PNUE.

© 2021 United Nations Environment Programme

Le Programme ONU-REDD est l'initiative mondiale conjointe des Nations Unies sur le changement climatique et s'appuie sur le rôle rassembleur et l'expertise technique de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (ONU Environnement).

ONU Environnement - Centre mondial pour le suivi de la conservation (UNEP-WCMC) est un centre d'excellence mondial sur la biodiversité.

The Centre opère sous forme d'une collaboration entre l'ONU Environnement et l'organisation caritative WCMC enregistrée au Royaume-Uni. Ensemble nous affrontons la crise mondiale à laquelle fait face la nature.

Cette publication peut être reproduite à des fins éducatives ou à but non lucratif sans autorisation spéciale, à condition que la source soit mentionnée. La réutilisation de toute figure est soumise à l'autorisation des titulaires des droits d'origine. Aucune utilisation de cette publication ne peut être faite pour la revente ou à toute autre fin commerciale sans l'autorisation écrite du Programme des Nations Unies pour l'Environnement. Les demandes d'autorisation, accompagnées d'une déclaration d'objectif et de l'étendue de la reproduction, doivent être envoyées au directeur de UNEP-WCMC, 219 Huntingdon Road, Cambridge, CB3 0DL, Royaume-Uni.

Clause de non-responsabilité: Le contenu de ce rapport ne reflète pas nécessairement les opinions ou les politiques d'ONU Environnement, des organisations participantes ou des rédacteurs. Les désignations employées ou les présentations faites ne sous-entendent aucunement l'expression d'une quelconque opinion de la part d'ONU Environnement ou des organisations participantes, des rédacteurs ou des éditeurs sur le statut légal d'un pays, d'un territoire, d'une ville ou d'une région, ou de ses autorités, sur la délimitation de ses frontières ou limites, ou sur la désignation de son nom, de ses frontières ou de ses limites. La mention d'une société commerciale ou d'un produit dans ce rapport n'implique pas le soutien d'ONU Environnement

Authors: Megan Critchley, Marieke Sassen and Peter Umunay

Remerciements: nous remercions Arnout van Soesbergen pour ses apports méthodologiques, Neil Burgess, Lera Miles (UNEP-WCMC) et Joann Allanic (ONU Environnement) pour la révision, Jean Paul Aka et Nabyoullah Dosso (Partenariat 1 pour 20) pour leur soutien à l'atelier de consultation des parties prenantes et l'accès aux données, et les participants à la consultation pour leurs apports qui ont guidé l'approche et les résultats de ce travail

Ce travail a été financé par le Programme ONU REDD et l'Agence norvégienne de coopération au développement (NORAD) dans le cadre du projet CocoaSoils (RAF-17/0009 – CocoaSoils)

Citation: Critchley, M., Sassen, M. et Umunay, P. (2021) Cartographie des opportunités pour l'agroforesterie cacaoyère en Côte d'Ivoire : Évaluer son potentiel à contribuer aux objectifs nationaux de restauration du couvert forestier et co-bénéfices en services écosystémiques. UNEP World Conservation Monitoring Centre. Cambridge UK.

Messages-clés

La transformation de paysages cacaoyers par des pratiques d'agroforesterie est susceptible de contribuer aux objectifs nationaux et infranationaux de restauration des forêts aujourd'hui et dans le cadre d'un futur changement climatique, et d'offrir de multiples bénéfices par l'amélioration de services écosystémiques et la contribution à la conservation de la biodiversité.

L'agroforesterie est considérée comme une solution pour la durabilité à long terme de la filière cacao et les efforts de restauration du couvert arboré dans les forêts classées fortement dégradées et dans le domaine rural en Côte d'Ivoire. L'augmentation du couvert arboré contribue à la zéro déforestation nette, la séquestration du carbone, la résilience au changement climatique et à améliorer les moyens d'existence des producteurs.

Dans le domaine rural, il serait possible de transformer 1,8 million d'hectares de plantation de cacao plein soleil en systèmes agroforestiers sous ombre partielle (environ 30 % de couvert arboré), ce qui excède l'objectif de 1 million d'hectares fixés dans la Stratégie Nationale REDD+.

Cette étude n'a pas révélé une superficie suffisante de cacao en forêts classées fortement dégradées pour réaliser l'objectif de 1 million d'hectares sous agroforesterie dans ses forêts, quand bien même d'autres terres dégradées dans ces forêts conviendraient au cacao (ou autres cultures en agroforesterie) pour contribuer à réaliser cet objectif.

L'augmentation du couvert arboré obtenue par la mise en œuvre de l'agroforesterie dans le domaine rural et les forêts classées fortement dégradées ne correspond pas strictement à la définition de la Forêt en Côte d'Ivoire tel que stipulé dans le Code Forestier de 2019. Les polices nationales se référant à 20 % de couvert forestier comme objectif, considèrent toutefois l'agroforesterie et les plantations forestières comme contribuant à l'augmentation du couvert forestier, si ce n'est de « forêts ».

Les zones de plantation de cacao classées comme systèmes plein soleil étaient plus susceptibles de se trouver dans des climats moins favorables à l'avenir. Les systèmes plein soleil sont plus vulnérables au changement climatique. Il est donc important de déterminer si l'agroforesterie peut soutenir une adaptation dans ces zones ou si elles devraient plutôt se tourner vers des cultures (pérennes) plus tolérantes à la sécheresse.

Les gains potentiels les plus importants en termes de services écosystémiques, comme le stockage de carbone, peuvent être obtenus par la mise en œuvre de l'agroforesterie dans le domaine rural, qui présente la plus grande surface de cacao plein soleil.

Les gains potentiels en stockage de carbone dans toutes les régions ciblées ont été estimés à 120 Mt de carbone ou 440 MtCO₂e, ce qui pourrait générer des revenus importants via la vente de crédits carbone.

Cibler en priorité les zones proches des forêts intactes et des zones habitées, apporterait les plus grands avantages à la conservation de la biodiversité (zone tampon) et à la population (fourniture de services).

Sommaire

Messages-clés	i
Figures et tableaux	2
Liste des figures	2
Liste des tableaux	3
Introduction	4
Contexte	5
Objectifs	7
Étapes Préliminaires	8
Consultation de parties prenantes	9
Définitions	9
Identification d'objectifs et contraintes relatifs aux politiques	10
Définition des critères	11
Définition des zones prioritaires et co-bénéfices	11
Méthodologie	13
Identification de zones pour la promotion de l'agroforesterie cacaoyère	15
Co-bénéfices	21
Résultats	22
Zones propices à l'agroforesterie cacaoyère dans des paysages cacaoyers existants	23
Co-bénéfices	27
Prioriser les zones à restaurer par l'agroforesterie cacaoyère	30
Discussion	31
Considérations relatives aux données et méthodologiques	32
Contribution aux objectifs de restauration	33
Autres considérations	35
Conclusions	36
Références	38
Annexe	41
Annexe 1 - Stock de carbone dans les systèmes cacaoyers	42
Annexe 2 – Classes d'occupation des sols et perturbations forestières	43

Figures et tableaux

Liste des figures

- Figure 1. Transition prévue de la plantation de cacao vers la plantation forestière dans des forêts classées par le biais de l'agroforesterie. Source : Stratégie Nationale REDD+ de la Côte d'Ivoire. 5
- Figure 2. Exemples de différents types de systèmes agroforestiers : multistrates traditionnels, mixtes avec des arbres forestiers résiduels et fruitiers, et systèmes de plantations en bordure plus simples (dessin M. Sassen). 5
- Figure 3. Arbre de décision pour identifier les zones prioritaires potentielles pour la mise en œuvre de l'agroforesterie cacaoyère. AP = Aires protégées et FC = Forêts Classées. 14
- Figure 4. Occupation des sols en Côte d'Ivoire en 2019 superposée avec les forêts classées, y compris celles qui sont des aires protégées (BNEDT, 2016 ; VividEconomics, 2020 ; UNEP-WCMC et IUCN, 2021). 16
- Figure 5. Pourcentage (%) de couvert arboré en Côte d'Ivoire où la taille des arbres dépasse 5 m (NASA). Des valeurs manquantes existent en raison de lignes de balayage, de la couverture nuageuse, etc. Les lacunes dans le jeu de données de 2015 ont été comblées avec des données de 2010 quand celles-ci étaient disponibles. 17
- Figure 6. Niveau d'ombrage mesuré sur des terrains du programme CocoaSoils par rapport au couvert arboré mesuré par télédétection selon NASA 2010 (résolution 30 m). Un niveau d'ombrage mesuré inférieur à 10 % est considéré comme plein soleil. 18
- Figure 7. Aptitude au cacao dans a) les conditions climatiques actuelles et dans b) les conditions climatiques projetées pour 2050 (Shroth *et al.*, 2016). Les zones présentant une aptitude inférieure à 20 % sont considérées comme inappropriées pour la culture du cacao. 19
- Figure 8. Distance par rapport aux zones habitées et aux forêts fermées. 21
- Figure 9. Classification des niveaux d'ombrage estimés dans les zones de culture du cacao existantes et les zones non-cacao fortement dégradées, et aptes dans le climat actuel dans les forêts classées. Les forêts classées qui sont aussi des aires protégées ne sont pas prises en compte (BNEDT, 2016 ; UNEP-WCMC et IUCN, 2021). 24
- Figure 10. Classification des niveaux d'ombrage estimés dans les zones de culture de cacao aptes sous climat actuel dans le domaine rural, à l'exclusion des aires protégées désignées et forêts classées (BNEDT, 2016 ; UNEP-WCMC et IUCN, 2021). 25
- Figure 11. Zones potentielles de culture du cacao dans les forêts classées et le domaine rural qui deviennent inadéquates (<20 % d'aptitude) et adéquates (>=20 % d'aptitude) sur le plan climatique dans une projection à l'horizon 2050. Elles incluent des terres qui sont présentement des zones de cacao ou de non-cacao dégradées dans les forêts classées qui pourraient être ciblées pour la restauration par l'agroforesterie cacaoyère. Les forêts classées qui sont aussi des zones protégées ne sont pas prises en compte (BNEDT, 2016 ; UNEP-WCMC et IUCN, 2021). 26
- Figure 12. a.) Stocks de carbone estimés dans les zones cacaoyères actuelles dans les forêts classées et le domaine rural et b.) Changement des stocks de carbone après la transition vers l'agroforesterie sous fort ombrage. Les terres cacaoyères actuelles se limitent aux zones présentement aptes pour le cacao sur le plan climatique. 27
- Figure 13. Priorités combinées pour augmenter le stock de carbone, proximité de forêts et de zones habitées dans les zones de culture du cacao identifiées comme plein soleil ou sous ombrage partiel. Les zones actuelles de culture du cacao se limitent à celles qui y sont aptes dans le climat actuel. Les cercles verts indiquent des régions prioritaires de la phase de lancement de l'Initiative Cacao et Forêts. 30

Figures et tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1. Jeux de données utilisés dans l'analyse. Tous les jeux de données ont été remis à échelle avec une résolution de 30 m dans Google Earth Engine.	15
Tableau 2. Critères utilisés pour identifier les zones aptes à la promotion de l'agroforesterie sur la base de données disponibles et descriptions de systèmes de gestion d'ombrage du cacao.	20
Tableau 3. Couverture terrestre dans des forêts classées (BNEDT, 2016) basée sur l'occupation des sols de VividEconomics (2020). Les forêts classées chevauchant des aires protégées (UNEP-WCMC et IUCN, 2021) ont été exclues.	23
Tableau 4. Cacao classé en systèmes plein soleil, sous ombrage partiel et fort et terres non-cacao dégradées dans les forêts classées. Les forêts classées chevauchant des aires protégées (UNEP-WCMC et IUCN, 2021) ont été supprimées.	24
Tableau 5. Cacao classé en systèmes plein soleil, sous ombrage partiel et fort dans le domaine rural. Aires protégées désignées et forêts classées exclues (UNEP-WCMC et IUCN, 2021).	25
Tableau 6. Stocks de carbone du cacao (AGB, BGB, détritiques et sol) dans les forêts classées et le domaine rural dans le scénario actuel et celui d'une mise en œuvre de l'agroforesterie avec prise en compte de l'aptitude climatique dans le climat actuel. Les terres non-cacao sont exclues. Les scénarios les plus plausibles sont ombragés dans le tableau.	28
Tableau 7. Stocks de carbone du cacao (AGB, BGB, détritiques et sol) dans des forêts classées et le domaine rural dans le scénario actuel et de mise en œuvre de l'agroforesterie avec prise en compte de l'aptitude climatique dans le climat futur. Les terres non-cacao sont exclues. Scénarios d'ombrage les plus plausibles.	29



Introduction

Contexte

Cacao et forêts en Côte d'Ivoire

Les forêts en Côte d'Ivoire ont enregistré une forte dégradation ces dernières décennies. D'après une étude récente, plus de 60 % du couvert forestier a disparu entre 1986 et 2019. En 2019 la superficie restante est estimée à 3,05 millions d'hectares, soit moins de 9 % du territoire national, contre 15 % en 1986 (SEP-REDD+ et FAO, 2017 ; VividEconomics, 2020). Ce déclin est dû en grande partie à l'expansion de cultures de rente, notamment le cacao, mais aussi l'hévéa, le café, l'anacarde et le palmier à huile (VividEconomics, 2020 ; voir aussi Barima *et al.*, 2020 ; Abu *et al.*, 2021).

À noter cependant une prise de conscience accrue quant au lien entre la demande mondiale de cacao et la déforestation, et une intensification des efforts visant à combattre la déforestation et garantir la production de denrées de base comme le cacao dans le respect de la forêt. Des acteurs privés dans la filière cacao en Afrique occidentale, dont Barry Callebaut, Cargill, Olam, Nestlé, Mars, Mondelez, Hershey's, Ferrero, Lindt et Sprungli, se sont engagés à améliorer la durabilité de leur chaîne d'approvisionnement et à réduire la déforestation résultant de la production du cacao à zéro (Ingram *et al.*, 2018 ; Abu *et al.*, 2021). Des initiatives publiques et privées zéro déforestation comme l'Initiative Cacao et Forêts (ICF) (RCI, 2018), mais aussi par les pays importateurs de cacao en Europe (CE, 2020) tentent de s'aligner sur les stratégies nationales REDD+, ainsi que sur les politiques nationales relatives à la conservation de la forêt et de la biodiversité (RCI, 2018).

Restauration du couvert forestier, REDD+ et agroforesterie

L'initiative mondiale REDD+¹ sous la Convention-Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique (CCNUCC), dans laquelle la Côte d'Ivoire s'est engagée en 2011 en joignant le Programme UN-REDD, représente une opportunité de lutter contre la déforestation et de restaurer le couvert forestier tout en soutenant la transition vers un développement plus durable, bas carbone. La Stratégie Nationale REDD+, approuvée par le Gouvernement en 2017, offre une direction stratégique à cette opportunité dans le contexte plus large des objectifs de développement national de la Côte d'Ivoire (*Plan National de Développement 2016-2020*).

La Stratégie Nationale REDD+ est un instrument de politique publique visant à traiter les principaux facteurs directs et indirects de la déforestation et de la dégradation des forêts en Côte d'Ivoire. En reconnaissant les liens étroits entre la déforestation et l'expansion du cacao ces dernières décennies, la Stratégie Nationale REDD+ insiste sur l'urgence de migrer vers une agriculture zéro déforestation, en partenariat avec des organisations de la chaîne d'approvisionnement et le secteur privé. Dans le cas du cacao, cela inclut une réduction de la déforestation provoquée par le cacao d'au moins 80 % d'ici 2030 et sa contribution à l'objectif national de restauration du couvert forestier à 20 % de la superficie du territoire. Il convient de noter que l'objectif de 20 % de couvert forestier reconnaît la contribution aussi bien des forêts selon la définition du Code Forestier (RCI, 2019), que celle des agroforêts et des plantations forestières à établir dans les forêts classées fortement dégradées et dans le domaine rural.

L'agroforesterie, un type de gestion des terres où l'agriculture et les arbres interagissent², y compris par le biais de l'utilisation agricole d'arbres, à des fins multiples, a été identifiée comme une solution pour contribuer efficacement à la durabilité à long terme de la filière cacao et à l'effort national de restaurer le couvert forestier ivoirien. De ce fait, l'agroforesterie est au cœur de toutes les politiques de restauration de forêts en Côte d'Ivoire³.

L'agroforesterie est à mettre en œuvre pour restaurer graduellement les forêts classées nationales les plus dégradées (à plus de 75 %), en migrant de systèmes agricoles ouverts vers des systèmes agroforestiers, puis vers des plantations forestières (Figure 1). Cette stratégie a été choisie au vu de la souvent longue histoire d'utilisation agricole de ces forêts, le risque de conflits sociaux et les coûts élevés de la réhabilitation en forêt naturelle. Dans ces forêts, le gouvernement vise donc à stabiliser les zones agricoles existantes et à fournir des contrats d'exploitation commerciale pour des cultures pérennes durables en accord avec la Société de Développement des Forêts (SODEFOR). La Stratégie Nationale REDD+ prévoit de restaurer 1 million d'hectares de plantations de cacao dans les forêts classées par le biais de ce système d'ici 2030.

¹ « La réduction des émissions provenant du déboisement et de la dégradation des forêts, associées à la gestion durable des forêts, la conservation et l'amélioration des stocks de carbone forestier »

² <https://www.worldagroforestry.org/about/agroforestry>

³ Initiative Cacao et Forêts, Stratégie Nationale REDD+, Stratégie Nationale de préservation, de réhabilitation et d'extension des forêts, Dialogue UE et Côte d'Ivoire sur le cacao durable



Figure 1. Transition prévue de la plantation de cacao vers la plantation forestière dans des forêts classées par le biais de l'agroforesterie. Source : Stratégie Nationale REDD+ de la Côte d'Ivoire.

En plus de ces mesures, la Côte d'Ivoire vise à promouvoir l'agroforesterie dans des cultures de rente des petits producteurs (cacao, hévéa et le palmier à huile) dans le sud du pays. L'augmentation du couvert arboré dans les plantations de cacao et d'autres cultures de rente fait partie d'une stratégie visant à compenser la déforestation résiduelle (incontrôlée) et à atteindre une déforestation zéro nette, à soutenir la séquestration du carbone, à renforcer la résilience au changement climatique et à améliorer les services écosystémiques locaux. Dans le cas des plantations de cacao, l'objectif consiste à augmenter la densité à au moins 50 arbres/hectare pour garantir l'approvisionnement en bois d'œuvre et de chauffe, tout en veillant à la sécurité alimentaire en augmentant le nombre d'arbres indigènes et/ou fruitiers dans les systèmes agroforestiers (Stratégie Nationale REDD+). La promotion de l'agroforesterie vise aussi à contribuer à la diversification des revenus des producteurs, à rendre les plantations de cacao plus durables à long terme et à réduire ainsi la déforestation due au cacao d'ici 2030.

Tendances de l'agroforesterie cacaoyère

Dans les systèmes agroforestiers, le cacao est cultivé sous ombrage ou dans un environnement ombragé par des arbres (Somarriba, 1992). L'agroforesterie est la méthode traditionnelle de culture du cacao, qui résulte de l'éclaircissement du couvert arboré original, la plantation de cacaoyers et d'espèces fruitières et ligneuses utiles tout en maintenant divers arbres forestiers. Selon Ruf (2011), une 'agro-forêt complexe' est une plantation de cacaoyers avec « avec plus de 15 arbres matures

par hectare (éventuellement jusqu'à 60 ou 80), en général des arbres géants de plus de 15 m de haut, originaires de la forêt tropicale naturelle. Une 'agroforêt simple a un ombrage léger et peut inclure 5 à 6 arbres par hectare émergeant au-dessus des cacaoyers, tandis qu'un système plein soleil n'a qu'une strate de canopée : les cacaoyers (Figure 2). Les définitions et modèles varient toutefois : de systèmes traditionnels, divers et multistrates à l'intégration plus simple de cacaoyers et d'arbres d'ombrage utiles, à la plantation d'arbres en bordure de la cacaoyère (Figure 2). Il n'existe pas de modèle unique pour la conception et la mise en œuvre des agro-forêts (Thomson *et al.*, 2019). Mais selon le Conseil du Café-Cacao, les agro-forêts de cacaoyers en Côte d'Ivoire doivent conserver au moins 800 cacaoyers/hectare et 30 à 50 % d'ombrage (Conseil du Café-Cacao, 2019).

Historiquement, en Afrique occidentale, la tendance a été vers des plantations de cacaoyers sous ombrage léger ou nul afin de maximiser la production et répondre à la demande mondiale croissante (Ruf, 2011 ; Vaast et Somarriba, 2014). Le retrait de l'ombrage de plantations, par une réduction de la concurrence avec les cacaoyers, est susceptible d'augmenter la productivité du cacao dans le court à moyen terme (Blaser *et al.*, 2018). Cette tendance a été appuyée par l'introduction d'espèces hybrides plus productives et performantes sans ombrage (Ruf, 2011) et par l'encouragement aux producteurs à éliminer des arbres jugés potentiellement incompatibles avec le cacao, parfois avec peu de preuves scientifiques (Dumont *et al.*, 2014).



Figure 2. Exemples de différents types de systèmes agroforestiers : multistrates traditionnels, mixtes avec des arbres forestiers résiduels et fruitiers, et systèmes de plantations en bordure plus simples (graphique M Sassen)

La plupart des études révèlent toutefois que l'ombrage est peu susceptible de compromettre la productivité à des niveaux avoisinants les 40 % (Blaser *et al.*, 2018), et les liens entre le couvert arboré offrant de l'ombrage et la productivité des cacaoyers sont encore mal compris. Wade *et al.* (2010) ont trouvé que les plantations de cacao plus productives avaient un stockage de carbone plus faible, révélant que l'intensification des cacaoyers par le retrait d'arbres d'ombrage entraîne une perte de carbone dans les plantations. N'Gbala *et al.* (2017) ont estimé que la conversion de forêts secondaires en plantations de cacao plein soleil a entraîné une diminution de 89 % du stock total de carbone dans le centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Sur le plan de la conservation de la biodiversité, les plantations de cacao à canopées diverses fournissent et relient les habitats, ce qui peut freiner la perte d'espèces sauvages en Côte d'Ivoire (Rice et Greenberg, 2000 ; Clough *et al.* 2009). La transformation des systèmes de plantations de cacao plein soleil ou sous ombrage léger peut contribuer à restaurer un certain niveau d'intégrité de la biodiversité dans les paysages cacaoyers (Maney *et al.*, 2021).

De plus, l'association d'arbres dans les plantations de cacao est associée à une réduction de la vulnérabilité des foyers aux chocs climatiques, aux parasites et maladies, aux fluctuations des prix du cacao et à l'insécurité alimentaire (Tscharntke *et al.*, 2011 ; Dumont *et al.*, 2014 ; Sonwa *et al.*, 2014 ; Niether *et al.*, 2020). Des études montrent que les producteurs apprécient également les arbres d'ombrage du fait qu'ils 'apportent la pluie', élèvent le degré d'humidité du sol et réduisent l'érosion (Dumont *et al.*, 2014).

L'agroforesterie est donc de plus en plus considérée comme un système susceptible d'aider à réaliser de multiples objectifs à la fois : restaurer le couvert arboré dans les forêts dégradées et les paysages agricoles pour soutenir les objectifs d'atténuation du changement climatique, tout en appuyant des objectifs socioéconomiques et de conservation de la biodiversité (Middendorp *et al.*, 2018 ; Niether *et al.*, 2020).

Objectifs

UNEP-WCMC, en collaboration avec l'ONU Environnement, le Secrétariat Exécutif Permanent REDD+ (SEP-REDD) de Côte d'Ivoire et le Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire ont précédemment développé des analyses spatiales pour identifier les zones où la conservation et la restauration des forêts pourraient apporter des avantages tels que la conservation de la biodiversité et l'atténuation du changement climatique (Maukonen *et al.*, 2017). Le travail décrit ici s'appuie sur ce travail en explorant la contribution potentielle de l'agroforesterie cacaoyère aux objectifs de restauration forestière.

À l'appui des différentes politiques et stratégies nationales sur la conservation et la restauration des forêts qui se tournent vers l'agroforesterie, il est nécessaire de comprendre où et dans quelle mesure l'agroforesterie peut contribuer à réaliser les objectifs nationaux de restauration des forêts et autres objectifs pertinents. De plus, afin de prioriser les zones d'intervention, il est important de déterminer où l'agroforesterie cacaoyère pourrait générer des bénéfices en stockage de carbone et non-carbone simultanément. Il s'agit donc de déterminer les zones les plus aptes à la production du cacao, leur couvert arboré actuel et les options pour l'augmenter ou le restaurer, en tenant compte des impacts potentiels du changement climatique sur ces zones dans le futur.

Pour soutenir les objectifs de restauration du pays, cette étude cherche à identifier les zones prioritaires dans les paysages cacaoyers existants où le couvert arboré pourrait être augmenté pour répondre aux définitions de l'agroforesterie, et où le potentiel en bénéfices multiples comme la séquestration du carbone et la conservation de la biodiversité sont les plus élevés. Cette étude évaluera également le potentiel de l'agroforesterie cacaoyère à contribuer à l'objectif du pays de restaurer le couvert forestier à 20 % de la superficie du territoire d'ici 2030, conformément aux politiques nationales et plans d'actions actuels.

Ce document présente la méthodologie, les résultats d'activités préliminaires guidant la méthodologie, et les résultats de l'application de celle-ci afin d'identifier et de prioriser ces zones.

Il s'agit d'un exercice de mise en priorité géographique afin d'identifier le potentiel de réalisation d'objectifs environnementaux, qui n'inclut pas de considérations socioéconomiques à ce stade. Ces considérations, y compris les dimensions liées au genre, devraient faire partie de toute étape suivante envers la mise en œuvre de l'agroforesterie dans les zones prioritaires identifiées à travers cette étude.

Étapes Préliminaires

Après un examen des politiques nationales clés, des approches méthodologiques potentielles, ainsi que des données disponibles, l'approche élémentaire a été présentée à des parties prenantes nationales au début de 2021. La méthodologie a été alors affinée en fonction des réactions et commentaires et l'identification de jeux de données supplémentaires pouvant soutenir les objectifs de l'étude.

Consultation de parties prenantes

Un atelier avec des parties prenantes (25 % de participantes) des secteurs public et privé et de la société civile s'est déroulé le 21 janvier 2021. L'atelier visait à informer les parties prenantes sur le projet et à recueillir des commentaires pour valider les critères de définition de l'agroforesterie pour le cacao en Côte d'Ivoire, d'identifier d'autres bénéfices à prendre en compte dans l'analyse, d'examiner la méthode et les sources de données proposées et d'identifier d'autres efforts du gouvernement et du secteur privé que cette étude pourrait ou devrait chercher à informer. L'atelier présenta les objectifs principaux du projet, la méthodologie et les sources de données proposées. L'atelier était interactif, utilisant des tableaux Miro permettant aux participants d'exprimer leur avis et de répondre à des questions.

Les commentaires ont été ensuite consolidés et ont aidé à définir les critères d'ombrage, à confirmer d'importants bénéfices de l'agroforesterie à inclure dans l'analyse, et à identifier des sources potentielles de données, ainsi que des politiques ou projets supplémentaires que la méthode et l'analyse proposées pourraient informer. L'atelier a également mis en évidence quelques-uns des défis pratiques dans la mise en œuvre de l'agroforesterie à grande échelle dans le pays (y compris la disponibilité et la distribution de semis d'arbres d'ombrage). De plus amples détails sont disponibles dans [le compte rendu de l'atelier](#).

Définitions

Définition de l'agroforesterie: L'agroforesterie crée un habitat hétérogène où divers niveaux de couverture de la canopée (ombrage) peuvent être réalisés et où les espèces d'arbres associés varient à des fins différentes (p. ex. production de bois d'œuvre ou de fruits). Ceux-ci peuvent influencer les services écosystémiques fournis, p. ex. stock de carbone, habitat pour la faune, aliments,

revenus. L'agroforesterie peut varier d'un *ombrage partiel*, où ces services représentent des bénéfices considérables par rapport aux systèmes *plein soleil* (p. ex. stock de carbone accru), mais où la production du cacao est toujours prioritaire, à des systèmes sous *fort ombrage* où d'autres services écosystémiques sont au moins aussi importants, voire plus, que la production de cacao. Les arbres d'ombrage peuvent s'inscrire dans plusieurs catégories : denrées comestibles, médicaments, bois d'œuvre et autres (Sonwa *et al.*, 2007, 2016). Plus un système contient de produits forestiers et de bois d'œuvre sous forme de plantes d'ombrage, plus la biomasse aérienne et le stock de carbone associés sont élevés (Sonwa, 2018).

Pour identifier les zones prioritaires où il serait possible d'augmenter le couvert arboré pour répondre aux critères de l'agroforesterie en Côte d'Ivoire, ces critères doivent être clairs. Des études et documents différents suggèrent une série de définitions potentielles, dont celles-ci :

- Gockowski et Sonwa (2010) ont rapporté 6 à 56 arbres d'ombrage par hectare dans des systèmes agroforestiers du cacao en Côte d'Ivoire.
- Dans le cadre d'une intégration de l'agroforesterie pour atténuer le changement climatique et s'y adapter en Côte d'Ivoire, Bunn *et al.* (2019) ont recommandé au moins 18 arbres d'ombrage par hectare avec un couverture d'ombrage de 30 à 40 %.
- La Stratégie Nationale REDD+ a utilisé la densité d'arbres pour déterminer la classification comme agroforesterie cacaoyère – « 50 arbres par hectare de cacaoyers. Au moins 30 arbres, essentiellement des espèces fruitières locales, peuvent être introduits pour la fourniture d'ombrage et de bois de chauffe. Les arbres producteurs de bois d'œuvre serviront à délimiter les parcelles [...] »⁴.
- Pour les systèmes d'agroforesterie cacaoyère en Côte d'Ivoire, le nombre de cacaoyers n'est pas inférieur à 800 arbres/hectare et l'ombrage après la plantation doit être de 30-50 %. Les espèces d'arbres doivent être compatibles avec la production du cacao et les espèces sont choisies avec les producteurs (Le Conseil du Café-Cacao, 2019)⁴.

Les définitions utilisant ou bien le niveau d'ombrage (% de couverture de la canopée) ou bien la densité d'arbres d'ombrage, rendent les comparaisons difficiles. Il est impossible de traduire avec précision la densité d'arbres d'ombrage en niveau d'ombrage (et vice versa), car la taille du houppier varie selon le diamètre et l'espèce de l'arbre (Asare et Ræbild,

⁴ SEPREDD, 2017. Stratégie Nationale REDD+ de la Côte d'Ivoire

⁵ CCC, N. Ref. 019/2019.

2016 ; Isaac *et al.*, 2007). La densité d'arbres d'ombrage ne pouvait pas être cartographiée à l'aide de produits de la télédétection disponibles, cette analyse a donc nécessité une définition de l'agroforesterie cacaoyère basée sur la couverture de la canopée. De plus, le couvert en arbres d'ombrage optimal peut varier selon les conditions climatiques spécifiques régionales, les microclimats spécifiques à un site, ainsi que l'âge et la qualité des cacaoyers (Thomson *et al.*, 2019).

Pendant l'atelier avec des parties prenantes, la plupart des participants proposèrent un critère d'ombrage de 30 % pour les systèmes agroforestiers en Côte d'Ivoire. Dans le cadre de cette analyse, nous avons considéré **deux catégories de systèmes agroforestiers : sous ombrage partiel (ombrage d'environ 30 %) et sous ombrage fort**. La supposition étant que l'agroforesterie sous ombrage partiel a un couvert arboré légèrement plus léger que celle sous ombrage fort mais représente encore un habitat plus divers que des plantations de cacao plein soleil (ombrage en général inférieur à 10 %).

Définition du cacao plein soleil: Les systèmes de cacao plein soleil, ou monocultures, vont de la monoculture à des systèmes sous ombrage très léger. L'ombrage y est en général inférieur à 10 %.

Définition de la forêt: Une zone minimale de 0,1 hectare avec une couverture de la canopée d'au moins 30 %, atteignant une hauteur minimale de 5 m à maturité, formant un environnement dynamique et hétérogène avec des effets directs et indirects sur le sol, le climat et la régulation des eaux (RCI, 2017 ; RCI, 2019).

Définition de l'agro-forêt: le nouveau code forestier de 2019 définit les agro-forêts comme des zones délimitées en tant que telles par un texte réglementaire, situées dans le domaine privé de l'État (Forêts classées) et dans lesquelles des plantations agricoles et des arbres forestiers coexistent (RCI, 2019).

Identification d'objectifs et contraintes relatifs aux politiques

Un examen préliminaire des politiques nationales clés a permis de déterminer les critères et contraintes pour la cartographie de la mise en œuvre potentielle de l'agroforesterie cacaoyère. La liste ci-dessous inclut les objectifs de politique nationale clés tournés vers l'agroforesterie cacaoyère et dont cette analyse se propose d'informer la mise en œuvre:

1. Objectif primaire

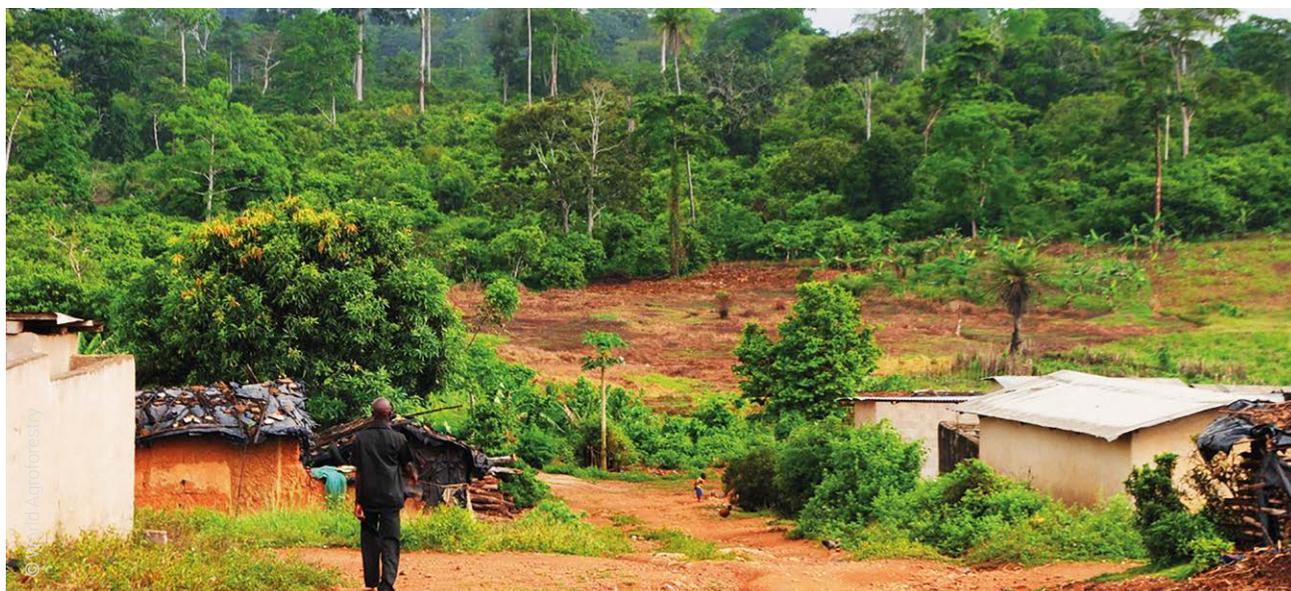
Restauration du couvert forestier à 20 % de la superficie du territoire d'ici 2030 (Vision de la Côte d'Ivoire pour REDD+, Stratégie Nationale REDD+ et Stratégie Nationale de Préservation, de Réhabilitation et d'Extension des Forêts).

2. Objectifs secondaires (contribuent à l'objectif primaire)

A. Restauration de forêts classées dégradées :

Restauration graduelle de forêts classées dégradées à plus de 75 % par la transformation de systèmes agricoles ouverts vers des systèmes agroforestiers, puis vers des plantations forestières (PM 5 sous Option Stratégique 1 dans la Stratégie du Secteur Agricole, Stratégie Nationale REDD+ et la Stratégie nationale de Réhabilitation, Conservation et Extension des Forêts).

B. Lié à A., transformer 1 million d'hectares de plantations de cacao dans les forêts classées en systèmes agroforestiers d'ici 2030 : par l'introduction d'arbres d'ombrage dans les plantations de cacao plein soleil, paiements aux producteurs pour les inciter à adopter ces techniques et l'abandon de la culture à la fin du cycle (PM 3 sous l'Option stratégique 3, Stratégie Nationale REDD+ et le programme Quantité, Qualité et Croissance (2QC) (Conseil du Café-Cacao, 2014)).



C. Restaurer 3.2 millions d'hectares de terres dégradées dans le domaine rural : y compris par la promotion de l'agroforesterie dans 1 million d'hectares de cacao, hévéa et huile de palme d'ici 2030. Dans le cas des plantations de cacao, l'objectif consiste à introduire au moins 50 arbres d'ombrage par hectare (PM 3 sous l'Option stratégique 4, Stratégie Nationale REDD+).

Pour l'objectif C, seule la promotion de l'agroforesterie dans les zones actuelles de culture du cacao a été évaluée (la promotion de l'agroforesterie de l'hévéa et de l'huile de palme n'est donc pas incluse dans l'analyse). De plus, nous n'avons pas pu mettre en œuvre le critère de densité d'arbres dans l'approche méthodologique, mais avons utilisé à la place le couvert arboré pour répondre aux définitions de l'agroforesterie.

3. Contraintes

Les contraintes suivantes, basées sur les diverses politiques pertinentes, seront prises en compte dans l'identification des zones d'opportunité pour réaliser les objectifs décrits ci-dessus.

- Protéger toutes les forêts primaires et secondaires restantes, y compris les forêts classées dont la dégradation est inférieure à 75 %.
- Les écosystèmes naturels doivent être favorisés plutôt que l'agroforesterie cacaoyère. Les écosystèmes naturels non-forestiers comme les marécages ou les pâturages naturels ne doivent pas être convertis en agro-forêts.
- L'agroforesterie cacaoyère ne doit en principe être mise en œuvre que dans des plantations de cacao actuelles, sauf dans des forêts classées dégradées à plus de 75 % où elle peut être mise en œuvre dans d'autres terres agricoles.
- Les zones où la conversion à l'agroforesterie cacaoyère pourrait réduire les stocks de carbone aussi bien dans la biomasse aérienne que dans le sol doivent être évitées.

Définition des critères

Les critères suivants ont été utilisés afin d'identifier les zones d'opportunité les plus aptes à l'agroforesterie cacaoyère.

- Les zones de culture actuelle du cacao (VividEconomics, 2020) comme zones cibles pour la conversion à l'agroforesterie (Figure 4).
- Aptitude climatique : pour affiner les données actuelles sur la culture du cacao, nous avons utilisé le jeu de données Aptitude Climatique pour le Cacao en Afrique occidentale (Schroth

et al., 2016) pour déterminer des zones qui conviennent à la culture du cacao sur le plan climatique. Nous avons examiné d'autres variables biophysiques à inclure dans l'analyse comme l'élévation et l'aptitude du sol, mais nous n'avons pas trouvé de jeu de données sur l'aptitude du sol que nous pourrions mettre en œuvre pour les besoins de cette étude. Nous avons donc présumé que les zones utilisées en ce moment pour la culture du cacao répondaient aux exigences en termes de sol. Nous avons utilisé un seuil minimum de 20 % pour l'aptitude climatique (Schroth *et al.*, 2016) (Figure 7).

- Zones les plus susceptibles de convenir à la culture du cacao sous changement climatique (Schroth *et al.*, 2016) (Figure 7).

Définition des zones prioritaires et co-bénéfiques

Identification de zones potentielles pour la promotion de l'agroforesterie cacaoyère

Compte tenu des objectifs politiques, contraintes et critères d'aptitude identifiés, cette analyse tente d'identifier les zones potentielles pour la promotion de l'agroforesterie cacaoyère dans les zones de culture du cacao actuelles dans le domaine rural, ainsi que les opportunités de mise en œuvre de l'agroforesterie cacaoyère comme moyen de restaurer le couvert forestier dans les forêts classées fortement dégradées. Les travaux évalueront le potentiel en termes de réalisation des objectifs politiques suivants :

1. Transformer 1 million d'hectares de plantations de cacao existantes dans le domaine rural en systèmes agroforestiers d'ici 2030 par l'introduction d'arbres d'ombrage.
2. Restaurer les zones de forêts classées dégradées à plus de 75 % par le biais de l'agroforesterie (avant la transition vers des plantations forestières – qui ne sont pas abordées dans cette étude), y compris 1 million d'hectares de plantations de cacao⁶.
3. Sur la base de 1. et 2. : Évaluer le potentiel de l'agroforesterie cacaoyère à contribuer à l'objectif du pays de restaurer le couvert forestier à 20 % de la superficie du territoire d'ici 2030, conformément aux politiques nationales et plans d'action actuels.

⁶ Art 1. Loi. No 2019-675 du 23 juillet 2019

Bénéfices multiples de la promotion de l'agroforesterie cacaoyère

La mise en œuvre de l'agroforesterie peut procurer des bénéfices multiples, comme la séquestration du carbone, la conservation de la biodiversité et d'autres services écosystémiques. L'évaluation spatiale du potentiel pour de tels co-bénéfices peut aider à identifier les zones les plus propices à la fourniture de co-bénéfices spécifiques, dont certains sont hautement spécifiques. De plus, ces cartes de bénéfices ciblés, associées à d'autres types d'informations pertinentes permettraient aux décideurs de mieux évaluer les compromis entre différents bénéfices potentiels.

Les stocks et la séquestration de carbone étaient les principaux co-bénéfices identifiés par les participants de l'atelier des parties prenantes, suivis par l'adaptation au changement climatique, la diversification des revenus pour les producteurs et la connectivité de l'habitat.

Quant aux bénéfices en termes de carbone, l'étude tente d'évaluer les bénéfices potentiels obtenus si les zones à cibler pour l'agroforesterie à partir des critères et contraintes définis étaient converties en agro-forêts. Il s'agirait donc du bénéfice maximum en termes de carbone qui pourrait être obtenu si toutes les zones identifiées comme adéquates étaient converties. Le potentiel de l'agroforesterie à contribuer à l'adaptation du cacao au changement climatique dépend de nombreux facteurs qu'il est impossible de quantifier au niveau de cette étude. Par contre le risque climatique pour la culture du cacao, lui, est inclus.

Il est impossible d'évaluer le potentiel pour la diversification des revenus à l'échelle de cette étude, bien que le développement de l'agroforesterie à proximité de zones habitées puisse améliorer les services écosystémiques locaux, comme la fourniture de bois d'œuvre et de chauffe ou la sécurité alimentaire (par les arbres fruitiers). Ceci influencerait aussi la sélection des espèces d'arbres d'ombrage les plus appropriés à chaque endroit.

Quant à la connectivité de l'habitat, la mise en œuvre de l'agroforesterie dans des corridors écologiques potentiels peut aider à améliorer la connectivité entre les forêts primaires, alors que dans des zones plus agricoles, autour de forêts restantes elle peut aider à atténuer l'impact d'activités humaines sur la biodiversité locale. La Stratégie Nationale REDD+ estime aussi que l'agroforesterie peut réduire la pression sur les forêts restantes en augmentant la productivité des terres sous cacao existantes (cacao et autres produits).





Méthodologie

Les étapes du processus de cartographie des zones d'opportunité pour l'agroforesterie cacaoyère et des zones prioritaires pour sa mise en œuvre sont les suivantes :

1. Identifier les zones propices à la promotion de l'agroforesterie cacaoyère à partir des critères et contraintes définis dans la section ci-dessus.
2. Évaluer les co-bénéfices potentiels de la promotion de l'agroforesterie dans les zones identifiées à l'étape 1.

Différents jeux de données ont été associés pour affiner l'identification de zones prioritaires potentiellement propices à la mise en œuvre de l'agroforesterie cacaoyère (Figure 3) et pour l'évaluation de co-bénéfices.

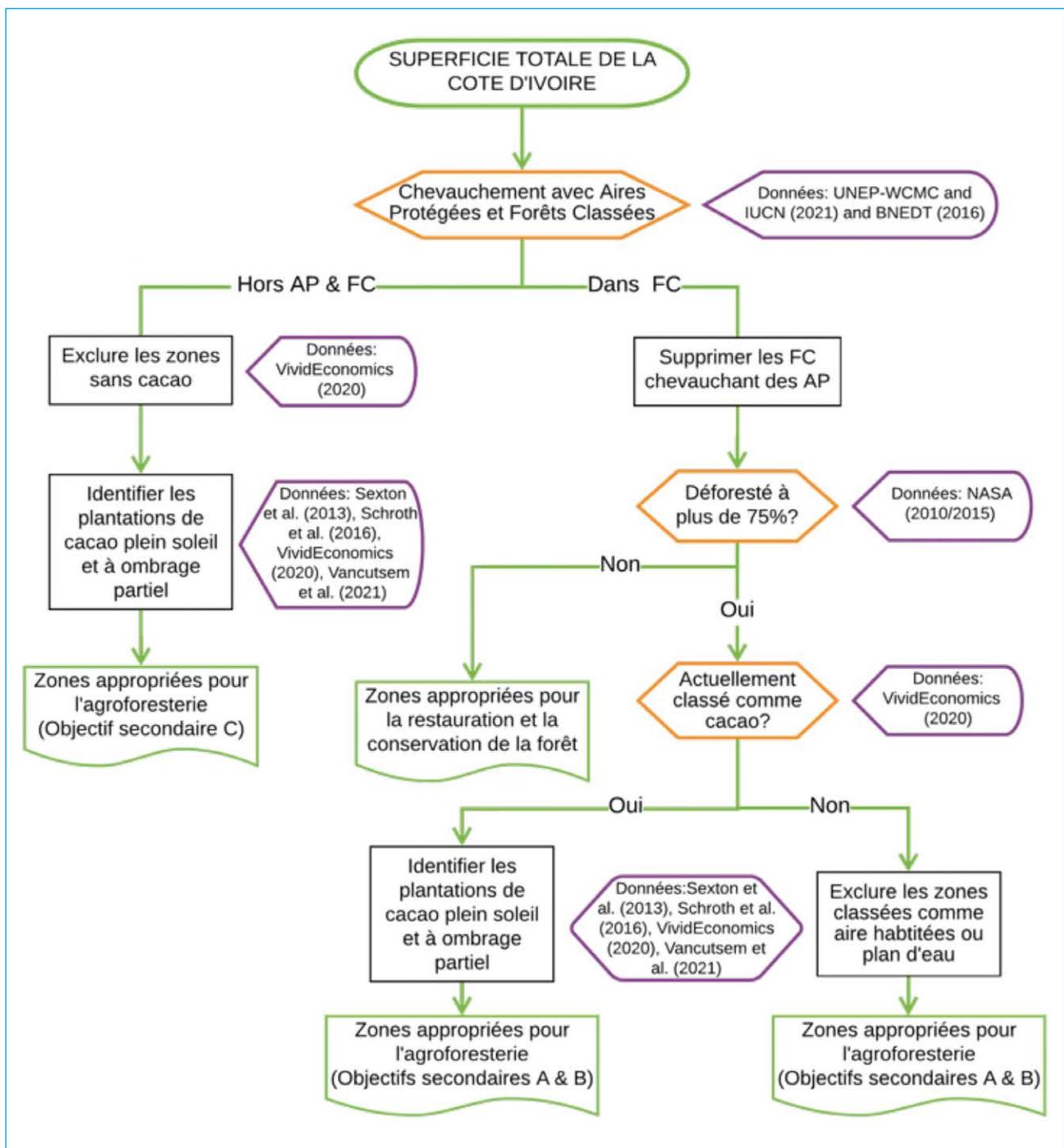


Figure 3. Arbre de décision pour identifier les zones prioritaires potentielles pour la mise en œuvre de l'agroforesterie cacaoyère. AP = Aires protégées et FC = Forêts Classées.

Identification de zones pour la promotion de l'agroforesterie cacaoyère

Cette section décrit l'approche progressive et les jeux de données (Tableau 1) utilisés pour identifier les zones de production (potentielle) du cacao, leur état actuel en termes de couvert arboré et les options pour l'augmenter, ainsi que la façon dont elles sont susceptibles d'être affectées par le changement climatique.

L'analyse a d'abord été effectuée au niveau national, dans les zones de cultures de cacao existantes (selon VividEconomics, 2020), avec des exclusions basées sur le couvert arboré, les perturbations forestières et l'aptitude climatique. Elle a été ensuite affinée aux zones de culture potentielle du cacao, climatiquement aptes, dans les forêts classées (BNEDT/SEP-REDD, 2016) et dans le domaine rural (à l'extérieur de aires protégées désignées et des forêts classées). Les forêts classées incluent des zones présentement identifiées comme plantations de cacao et des zones présentement sans culture de cacao, mais considérées comme fortement dégradées (<25 % de couvert arboré). Les forêts classées, identifiées à partir de données fournies par BNEDT (2016), chevauchant des aires protégées désignées (IUCN et UNEP-WCMC, 2021) furent supprimées (Figure 4), car ces dernières

(parcs nationaux, etc.) ne sont pas ciblées pour la restauration par l'agroforesterie, mais pour une restauration écologique naturelle ou assistée (Stratégie Nationale REDD+ et Plan de mise en œuvre de l'ICF).

Toute l'analyse spatiale a été effectuée dans Python Jupyter Notebook, avec le package Geemap (Wu, 2020) pour accéder aux jeux de données locales et à ceux disponibles sur Google Earth Engine. Les cartes ont été produites à l'aide de QGIS version 3.18.1.

Évaluation des niveaux d'ombrage dans les zones de culture du cacao

Pour évaluer le potentiel d'augmentation du couvert arboré dans les paysages cacaoyers existants qui permettrait de répondre aux critères de l'agroforesterie (c.-à-d. couvert à ombrage d'environ 30 %), des données sur les niveaux actuels de couvert arboré sont nécessaires. Toutefois, des données spatiales sur les niveaux d'ombrage dans les zones de cultures du cacao ne sont pas disponibles et sont limitées techniquement par la difficulté de distinguer le cacao sous le couvert d'autres arbres. Nous associons donc des jeux de données sur les **zones actuelles de cultures du cacao, le couvert forestier, la dynamique forestière et l'aptitude climatique** (Tableau 1) pour identifier des niveaux plausibles d'ombrage dans les zones de culture du cacao actuelles en Côte d'Ivoire, dans une approche progressive, et clarifiant les hypothèses sous-jacentes à chaque étape.

Tableau 1. Jeux de données utilisés dans l'analyse. Tous les jeux de données ont été remis à échelle avec une résolution de 30 m dans Google Earth Engine.

Jeu de données	Référence	Description	Résolution temporelle (Année(s))	Résolution spatiale	Lien (si disponible publiquement)
Occupation des sols VividEconomics	VividEconomics (2020)	Occupation des sols de la Côte d'Ivoire	2019	10 m	NA
JRC Tropical Moist Forests	Vancutsem <i>et al.</i> (2021)	Contrôle à long terme de la dynamique des forêts tropicales humides	1990-2019	30 m	Oui
NASA Forest Canopy Cover	Sexton <i>et al.</i> (2013)	Couvert arboré (%) où la hauteur des arbres dépasse 5 m.	2010 et 2015	30 m	Oui
GLAD Forest Height Dataset	Potapov <i>et al.</i> (2020)	Hauteur de forêts (m)	2019	30 m	Oui
Cocoa Climate Suitability in West Africa	Schroth <i>et al.</i> (2016)	Aptitude climatique au cacao. Actuelle et projetée (2050)	Climat actuel et en 2050	1 km	NA
WDPA Protected Areas	UNEP-WCMC et IUCN (2021)	Aires protégées mondialement	2021	NA	Oui
Forêts Classées	BNEDT (2016)	Forêts Classées en Côte d'Ivoire	2016	NA	NA

Occupation des sols

La carte de l'occupation des sols de la Côte d'Ivoire en 2019 par VividEconomics (résolution spatiale de 10 m) a été utilisée pour identifier des zones actuellement classées comme des plantations de cacao (VividEconomics, 2020) (Figure 4). Ce jeu de données ne différencie pas le niveau d'ombrage, et inclut probablement une gamme de niveaux. Des études ont révélé qu'en moyenne 35 % du cacao

cultivé en Côte d'Ivoire représente des systèmes plein soleil et environ 50 % est sous ombrage partiel (<30 %) (WWF, 2006). De plus, la majorité du cacao est produit dans des petites plantations (moins de 10 hectares), ce qui rend l'identification du couvert arboré à l'échelle des plantations difficile. D'autres jeux de données ont donc été utilisés pour établir où le cacao actuel est vraisemblablement cultivé en plein soleil ou sous ombrage partiel ou fort (Tableau 1).

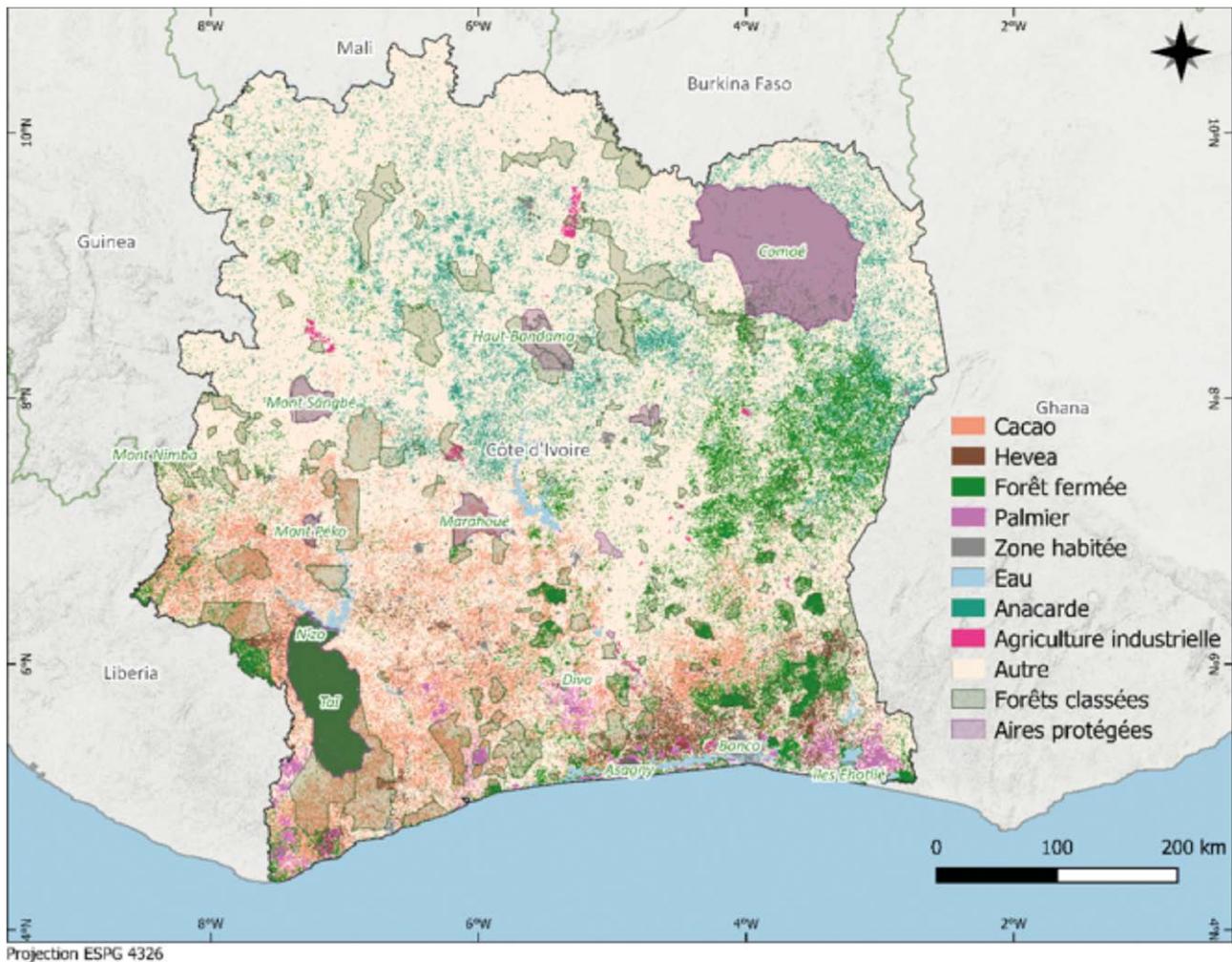


Figure 4. Occupation des sols en Côte d'Ivoire en 2019 superposée avec les forêts classées, y compris celles qui sont des aires protégées (BNEDT, 2016 ; VividEconomics, 2020 ; UNEP-WCMC et IUCN, 2021). Les frontières et noms indiqués et les désignations utilisées dans cette carte ne sous-entendent aucune approbation ou acceptation officielle de la part des Nations Unies.

Couvert arboré

Des jeux de données de couvert arboré de la NASA (Sexton *et al.*, 2013) ont été utilisés pour déterminer le couvert arboré potentiel dans les cellules classées comme plantations de cacao par VividEconomics (2020). Des valeurs manquaient dans le jeu de données de 2015, peut-être en raison de lignes de balayage satellite et de la couverture nuageuse. Les valeurs manquantes dans le jeu de données de 2015 ont donc été complétées par des valeurs de 2010 au possible. Lorsque le jeu de données de 2010 ne contenait aucune valeur, nous avons présumé que la valeur de la cellule était de 0, donc sans arbres de plus de 5 m de hauteur. Même si cette approche a permis de combler quelques lacunes dans le jeu de données de 2015, nous présumons que les cellules à valeur nulle en 2015 mais non nulles en 2010 ont peut-être été déforestées (Figure 5).

Les jeux de données de couvert arboré de la NASA identifient le couvert arboré là où la hauteur des arbres dépasse 5 m. Les cacaoyers en Côte d'Ivoire

ont une hauteur de 4,5 à 6 m (Rainforest Alliance, 2016). Les plantations de cacao en monoculture peuvent donc être identifiées comme un couvert forestier dans les données détectées par satellite. Les données sur la hauteur des forêts GLAD de 2019 (Potapov *et al.*, 2020) indiquent la hauteur de la canopée à partir de trois mètres de hauteur avec une résolution de 30 m. Les cellules à hauteur de canopée supérieur à 5 m peuvent toutefois continuer à représenter des monocultures de cacao. Surtout que les cacaoyères plein soleil incluent souvent quelques arbres. L'exclusion de cellules en fonction de la hauteur de la canopée risque donc de donner une image fautive de la surface de cacao plein soleil. Nous n'avons donc finalement pas utilisé la hauteur de la canopée comme critère pour classifier des niveaux d'ombrage plausibles, mais nous avons calculé la hauteur moyenne de la canopée dans chaque classe finale de gestion du cacao afin de vérifier les si les résultats finaux étaient sensés du point de vue de leur hauteur moyenne relative.

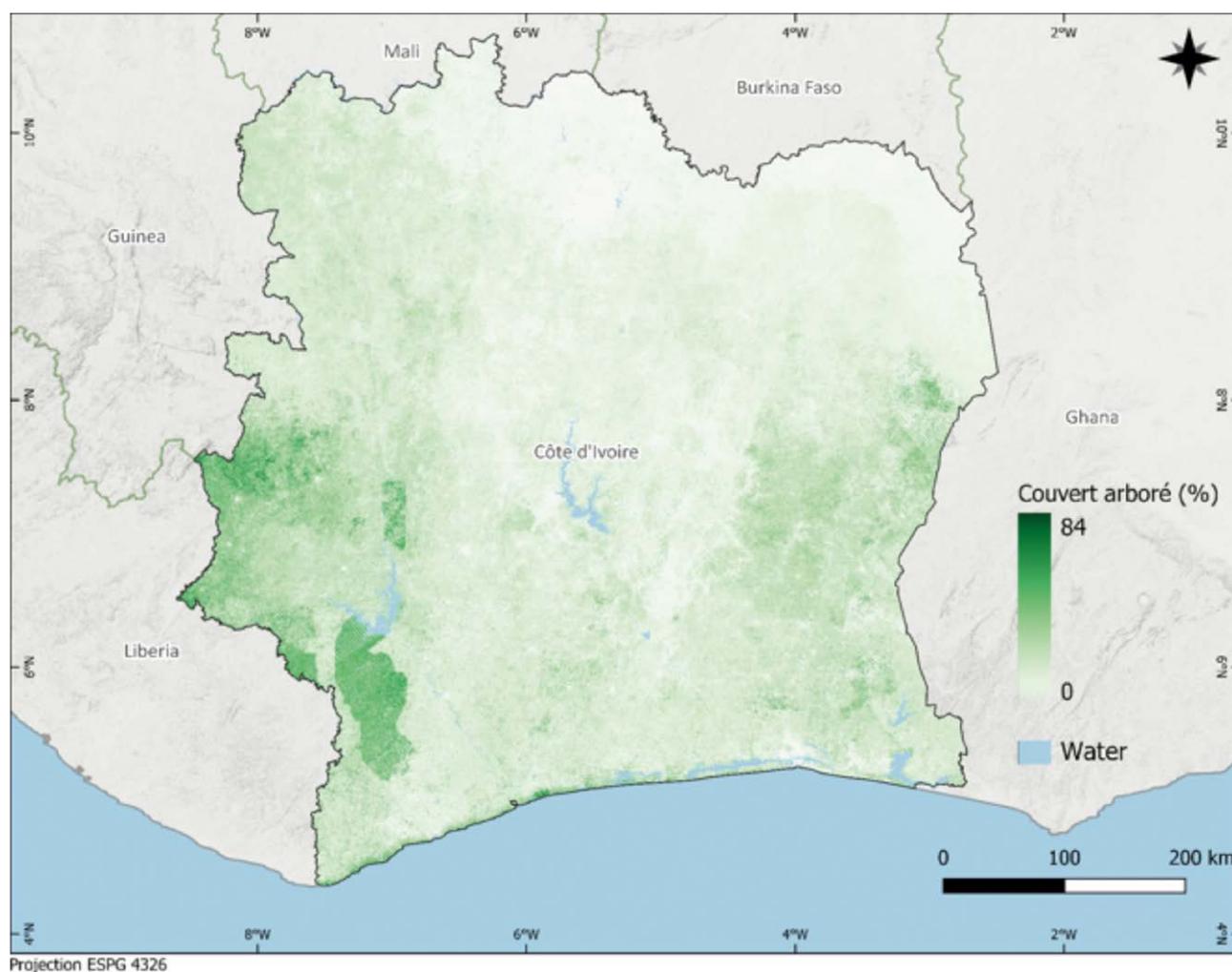


Figure 5. Pourcentage (%) de couvert arboré en Côte d'Ivoire où la taille des arbres dépasse 5 m (NASA). Des valeurs manquantes existent en raison de lignes de balayage, de la couverture nuageuse, etc. Les lacunes dans le jeu de données de 2015 ont été complétées avec des données de 2010 quand celles-ci étaient disponibles. Les frontières et noms indiqués et les désignations utilisées dans cette carte ne sous-entendent aucune approbation ou acceptation officielle de la part des Nations Unies.

Afin de déterminer la relation entre le niveau d'ombrage réel mesuré sur le terrain et le couvert de la canopée détecté par télédétection, nous avons comparé des mesures du niveau d'ombrage réel dans des plantations de cacao établies dans le cadre du projet *CocoaSoils*, avec les jeux de données combinés de la NASA (Sexton *et al.*, 2013). Ceci a permis de montrer que la plupart des cacaoyères réellement en 'plein soleil' (jusqu'à environ 10 % d'ombrage) pouvaient montrer des valeurs détectées d'au moins 30 % et à certains endroits jusqu'à 50 % (Figure 6). Par conséquent, toutes cellules de cacao avec un couvert arboré détecté (selon Sexton *et al.* (2013) pour les années 2010 et 2015) inférieur à 30 % ont été présumées comme étant des plantations potentiellement en plein soleil.

Dans le cas des zones dégradées non-cacao dans les forêts classées, qui représentent une cible pour l'agroforesterie, celles-ci ont été jugées fortement dégradées lorsque le couvert arboré était inférieur à 25 %, selon Sexton *et al.* (2013). Cette valeur a été choisie pour s'aligner sur la définition nationale des forêts classées fortement dégradées.

Dynamique forestière temporelle

Les cellules susceptibles de représenter le 'plein soleil' ont ensuite été raffinées avec le jeu de données Tropical Moist Forest (Vancutsem *et al.*, 2021), un jeu de données à long terme (1990 – 2019) identifiant les cellules où des forêts ont été converties à d'autres utilisations, dégradées ou donnant les dates d'événements de reforestation. Le cacao a été un important moteur de déforestation en Côte d'Ivoire, notamment depuis 2010 (VividEconomics, 2020). Les cellules

identifiées comme du cacao par VividEconomics et qui empiètent sur des cellules classées comme déboisées, dégradées ou affectées à une autre utilisation des terres (y compris l'agriculture) dans le jeu de données Tropical Moist Forest sont par conséquent susceptibles d'être en effet des plantations de cacao. Nous avons présumé que les cellules classées comme affectées à une 'autre utilisation des terres (y compris l'agriculture)' ou comme déboisées étaient susceptibles d'être des plantations de cacao plein soleil. Les cellules classées comme 'dégradées' ont été présumées représentant des plantations sous ombrage partiel (au moins 30 % d'ombrage). Nous avons classé les cellules que le jeu de données Tropical Moist Forest considérait comme intactes ou récemment reboisées et avec un couvert arboré d'au moins 30 % comme des agro-forêts de cacao sous fort ombrage (Tableau 2).

Là où le couvert arboré (%) dans des zones de cacao était classé comme supérieur à 30 %, mais où une déforestation s'est produite depuis 2016 selon Vancutsem *et al.* (2021), les cellules ont été considérées comme des plantations plein soleil. Si une déforestation s'était produite avant 2016 et que le couvert arboré était estimé à $\geq 30\%$, la cellule était classée comme de l'agroforesterie sous ombrage partiel.

Aptitude climatique

Finalement, deux jeux de données ont été créés avec les cellules identifiées comme des zones potentielles pour la promotion de l'agroforesterie cacaoyère dans les étapes précédentes.

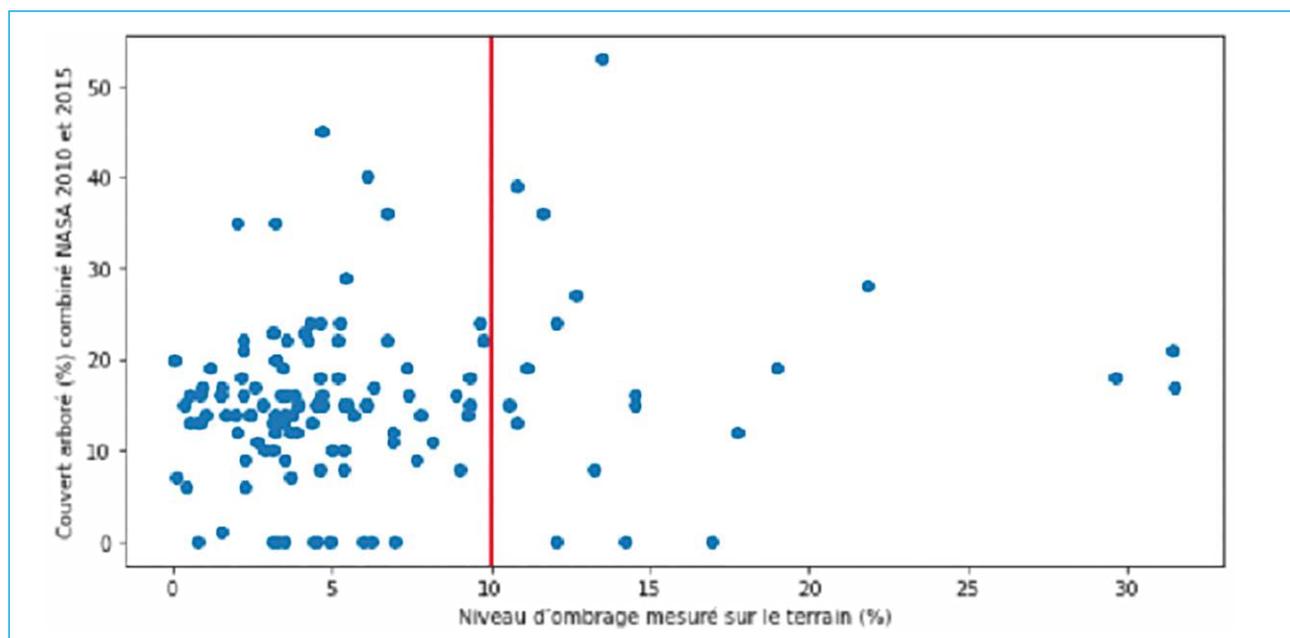


Figure 6. Niveau d'ombrage mesuré sur des terrains du programme *CocoaSoils* par rapport au couvert arboré mesuré par télédétection selon NASA 2010 (résolution 30 m). Un niveau d'ombrage mesuré inférieur à 10 % est considéré comme plein soleil.

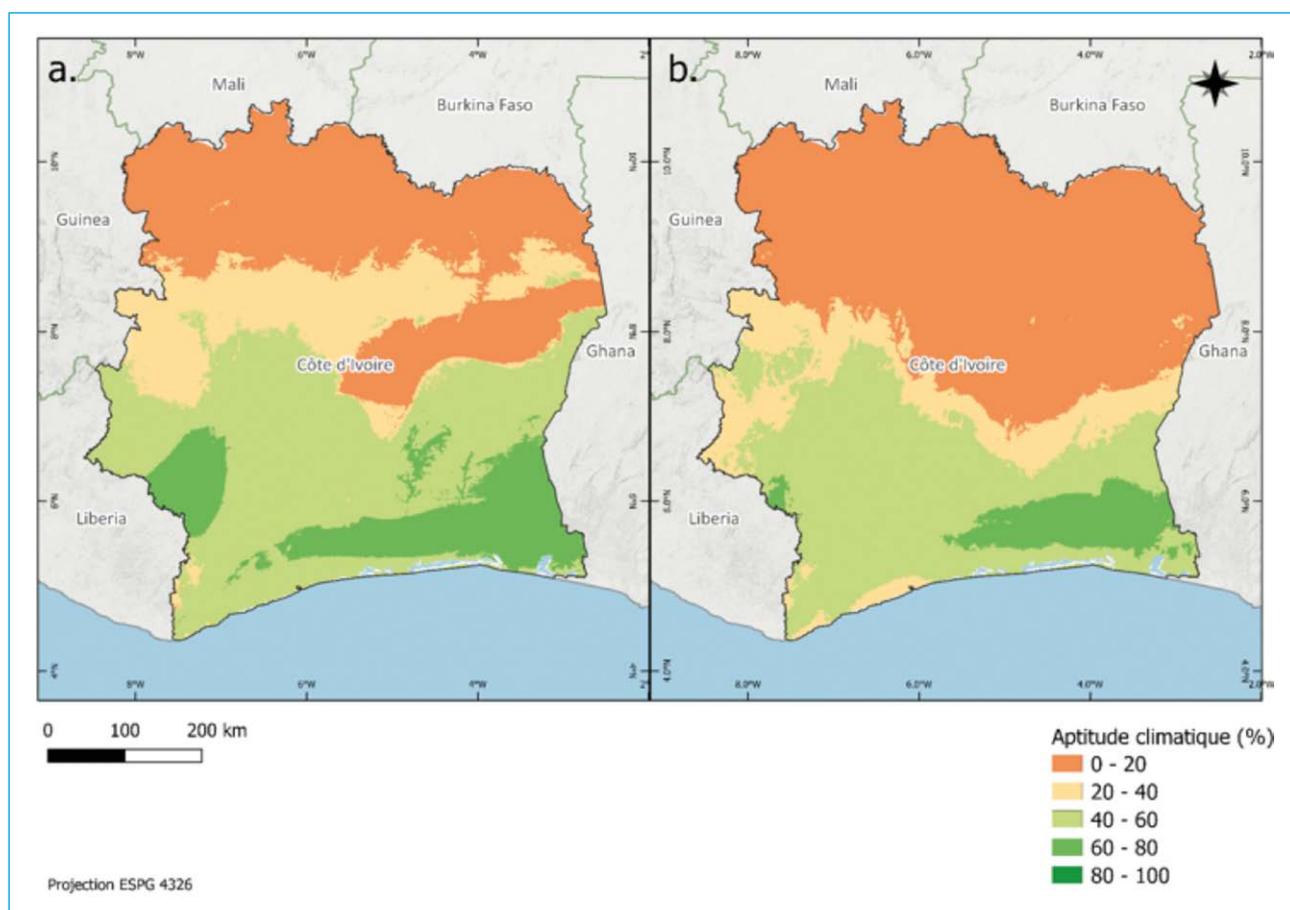


Figure 7. Aptitude au cacao dans a) les conditions climatiques actuelles et dans b) les conditions climatiques projetées pour 2050 (Shroth *et al.*, 2016). Les zones présentant une aptitude inférieure à 20 % sont considérées comme inappropriées pour la culture du cacao. Les frontières et noms indiqués et les désignations utilisées dans cette carte ne sous-entendent aucune approbation ou acceptation officielle de la part des Nations Unies.

Premièrement, celles qui conviennent pour la culture du cacao dans le climat actuel et celles qui conviennent pour le cacao dans le climat projeté pour 2050 dans Schroth *et al.* (2016). Dans les deux cas une valeur seuil d'au moins 20 % d'aptitude climatique au cacao a été utilisée (Figure 7). Nous avons supposé que les zones adéquates pour la culture du cacao conviennent de la même façon pour l'agroforesterie cacaoyère, car des données sur l'aptitude climatique spécifique aux systèmes agroforestiers ne sont pas disponibles. Des indications existent que les arbres d'ombrage peuvent soutenir l'adaptation du cacao au changement climatique en atténuant les températures extrêmes (Neither *et al.*, 2020).

Résumé : Évaluation des niveaux d'ombrage dans les zones de culture du cacao

L'occupation des sols, le couvert arboré, les perturbations forestières, les données d'aptitude climatique ont été combinés pour distinguer les zones plausiblement soumises à des pratiques de gestion du cacao différentes (agroforesterie plein soleil, sous ombrage partiel et sous fort ombrage) (Tableau 2). Cette classification fut ensuite utilisée

pour identifier les zones convenant à la promotion de l'agroforesterie dans les zones de culture du cacao dans le domaine rural et dans les forêts classées.

Là où le cacao était cartographié par VividEconomics (2020) et avait un couvert arboré inférieur à 30 % (Sexton *et al.* (2013) années 2010 et 2015), nous avons présumé que la cellule représente des plantations de cacao plein soleil. La base de données Tropical Moist Forest (Vancutsem *et al.*, 2021) a servi à établir une distinction entre des cellules de cacao à couvert arboré supérieur à 30 %, potentiellement sous ombrage partiel ou fort. Là où le couvert arboré était supérieur à 30 % dans des zones affectés à une 'autre utilisation des terres sans afforestation', classées comme déforestées avant 2016, dégradées ou perturbées par Vancutsem *et al.* (2021) ces zones ont été considérées comme de l'agroforesterie sous ombrage partiel. Les cellules de cacao étaient considérées comme un système d'agroforesterie sous fort ombrage là où elles étaient classifiées comme 'Forêt tropicale humide non perturbée', 'Repousse forestière', boisement ancien et récent dans les données Vancutsem *et al.* (2021) et avaient un couvert arboré de $\geq 30\%$ en 2015 (ou 2010 s'il n'existait pas de valeur de cellule en 2015).

Les cellules identifiées comme du cacao dans les données VividEconomics (2020), mais classées comme repousse de plantation, conversion en plantation forestière, eau convertie en repousse forestière, mangrove non perturbée, autres classes de mangroves par Vancutsem *et al.* (2021) ont été exclues de l'analyse. Les plantations dans Vancutsem *et al.* (2021) sont définies surtout comme productrices d'huile de palme et d'hévéa (voir Annexe 2). De la même façon, les cellules à aptitude climatique (climat actuel ou projeté pour 2050) inférieure à 20 % ont été exclues.

Identification de zones de cultures non-cacao appropriées dans les forêts classées dégradées

Les zones de cultures non-cacao n'ont été prises en compte que dans les forêts classées hautement dégradées, définies comme des forêts présentant une dégradation supérieure à 75 %. Nous avons donc inclus les zones où le couvert arboré (Sexton *et al.*, 2013) était inférieur à 25 %. Les zones classées comme zones habitées, forêt fermée et eau par VividEconomics (2020) ont été exclues de l'analyse, n'étant pas jugées adéquates pour la culture du cacao.

Tableau 2. Critères utilisés pour identifier les zones propices à la promotion de l'agroforesterie sur la base de données disponibles et descriptions de systèmes de gestion d'ombrage du cacao.

Classe	Couverture terrestre (VividEconomics, 2020)	Couvert arboré (2010/ 2015) NASA (%)	Classes de forêts tropicales humides (Vancutsem <i>et al.</i> 2021)	Aptitude (actuellement ou en 2050) (Schroth <i>et al.</i> , 2016).
Plein soleil	Cacao	<30 %	Autre utilisation terrestre sans reboisement ou déforestation	>=20 %
Plein soleil	Cacao	>=30 %	Déforestation (à partir de 2016)	>=20 %
Plein soleil	Cacao	<30 %	Forêt dégradée (perturbations à court, long, 2/3 terme), dégradation commencée en 2019	>=20 %
Plein soleil	Cacao	<30 %	Forêt tropicale humide non perturbée, repousse forestière, reboisement récent et ancien	>=20 %
Agroforesterie à ombrage partiel	Cacao	>=30	Autre utilisation des terres sans boisement (inclut des terres agricoles), déforestation (avant 2016)	>=20 %
Agroforesterie à ombrage partiel	Cacao	>=30	Forêt dégradée (perturbations à court, long, 2/3 terme), dégradation commencée en 2019	>=20 %
Agroforesterie à fort ombrage	Cacao	>=30 %	Forêt tropicale humide non perturbée, repousse forestière, boisement récent et ancien	>=20 %
Non-cacao (à l'intérieur de forêts classées uniquement)	Hévéa, palme, anacarde, agriculture industrielle, autre	<25 %	Non inclus	>=20 %
Exclu	Cacao	>=30 %	Repousse de plantations, conversion en plantation forestière, eau convertie en repousse forestière, mangrove non perturbée, autres classes de mangrove	>=20 %
Exclu	Cacao	<30 %	Repousse de plantations, conversion en plantation forestière, eau convertie en repousse forestière, mangrove non perturbée, autres classes de mangrove	>=20 %
Exclu	Cacao	<30 %	Repousse de plantations, conversion en plantation forestière, eau convertie en repousse forestière, mangrove non perturbée, autres classes de mangrove	<20 %
Exclu	Cacao	NA	Classes de cacao définies ci-dessus (plein soleil, sous ombrage partiel et fort), climat inapproprié	<20 %
Exclu	Aires de peuplement, forêt dense, eau	NA	Non inclus	NA
Exclu	Hévéa, palme, anacarde agriculture industrielle, autre	>25 %	Non inclus	<20 %

Co-bénéfices

Valeurs de stock de carbone par type de gestion d'ombrage du cacao :

Le stockage de carbone par l'agroforesterie cacaoyère est une fonction partielle de sa gestion (Nadege *et al.*, 2018). Des valeurs pour les stocks de carbone dans différents types de gestion du cacao ont donc été identifiées dans la littérature. L'Annexe 1 fournit quelques exemples d'études récentes. L'analyse documentaire a permis d'identifier des valeurs de stock de carbone dans chaque classe de gestion du cacao (plein soleil, ombrage partiel et fort). Cette analyse s'est concentrée initialement sur des études en Côte d'Ivoire, mais les résultats ont été étendus aux pays ouest-africains proches (p. ex. Ghana et Cameroun) en raison du manque de données. Les données les plus complètes pour estimer les valeurs moyennes de stock total de carbone pour chaque classe se trouvaient dans Sonwa *et al.* (2018). Cette étude estime un stock total de carbone (biomasse aérienne et en sous-sol des cacaoyers et arbres d'ombrage, sol et détritiques) de 60 tC.ha⁻¹ dans les plantations plein soleil, 81 tC.ha⁻¹ dans les systèmes sous ombrage partiel et 201 tC.ha⁻¹ dans les systèmes agroforestiers à fort ombrage.

Autres systèmes écosystémiques et conservation de la biodiversité

Faute d'études offrant une comparaison quantitative des impacts sur les services écosystémiques non-carbone et la biodiversité entre les différents types d'agroforêts, et les monocultures plein soleil (voir aussi Neither *et al.*, 2020), il était impossible de cartographier ces impacts. Nous avons utilisé à la place la proximité aux forêts et aux zones habitées comme indicateurs de l'importance potentielle de l'agroforesterie cacaoyère pour la conservation de la biodiversité et la fourniture de services écosystémiques respectivement (Figure 8).

Les zones proches des zones habitées sont souvent plus importantes pour la fourniture de services écosystémiques, par exemple les produits forestiers ligneux et non-ligneux. La proximité de forêts fermées a servi d'indicateur pour l'importance en termes de conservation de la biodiversité, les zones d'agroforesterie cacaoyère les plus proches de forêts denses étant supposées revêtir une plus grande importance pour la conservation de la biodiversité, car elles peuvent augmenter la disponibilité et la qualité de l'habitat, tout en améliorant la connexion entre habitats fauniques existants.

La proximité des zones d'habitation et des forêts fermées (selon VividEconomics, 2020) a été estimée à l'aide de l'outil Proximity (Raster Distance) dans QGIS (version 3.18). Les valeurs ont été normalisées par une mise à l'échelle entre 0 et 1 à l'aide du Raster Calculator.

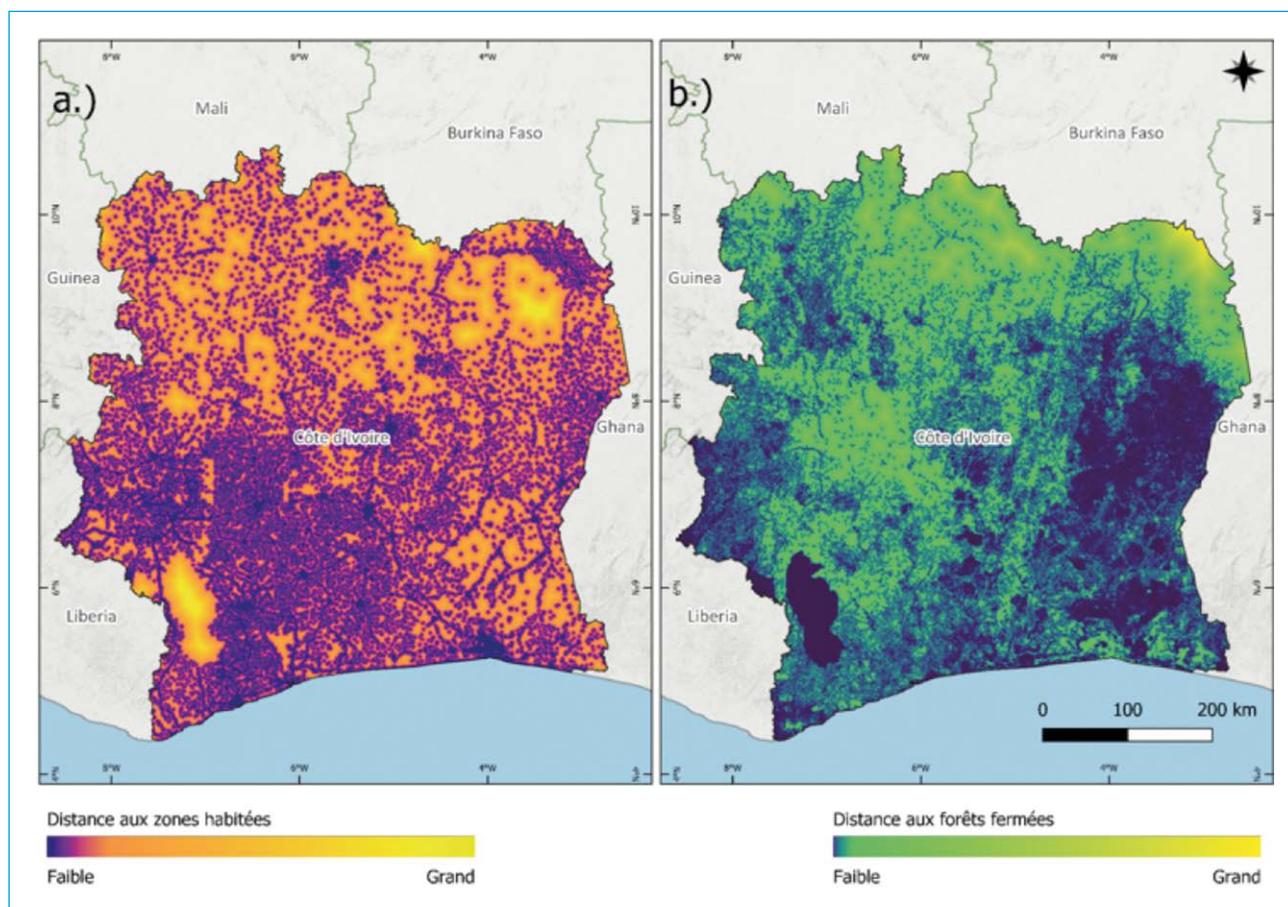


Figure 8. Distance par rapport aux zones habitées et aux forêts fermées. Les frontières et noms indiqués et les désignations utilisées dans cette carte ne sous-entendent aucune approbation ou acceptation officielle de la part des Nations Unies.



Résultats

Zones propices à l'agroforesterie cacaoyère dans des paysages cacaoyers existants

Dans les cellules classées comme du cacao par VividEconomics, le couvert arboré moyen en 2010 était de 22,64 %, puis a chuté à 19,3 % en 2015 (min. = 0, max. = 85), selon les données les plus récentes de la NASA sur le couvert arboré.

Pour vérifier la cohérence, nous avons comparé la classification finale résultant de la méthodologie, avec le jeu de données sur la hauteur des arbres (Potapov *et al.*, 2020) dans toutes les zones de cultures du cacao. La hauteur moyenne de la canopée dans la classe plein soleil était de 6,84 m, tandis que la hauteur moyenne était supérieure dans les deux types d'agroforesterie : 8,95 m et 11,78 m respectivement dans les agro-forêts sous ombrage partiel et sous fort ombrage. Cela indique que la classification est conforme à l'attente en termes de différences de hauteur des arbres.

Dans des forêts classées

Selon les données d'occupation des sols de VividEconomics (2020), les plantations de cacao sont estimées représenter 625 332 hectares de couverture terrestre dans les forêts classées ne chevauchant pas des aires protégées (BNEDT, 2016 ; UNEP-WCMC et IUCN, 2021) (Tableau 3).

Dans les forêts classées (ne chevauchant pas des aires protégées désignées), l'évaluation s'est concentrée sur les paysages cacaoyers existants et autres terres non-cacao dégradées (à l'exclusion des zones habitées, forêts fermées et plans d'eau).

Surface à potentiel pour la promotion de l'agroforesterie cacaoyère

Dans toutes les forêts classées qui n'empiètent pas sur des aires protégées (BNEDT, 2016) et sous aptitude climatique actuelle, 508 342 hectares ou 83 % des cellules de cacao sont présumées faire l'objet d'une gestion plein soleil, suivies par l'agroforesterie sous ombrage partiel (86 807 d'hectares ou 14 %) et 15 718 d'hectares d'agroforesterie sous fort ombrage (2,6 %). Dans le climat projeté pour 2050 (Schroth *et al.*, 2016), les classes sont largement non-affectées, avec des diminutions de surface négligeables dans toutes les classes (Tableau 4).

L'examen d'autres terres dégradées (zones non-cacao avec un couvert arboré inférieur à 75 %) dans les forêts classées a identifié 1 368 969 hectares actuellement aptes d'un point de vue climatique. En se limitant aux zones aptes d'un point de vue climatique en 2050, la zone de terres non-cacao dégradées qui pourrait servir à promouvoir l'agroforesterie cacaoyère dans les forêts classées diminue à 966 586 hectares. Cela représente une réduction d'environ 30 % de terres potentiellement adéquates en raison du changement climatique.

Les zones prioritaires pour augmenter le couvert arboré par l'agroforesterie cacaoyère dans les forêts classées fortement dégradées se situent essentiellement dans l'ouest et le sud-ouest du pays (Figure 9). Les forêts classées dégradées dans le nord se trouvent à limite inférieure de l'aptitude climatique actuelle (20-40 %) définie par Schroth *et al.* (2016) et seront probablement inadéquates en 2050 (Figure 11), c'est-à-dire qu'elles ne doivent être ciblées que pour la promotion de l'agroforesterie cacaoyère comme stratégie d'adaptation dans des plantations de cacao existantes. S'il n'y a pas de cultures de cacao à l'heure actuelle, il ne faut très probablement pas les cibler pour la restauration par l'agroforesterie cacaoyère, mais par d'autres cultures agroforestières ou des plantations forestières plus adaptées.

Tableau 3. Couverture terrestre dans des forêts classées (BNEDT, 2016) basée sur l'occupation des sols de VividEconomics (2020). Les forêts classées chevauchant des aires protégées (UNEP-WCMC et IUCN, 2021) ont été exclues.

Classe de terre	Zone (ha)	Proportion (%)
Cacao	625,332	17.9
Hévéa	35,887	1
Forêt dense	519,670	14.8
Huile de palme	15,387	0.4
Population	18,690	0.5
Eau	15,073	0.4
Anacarde	48,111	1.4
Agriculture industrielle	12,963	0.4
Autre	2,209,659	63.11
Total	3,500,772	100

Tableau 4. Cacao classé en systèmes plein soleil, sous ombrage partiel et fort et terres non-cacao dégradées dans les forêts classées. Les forêts classées chevauchant des aires protégées (UNEP-WCMC et IUCN, 2021) ont été supprimées.

Classe	Aptitude climatique actuelle (ha)	Aptitude climatique en 2050 (ha)
Plein soleil	508,342	507,847
Agroforesterie sous ombrage partiel	86,807	86,800
Agroforesterie sous fort ombrage	15,718	15,716
Terres non-cacao dégradées	1,368,969	966,586
Surface totale potentielle sous cacao	1,979,836	1,576,949

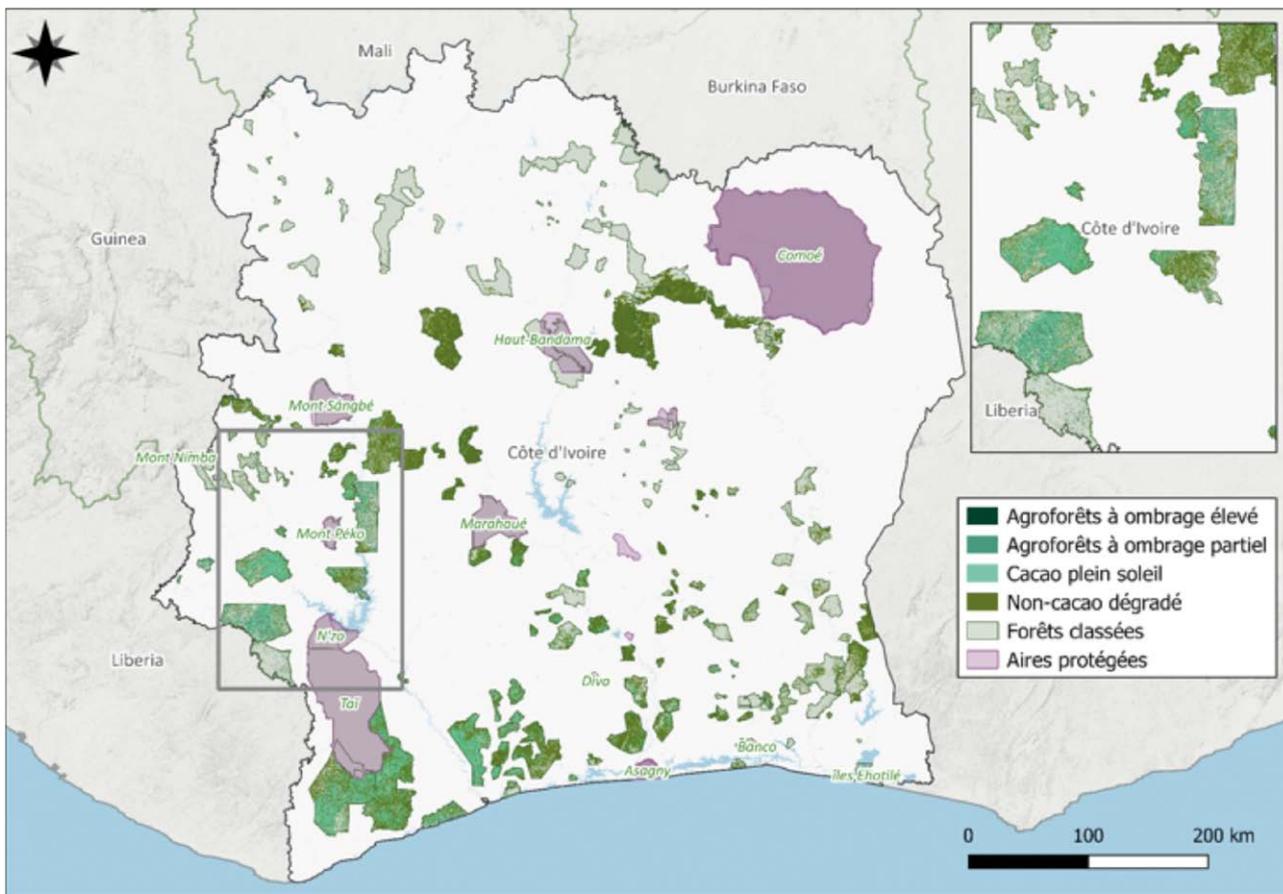


Figure 9. Classification des niveaux d'ombrage estimés dans les zones de culture de cacao existantes et les zones non-cacao fortement dégradées, et aptes dans le climat actuel dans les forêts classées. Les forêts classées qui sont aussi des aires protégées ne sont pas prises en compte (BNEDT, 2016 ; UNEP-WCMC et IUCN, 2021). Les frontières et noms indiqués et les désignations utilisées dans cette carte ne sous-entendent aucune approbation ou acceptation officielle de la part des Nations Unies.

Dans le domaine rural

Dans le domaine rural (à l'exclusion des aires protégées et des forêts classées), une zone de plus de 2 millions d'hectares a été identifiée comme zone potentielle de culture actuelle du cacao. 89 % de cette superficie est présumée plein soleil, ce qui représente une opportunité significative d'augmenter les stocks de carbone et d'autres services écosystémiques. L'agroforesterie sous ombrage partiel (9,3 %) et l'agroforesterie sous fort ombrage (2 %) représentent des surfaces nettement inférieures (Tableau 5).

Avec des tendances similaires à celles des forêts classées, la plupart des zones actuellement identifiées comme du cacao demeurent adéquates dans des projections climatiques futures, considérant une aptitude seuil de 20% (Schroth *et al.*, 2016). Les cellules de la classe plein soleil sont les plus affectées, avec une diminution de 10 885 hectares (0,6 %), tandis que les changements dans les zones identifiées comme sous ombrage partiel et fort sont négligeables.

Tableau 5. Cacao classé en systèmes plein soleil, sous ombrage partiel et fort dans le domaine rural. Aires protégées désignées et forêts classées exclues (UNEP-WCMC et IUCN, 2021).

Classe	Aptitude climatique actuelle (ha)	Aptitude climatique en 2050 (ha)
Plein soleil	1,808,860	1,797,975
Agroforesterie sous ombrage partiel	191,498	190,434
Agroforesterie sous fort ombrage	41,764	41,673
Total	2,042,122	2,030,082

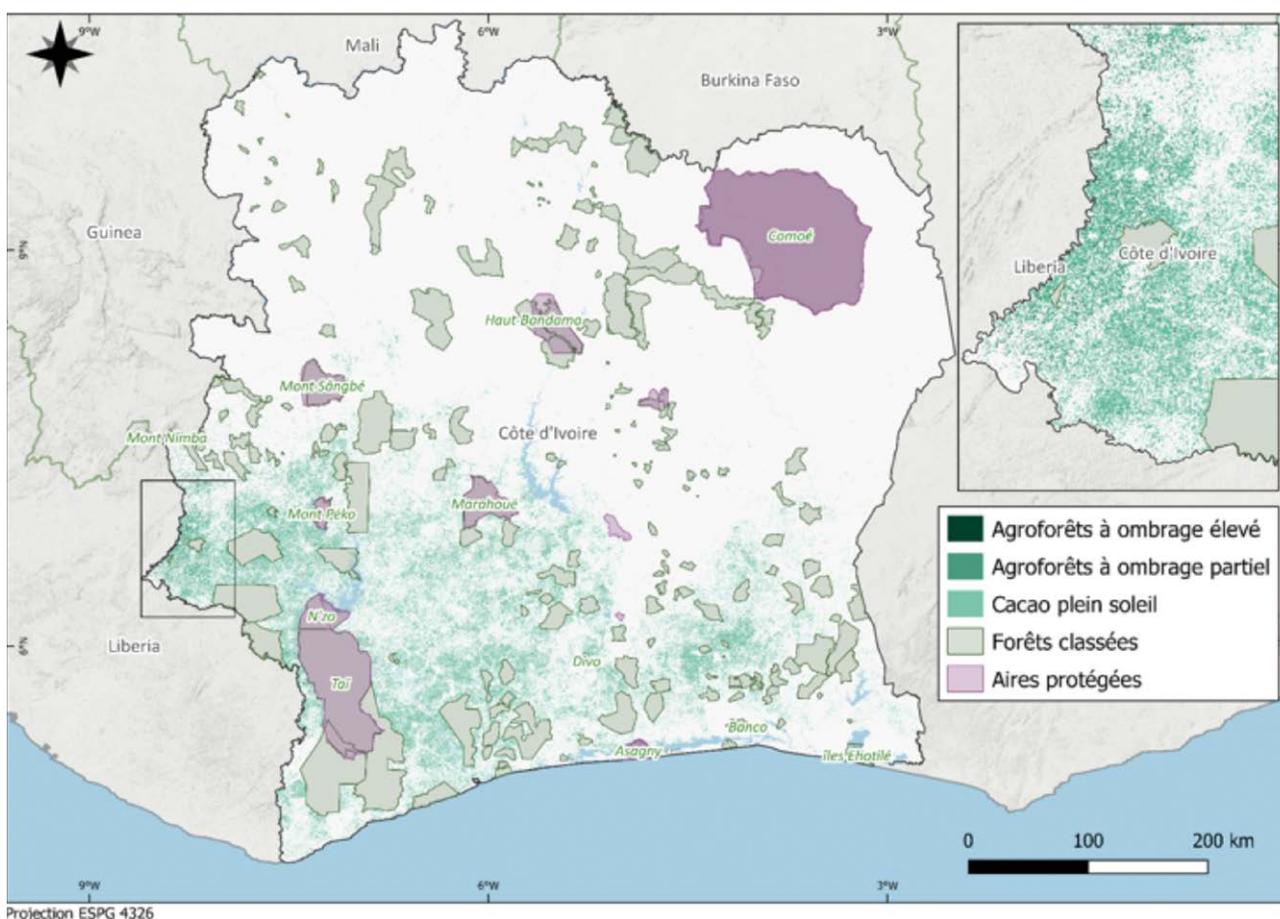
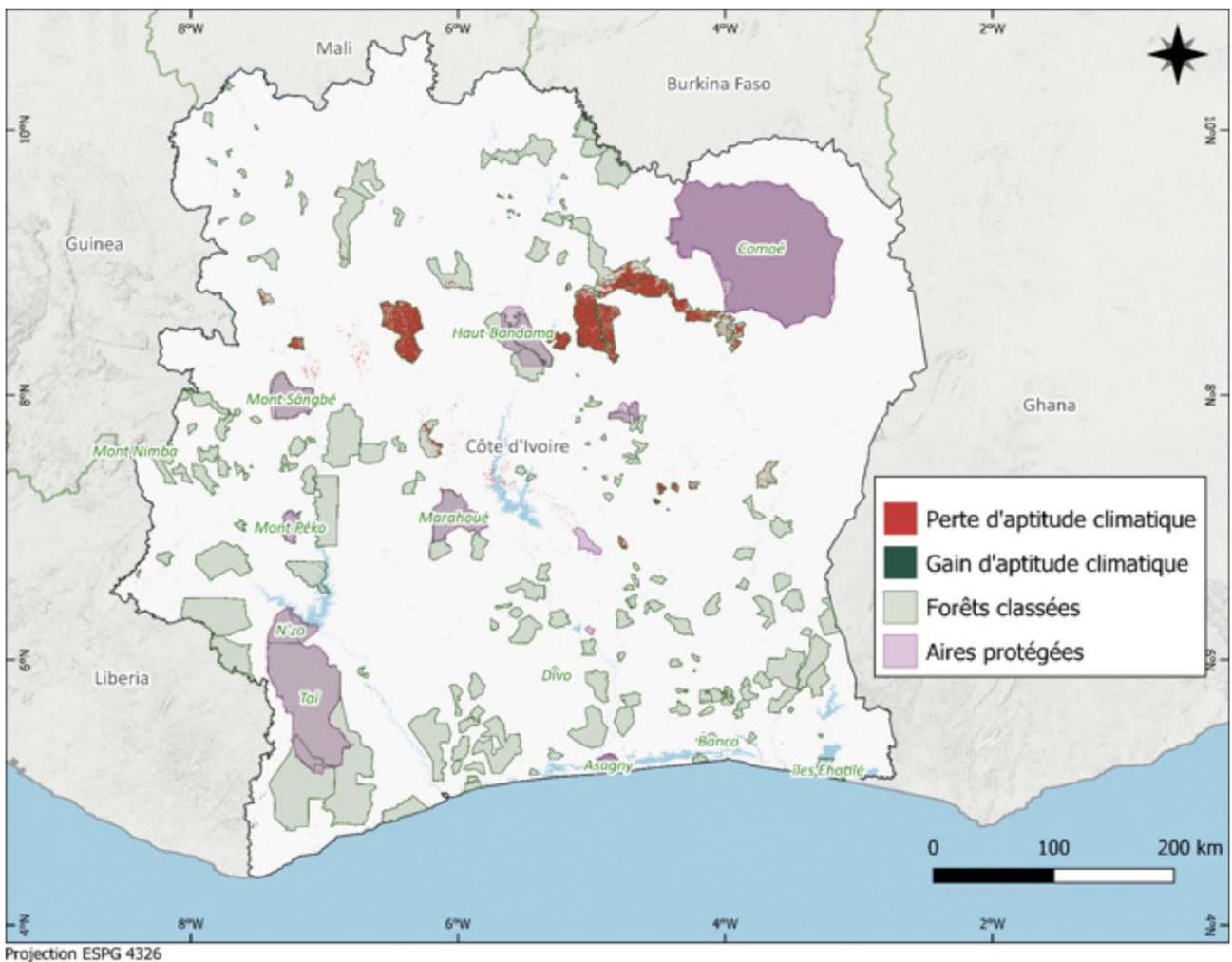


Figure 10. Classification des niveaux d'ombrage estimés dans les zones de culture de cacao aptes sous climat actuel dans le domaine rural, à l'exclusion des aires protégées désignées et forêts classées (BNEDT, 2016 ; UNEP-WCMC et IUCN, 2021). Les frontières et noms indiqués et les désignations utilisées dans cette carte ne sous-entendent aucune approbation ou acceptation officielle de la part des Nations Unies.



Projection ESPG 4326

Figure 11. Zones potentielles de culture du cacao dans les forêts classées et le domaine rural qui deviennent inadéquates (<20 % d'aptitude) et adéquates (>=20 % d'aptitude) sur le plan climatique dans une projection à l'horizon 2050. Elles incluent des terres qui sont présentement des zones de cacao ou de non-cacao dégradées dans les forêts classées qui pourraient être ciblées pour la restauration par l'agroforesterie cacaoyère. Les forêts classées qui sont aussi des zones protégées ne sont pas prises en compte (BNEDT, 2016 ; UNEP-WCMC et IUCN, 2021). Les frontières et noms indiqués et les désignations utilisées dans cette carte ne sous-entendent aucune approbation ou acceptation officielle de la part des Nations Unies.

Co-bénéfices

Co-bénéfices carbone

Plus de 2,6 millions d'hectares de zones de culture du cacao adéquates dans le climat actuel ont été identifiés dans les forêts classées et dans le domaine rural. Sous les pratiques de gestion (niveau d'ombrage plausible) actuelles, il est estimé qu'elles stockent 173 millions de tonnes de carbone. Si l'agroforesterie sous fort ombrage était mise en œuvre dans toutes les zones plein soleil et sous ombrage partiel, le stock total de carbone emmagasiné dans les paysages de cacao atteindrait plus de 533 millions de tonnes de carbone (Tableau 6) (Figure 12).

Cependant, dans le domaine rural, nous avons présumé improbable la mise en œuvre à grande échelle de l'agroforesterie sous fort ombrage (d'ici 2030), pour des raisons pratiques et de compromis potentiels avec la production du cacao. Nous envisageons par conséquent un scénario différencié : **transformation en ombrage partiel du cacao plein soleil dans le domaine rural et transformation en ombrage fort dans les forêts classées**, appuyées par des programmes de restauration dans l'ICF. Les gains potentiels en stocks de carbone d'une transition du plein soleil vers un ombrage partiel dans le domaine rural (1,8 million d'hectares) représenteraient une augmentation du stock de carbone de près de 38 millions de tonnes dans les zones à aptitude climatique actuelle (Tableau 6). Dans les forêts classées (environ 595,000 d'hectares), la transformation en cacao sous fort ombrage produirait une augmentation de 82 millions de tonnes de carbone (Tableau 6), pour un total de **293 millions de tonnes** (forêts classées et domaine rural).

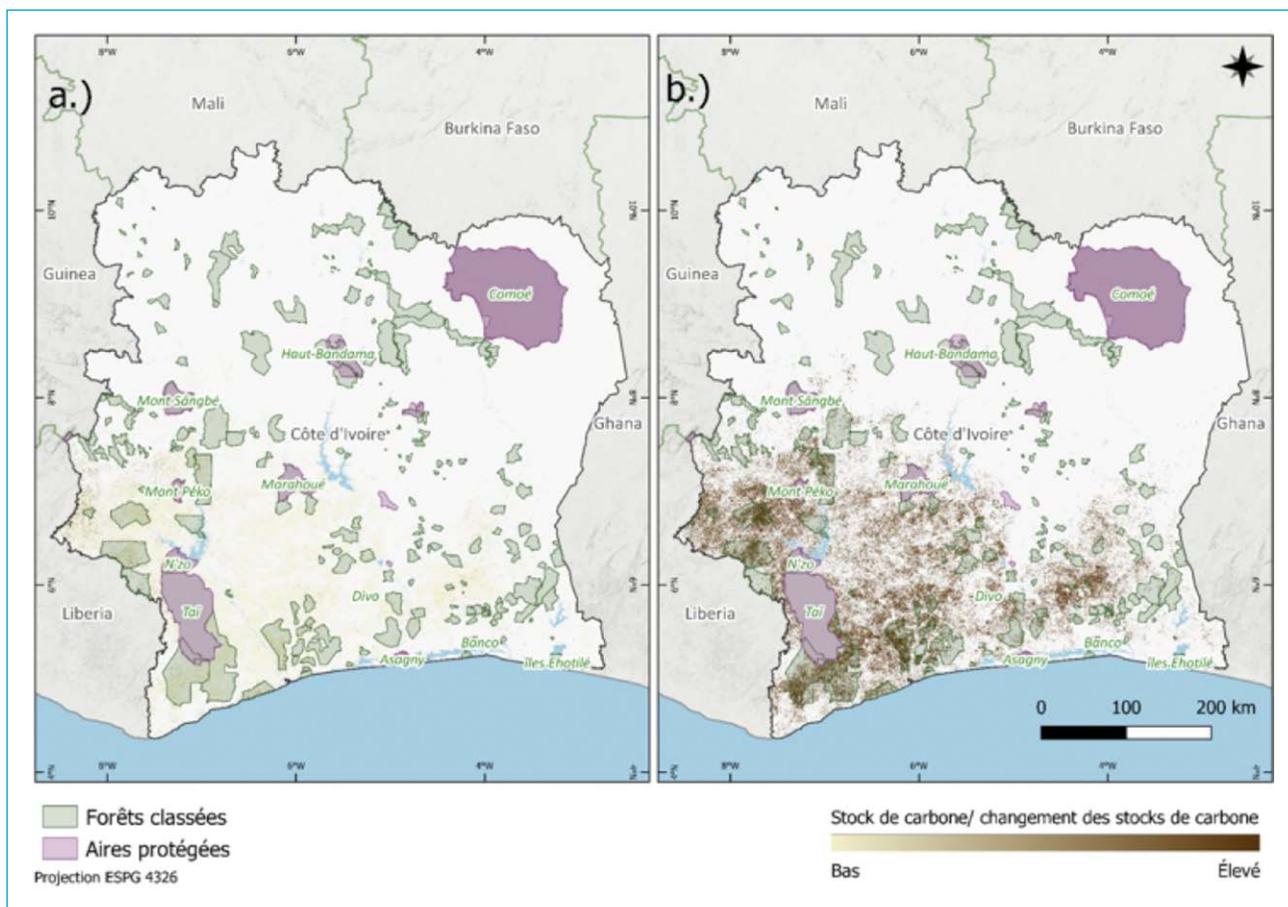


Tableau 6. Stocks de carbone du cacao (AGB, BGB, détritiques et sol) dans les forêts classées et le domaine rural dans le scénario actuel et celui d'une mise en œuvre de l'agroforesterie avec prise en compte de l'aptitude climatique dans le climat actuel. Les terres non-cacao sont exclues. Les scénarios les plus plausibles sont ombragés dans le tableau.

Zone	Classe	Aptitude climatique actuelle (ha)	Stocks actuels de carbone (tC)	Stocks de carbone dans le scénario d'agroforesterie sous ombrage partiel (tC)	Stocks de carbone dans le scénario d'agroforesterie sous fort ombrage (tC)
Forêts classées	Plein soleil	508,342	30,499,193		102,172,299
	Agroforesterie à ombrage partiel	86,807	7,047,046		17,487,114
	Agroforesterie à fort ombrage	15,718	3,110,133		3,110,133
	Sous-total	601,867	40,656,372		122,769,546
Domaine rural	Plein soleil	1,808,860	108,510,587	146,489,293	363,510,468
	Agroforesterie à ombrage partiel	191,498	15,572,344	15,572,344	38,642,483
	Agroforesterie à fort ombrage	41,764	8,264,168	8,264,168	8,264,168
	Sous-total	2,042,122	132,347,099	170,325,805	410,417,119
Surface totale	Plein soleil	2,317,202	139,009,780		465,682,767
	Agroforesterie à ombrage partiel	278,305	22,619,390		56,129,597
	Agroforesterie à fort ombrage	57,482	11,374,301		11,374,301
	Total	2,643,989	173,003,471		533,186,665

Dans un climat de 2050, environ 3 000 d'hectares de terres actuellement utilisées pour le cacao auront une aptitude climatique en dessous de 20 %. Dans le cadre des pratiques de gestion actuelles, environ 172 millions de tonnes de carbone sont stockés dans les zones restantes. Dans le scénario de mise

en œuvre d'une agroforesterie sous fort ombrage, cette quantité augmente à plus de 530 millions de tonnes (Tableau 7). En 2050, le scénario différencié 'domaine rural sous ombrage partiel - forêts classées sous ombrage fort' permettrait d'obtenir un stock de carbone total estimé à **292 millions de tonnes**.

Tableau 7. Stocks de carbone du cacao (AGB, BGB, détritux et sol) dans des forêts classées et le domaine rural dans le scénario actuel et de mise en œuvre de l'agroforesterie avec prise en compte de l'aptitude climatique dans le climat futur. Les terres non-cacao sont exclues. Scénarios d'ombrage les plus plausibles.

Zone	Classe	Aptitude climatique future (ha)	Stocks actuels de carbone (tC)	Stocks de carbone dans le scénario d'agroforesterie sous ombrage partiel (tC)	Stocks de carbone dans le scénario d'agroforesterie sous fort ombrage (tC)
Forêts classées	Plein soleil	507,847	30,469,482		102,072,766
	Agroforesterie à ombrage partiel	86,800	7,046,473		17,485,692
	Agroforesterie à fort ombrage	15,716	3,109,900		3,109,900
	Sous-total	610,363	40,625,855		122,668,358
Domaine rural	Plein soleil	1,797,975	107,856,124	145,605,768	361,318,017
	Agroforesterie à ombrage partiel	190,434	15,485,969	15,485,969	38,428,145
	Agroforesterie à fort ombrage	41,673	8,245,090	8,245,090	8,245,090
	Sous-total	2,030,082	131,587,183	169,336,827	407,991,252
Surface totale	Plein soleil	2,305,822	138,325,606		463,390,783
	Agroforesterie à ombrage partiel	277,234	22,532,442		55,913,837
	Agroforesterie à fort ombrage	57,389	11,354,990		11,354,990
	Total	2,641,185	172,213,038		530,659,610

Il est impossible de calculer à l'heure actuelle l'augmentation potentielle du stock de carbone suite à la mise en œuvre de l'agroforesterie cacaoyère sur des terres qui n'étaient pas des plantations de cacao auparavant. La raison en est le manque de spécificité

de certaines de ces classes d'occupation des sols dans le jeu de données utilisée (p. ex. « autres », groupant des cultures annuelles et des pâturages) et de données sur les stocks de carbone pour chaque classe d'occupation des sols.

Prioriser les zones à restaurer par l'agroforesterie cacaoyère

En combinant le potentiel pour augmenter les stocks de carbone à proximité des zones habitées et de forêts fermées, les zones prioritaires se situent dans l'ouest et le sud-ouest, près de et dans les forêts classées dégradées et autres zones protégées (p. ex. forêt Tai) (Figure 13). Les zones mises en évidence

dans le sud-ouest et l'est du pays sont déjà des régions prioritaires pour la phase de démarrage de l'ICF en Côte d'Ivoire, incluant des activités de protection et de restauration de forêts, ainsi que de promotion de l'agroforesterie. Dans le sud-ouest, cela correspond à des zones de bénéfices potentiels élevés de la mise en œuvre de l'agroforesterie, tels qu'identifiés dans cette étude, tandis qu'à l'est, l'étude attire l'attention sur une zone située un peu plus à l'ouest par rapport à la zone prioritaire de l'ICF (Figure 13).

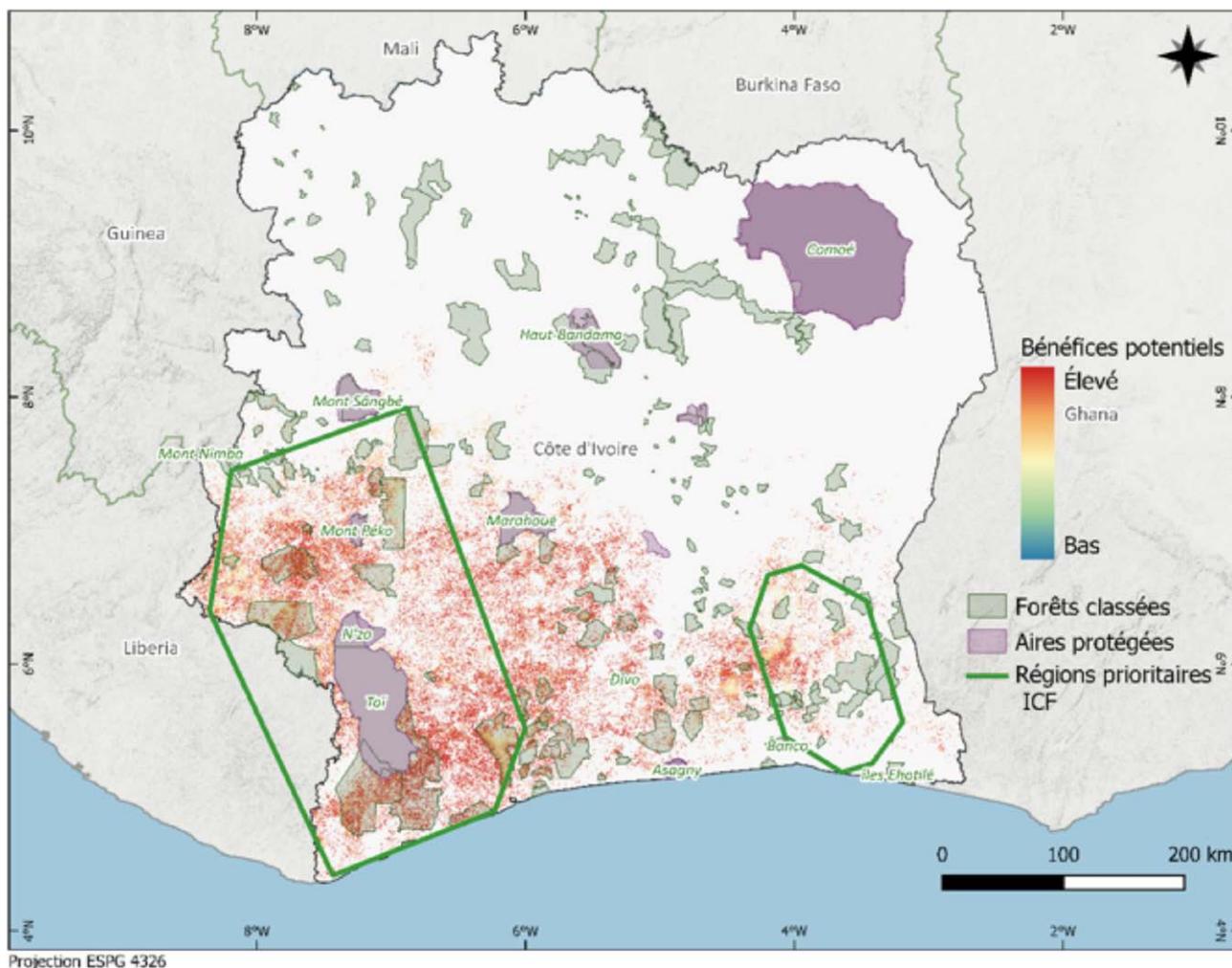


Figure 13. Priorités combinées pour augmenter le stock de carbone, proximité de forêts et de zones habitées dans les zones de culture du cacao identifiées comme plein soleil ou sous ombrage partiel. Les zones actuelles de culture du cacao se limitent à celles qui y sont aptes dans le climat actuel. Les cercles verts indiquent des régions prioritaires pour la phase de lancement de l'Initiative Cacao et Forêts. Les frontières et noms indiqués et les désignations utilisées dans cette carte ne sous-entendent aucune approbation ou acceptation officielle de la part des Nations Unies.



Discussion

Nous discutons d'abord quelques considérations méthodologiques et limitations de l'étude, ainsi que la manière dont celles-ci ont pu affecter les résultats. Nous évaluons ensuite les résultats par rapport aux objectifs politiques primaires et secondaires auquel ce travail cherchait à contribuer, ainsi que des implications plus larges.

Considérations relatives aux données et méthodologiques

La méthodologie se base sur plusieurs jeux de données différents pour identifier les zones de culture du cacao et distinguer plausiblement différentes pratiques de gestion du cacao liées à l'ombrage. Cette approche souffre de quelques limitations générales, comme le manque de cohérence dans les échelles temporelles et la résolution spatiale entre les jeux de données. Dans la mesure du possible, les données sélectionnées correspondaient aux dates des données sur l'occupation des sols et étaient rééchantillonnées à une résolution de 30 m.

Données sur l'occupation des sols

Le jeu de données VividEconomics (2020) permet d'identifier les endroits où le cacao est susceptible de se trouver au niveau national. Le jeu de données demeure toutefois limité, en ce sens qu'il est impossible d'identifier le niveau d'ombrage du cacao. Par rapport à d'autres jeux de données, celui de VividEconomics estime une surface beaucoup plus restreinte du cacao en Côte d'Ivoire : environ 2,8 millions d'hectares en 2019, tandis que l'estimation du Ministère de l'Environnement et du Développement durable (MINEDD) portait sur 3,5 millions d'hectares (MINEDD, citée en 2014 dans la Stratégie Nationale REDD+), FAOSTAT (2018) estime que les plantations de cacao couvrent environ 4 millions d'hectares et Abu *et al.* (2021) estiment la couverture totale à 3,69 millions d'hectares en 2019. Cette étude sous-estime donc peut-être les superficies de cacaoyers disponibles pour la restauration. Il est plausible que la sous-estimation de la superficie de cacao est généralisée en raison des difficultés à détecter le cacao par télédétection, les jeunes plantations de cacao se trouvant souvent sous canopée forestière et difficilement reconnaissables. Ceci limite également la détection de l'empiètement du cacao sur les aires protégées et forêts fermées. Les estimations de MINEDD et FAO se basent très probablement sur des superficies récoltées déclarées et non sur des mesures réelles.

La plupart des cellules de cacao détectées par VividEconomics (2020) ont été classées en tant que plantations plein soleil probables par notre méthode, qui tient compte des perturbations forestières historiques et du couvert arboré. Ce chiffre dépassait largement le pourcentage d'exploitations considérées comme plein soleil : en moyenne 35 % de la superficie du cacao est estimée être en plein soleil et environ 50 % sous ombrage partiel (<30 %) (WWF, 2006). Cette différence peut être due aux plantations agroforestières plus difficiles à distinguer, le cacao se trouvant sous la canopée d'arbres forestiers. Pour

des raisons probablement similaires, nous avons trouvé moins de zones de cacao adéquates pour la transformation en agroforesterie que l'objectif de 1 million d'hectares dans les forêts classées. Des données de vérité-terrain n'étaient pas disponibles pour vérifier nos classifications. Cette étude visait toutefois à identifier les zones de culture du cacao prioritaires pour la mise en œuvre de l'agroforesterie et les zones moins ombragées sont les plus importantes à cet égard.

L'infrastructure n'était pas incluse comme classe dans le jeu de données sur l'occupation des sols. L'infrastructure pourrait limiter la superficie disponible pour l'agroforesterie ou être un facteur de dégradation de zones intactes par une accessibilité améliorée.

Le jeu de données de l'occupation des sols de VividEconomics (2020) était limité quant à l'identification des pâturages et des marécages. Il a donc été impossible, de garantir que des écosystèmes naturels non-forêts, comme les marécages ou les pâturages naturels, soient exclus lors de l'identification de zones non-cacao avec potentiel de restauration par l'agroforesterie cacaoyère dans les forêts classées. Les zones identifiées comme potentiellement adéquates devront donc être affinées par des données vérifiées sur le terrain ou améliorées.

Densité d'arbres par rapport à Couvert arboré

Il est impossible de cartographier la densité d'arbres à grande échelle spatiales à l'aide de produits de la télédétection. C'est la raison pour laquelle nous avons utilisé le couvert arboré pour cette analyse. Cette approche était limitée par le fait que les cacaoyers, dont la hauteur dépasse 5 m, peuvent être détectés comme faisant partie de la canopée forestière par des capteurs d'observation terrestre. Les définitions du couvert arboré dans les agro-forêts se réfèrent toutefois souvent à celui des arbres d'ombrage plutôt qu'au couvert arboré global de l'agroforêt. Le couvert arboré (d'arbres d'ombrage ou global) est aussi une variable importante dans le cadre des bénéfices des systèmes agroforestiers car l'ombrage affecte la production et sa mesure sert souvent à évaluer les compromis avec la production du cacao. L'approche basée sur des données tenant au couvert arboré peut donc ne pas avoir pu distinguer précisément différentes approches de gestion du cacao dans les plantations. Bien que les données spatiales de couvert arboré soient plus nombreuses que celles sur la densité des arbres, les données utilisées étaient incomplètes. D'importantes lacunes étaient évidentes dans les données, y compris dans des zones réputées comme densément boisées (p. ex. Parc National Tai). Cela est probablement dû à des problèmes de lignes de balayage et de couverture nuageuse. Nous y avons remédié dans la mesure du possible avec des données antérieures, mais des lacunes ont subsisté. (voir Figure 5).

Aptitude climatique

Dans cette étude, nous avons considéré l'aptitude climatique comme une variable homogène (c.-à-d. adéquate ou inadéquate). L'aptitude climatique est toutefois évaluée selon un gradient et les impacts de futurs changements climatiques varient géographiquement tout comme les stratégies

d'adaptation potentielle (Bunn *et al.*, 2019). Des analyses ultérieures devraient évaluer de quelle manière ceci influence le potentiel de mise en œuvre de l'agroforesterie dans tout le pays.

Définition des types de gestion du cacao

Les descriptions des types de gestion varient selon les sources d'information : certains utilisent la densité d'arbres d'ombrage, d'autres le couvert arboré ou des descriptions qualitatives ou encore des termes comme gestion 'innovante' du cacao contre 'traditionnelle'. Les études varient aussi dans le nombre de classes utilisées. Par exemple, certaines divisent les plantations de cacao en deux classes, l'agroforesterie plein soleil et traditionnelle, tandis que d'autres peuvent distinguer le cacao dans d'autres classes comme des systèmes 'innovants de cacao' et sous ombrage partiel. Lorsque des études se réfèrent à des types similaires de systèmes de cacao (p. ex. sous fort ombrage/traditionnels), leurs descriptions manquaient de cohérence. Par exemple, Dawoe *et al.* (2016) décrivent des systèmes de cacao 'traditionnels' comme ayant un couvert arboré supérieur à 25 %, tandis que Wade *et al.* (2010) décrivent des systèmes d'agroforesterie 'sous fort ombrage' comme ayant un couvert arboré supérieur à 15 %. Ces différences dans la description et la classification de ces systèmes augmentent la difficulté à appliquer avec précision des valeurs aux services écosystémiques pour comprendre l'impact d'un changement de système de gestion. Il est nécessaire d'améliorer les descriptions de gestion d'ombrage du cacao, ainsi que la collecte de données en Côte d'Ivoire et dans d'autres pays ouest-africains pour mieux comprendre les bénéfices et limitations de l'agroforesterie cacaoyère pour la production du cacao, le stockage de carbone et d'autres services écosystémiques (produits ligneux, protection du sol, cycle des nutriments, climat local, purification de l'eau, biodiversité, etc.).

Estimation des stocks de carbone et variations de ceux-ci

Il y a un manque de données cohérentes dans la documentation sur la densité des stocks de carbone dans les types de gestion du cacao, à l'intérieur et à l'extérieur de la Côte d'Ivoire. Les valeurs des stocks de carbone divergeaient considérablement entre les études, même si cela était dû au manque de définitions cohérentes d'ombrage léger/dense entre les études. Certaines études faisaient état de différentes réserves de carbone, y compris de biomasse au-dessus du sol, en sous-sol, de sol, de bois mort et de détritiques. D'autres signalaient des stocks de carbone en termes d'arbres d'ombrage uniquement ou en ombrage et cacao. Des outils permettant d'évaluer les stocks de carbone à partir d'un couvert arboré relatif comme CoSting Nature ont limité l'analyse à une résolution plus grossière (100 m ou 1 km) et utilisé des appareils de télédétection de couvert arboré qui peuvent fausser l'évaluation du couvert arboré dans des plantations de cacao. Nous avons donc jugé préférable d'identifier des plantations de cacao dans différents systèmes de gestion de l'ombrage en combinant des jeux de données sur

le couvert arboré, les perturbations forestières et l'aptitude climatique.

Autres services écosystémiques et biodiversité

De nombreuses études décrivent les bénéfices en termes de services écosystémiques et de conservation de la biodiversité de manière qualitative, mais les bénéfices et désavantages quantitatifs de l'agroforesterie en comparaison directe avec des systèmes plein soleil font défaut (Niether *et al.*, 2020). De Beenhouwer *et al.* (2013) ont comparé des études sur des systèmes d'agroforesterie cacaoyère et du café avec des forêts naturelles et des plantations de cacao à arbres clairsemés, mais pas avec des monocultures plein soleil, tandis que Niether *et al.* (2020) ont comparé des agro-forêts avec des monocultures plein soleil, mais pas avec des plantations à arbres clairsemés. Ils ont trouvé également peu d'études qui examinaient les impacts sur les services écosystémiques.

Dans cette étude, nous utilisons donc une approche simple pour évaluer un set minimal de co-bénéfices de la mise en œuvre de l'agroforesterie cacaoyère, en fonction des données et temps disponibles. Un plus grand nombre d'études est nécessaire pour comprendre l'ampleur des impacts sur les services écosystémiques et la biodiversité des différents systèmes de gestion du cacao (en Côte d'Ivoire et ailleurs) et quantifier les différences par type de gestion d'ombrage du cacao. Une telle analyse pourrait s'étendre à des services comme les produits forestiers ligneux et non-ligneux, les nutriments, l'humidité et la rétention des sols, ainsi que les effets microclimatiques.

Contribution aux objectifs de restauration

Cette section décrit les résultats par rapport aux objectifs politiques exposés dans l'introduction, à commencer par les objectifs secondaires.

1. Objectifs secondaires (contribuent à l'objectif primaire)

A. Restauration de forêts classées dégradées : Restauration graduelle de forêts classées dégradées à plus de 75 % par la transformation de systèmes agricoles ouverts vers des systèmes agroforestiers, puis vers des plantations forestières (PM 5 sous Option Stratégique 1 dans la Stratégie du Secteur Agricole, Stratégie Nationale REDD+ et la Stratégie nationale de Réhabilitation, Conservation et Extension des Forêts).

B. Lié à A., transformer 1 million d'hectares de plantations de cacao dans les forêts classées en systèmes agroforestiers d'ici 2030 : par l'introduction d'arbres d'ombrage dans les plantations de cacao plein soleil, paiements aux producteurs pour les inciter à adopter ces techniques et l'abandon de la culture à la fin du cycle (PM 3 sous l'Option stratégique 3, Stratégie Nationale REDD+ et

le programme Quantité, Qualité et Croissance (2QC) (Conseil du Café-Cacao, 2014)).

Un total estimé à **1,96 million d'hectares** de forêts classées hautement dégradées répond aux critères de restauration cacao plein soleil ou sous ombrage partiel ou terrain découvert a aptitude climatique actuelle adéquate. Sur ce total, près de 600 000 d'hectares (env. 30 %) sont des plantations de cacao. Les 1,36 million d'hectares restants incluent à l'heure actuelle des zones agricoles dégradées/ en terrain découvert qui se caractérisent par un faible couvert arboré (à l'exclusion des zones habitées et recouvertes d'eau). Selon les données VividEconomics (2020), des plantations de cacao ont été identifiées dans 625 332 d'hectares (Tableau 3) de forêts classées uniquement. Mais en raison de des difficultés à distinguer les plantations sous des couverts arborés, la zone totale disponible pourrait être plus importante.

Sur toutes les zones identifiées comme des cultures de cacao dans les forêts classées, plus de 500 000 d'hectares sont très probablement des plantations plein soleil et près de 87 000 d'hectares de l'agroforesterie sous ombrage partiel. Leur transformation en systèmes d'agroforesterie a fort ombrage (dans le climat actuel) aiderait à répondre à près de 60 % de l'objectif de 1 million d'hectares de cacao agroforestier (Objectif B). Cela signifie que, dans les forêts classées, moins de 1 million d'hectares de cacao sont disponibles pour la transformation en agroforesterie sous fort ombrage.

L'inclusion de zones de cultures ouvertes non-cacao dans les forêts classées contribuerait à réaliser l'objectif de 1 million d'hectares, voire à le dépasser de 964 000 d'hectares dans le climat actuel. La mise en œuvre de l'agroforesterie cacaoyère dans ces zones nécessiterait une évaluation des bénéfices relatifs de la transformation de systèmes non-cacao ouverts vers l'agroforesterie cacaoyère dans des forêts classées par rapport à d'autres options et dépendrait du contexte biophysique et socioéconomique local. La superficie finale de terres non-cacao disponibles pour la restauration par l'agroforesterie cacaoyère devrait également être limitée pour éviter des habitats naturels, tels que des pâturages et marécages, susceptibles d'avoir des stocks de carbone plus faibles, mais qui revêtent une importance nationale et internationale.

Lorsqu'on tient compte de l'aptitude climatique au cacao dans des projections climatiques futures, la zone totale potentiellement disponible dans les forêts classées diminue à 1,56 million d'hectares. Dans certaines zones identifiées comme systèmes ouverts non-cacao actuellement dégradés dans des forêts classées, il faut s'attendre à ce que le climat devienne inadéquat pour la culture du cacao en 2050 (Tableau 4, Figure 11). Ces zones ont aussi tendance à se situer à l'extrémité inférieure de la plage d'aptitude actuelle et ne sont pas pris en compte dans les domaines de recommandation spatialement explicites existants pour l'adaptation à travers des systèmes de culture du cacao intelligents face au climat (Schroth *et al.*, 2016 ; Bunn *et al.*, 2019). Les forêts classées dans le nord du pays en sont une illustration. Ces zones

ne devraient pas être ciblées pour la restauration via l'agroforesterie cacaoyère. Il conviendrait plutôt de les restaurer par une culture plus adaptée à un climat futur potentiel ou par une couverture végétale naturelle.

C. Restaurer 3.2 millions d'hectares de terres dégradées dans le domaine rural : y compris par la promotion de l'agroforesterie dans 1 million d'hectares de cacao, hévéa et huile de palme d'ici 2030. Dans le cas des plantations de cacao, l'objectif consiste à introduire au moins 50 arbres d'ombrage par hectare (PM 3 sous l'Option stratégique 4, Stratégie Nationale REDD+).

Dans le domaine rural, **plus de 1,8 million d'hectares** de cacao ont été estimés comme étant sous une gestion plein soleil et jugés adéquats pour une mise en œuvre potentielle de systèmes d'agroforesterie sous ombrage partiel ou fort, ce qui dépasse l'objectif de 1 million d'hectares (incluant l'huile de palme et hévéa). Ces zones représenteraient les plus importants gains potentiels de services écosystémiques provenant du cacao, comme la séquestration et le stockage du carbone.

2. Objectif primaire

Restauration du couvert forestier à 20 % de la superficie du territoire d'ici 2030 (Vision de la Côte d'Ivoire pour REDD+, Stratégie Nationale REDD+ et Stratégie Nationale de Préservation, de Réhabilitation et d'Extension des Forêts).

Selon le Rapport d'évaluation des ressources forestières (FAO, 2020), les forêts couvraient moins de 9 % du territoire en Côte d'Ivoire (2 836 710 d'hectares) en 2020 (voir aussi VividEconomics, 2020). Les plantations de cacao identifiées comme plein soleil ou sous ombrage partiel dans le domaine rural et des terres potentiellement disponibles des forêts classées (à la fois cacao et autres zones dégradées) totalisent plus de 3,96 millions d'hectares disponibles pour la promotion de l'agroforesterie cacaoyère (dans des zones actuellement adéquates sur le plan climatique). Cela représente 12,5 % du territoire national et il serait possible, en combinaison avec le couvert forestier existant en Côte d'Ivoire, d'obtenir un couvert forestier de 21,4 %. Si l'on considère uniquement les zones qui seront adéquates pour le cacao dans une projection climatique future, cette superficie serait réduite à 3,55 millions d'hectares ou 11,1 % de couverture terrestre, soit un total de 20 % de couvert forestier en Côte d'Ivoire.

Ces estimations ne se basent que sur des superficies disponibles pour l'agroforesterie cacaoyère, à la fois dans les plantations existantes et sur d'autres terres dégradées des forêts classées. Concernant cette dernière catégorie de terres, toute autre stratégie de restauration produisant un couvert arboré équivalent à celui du cacao sous fort ombrage peut contribuer à la réalisation du même objectif de couvert arboré mais avec des co-bénéfices différents. Il serait également possible d'augmenter le couvert forestier par d'autres initiatives de reboisement et de restauration des forêts, ainsi que par la mise en œuvre de pratiques d'agroforesterie dans d'autres cultures, comme l'anacarde, l'hévéa et/ou l'huile de palme.

À noter que le couvert arboré obtenu par la mise en œuvre de l'agroforesterie dans le domaine rural et dans des forêts classées hautement dégradées (à plus de 75 %) ne répond pas strictement à tous les critères de la définition des forêts en Côte d'Ivoire tels qu'ils sont stipulés dans le code forestier (RCI, 2019). Au lieu d'augmenter la superficie en forêts, l'agroforesterie cacaoyère contribue plutôt à une extension du couvert arboré, même si celui-ci est généralement appelé couvert forestier, comme l'indiquent les documents politiques examinés. La contribution des plantations forestières est généralement vu de la même manière.

Les futures conditions climatiques semblent affecter particulièrement les zones de cacao plein soleil dans notre analyse (Tableau 4 et Tableau 5). Une analyse détaillée des raisons de la prévalence de systèmes plein soleil dans des zones plus vulnérables au changement climatique potentiel s'impose donc. Les systèmes plein soleil sont toutefois particulièrement vulnérables aux impacts du changement climatique, par exemple la sécheresse et le stress thermique, et il est important de déterminer s'il s'agit de zones où l'agroforesterie peut soutenir une stratégie d'adaptation ou de zones davantage susceptibles d'évoluer vers des cultures (pérennes) plus tolérantes aux sécheresses (voir aussi Bunn *et al.*, 2019).

La combinaison du potentiel en termes de co-bénéfices montre que certaines zones, en particulier celles proches de forêts denses et de villages existants, devraient être prioritaires pour la mise en œuvre de systèmes agroforestiers, générant des bénéfices pour les habitants et contribuant à la conservation de la biodiversité. Cela montre également que les zones à potentiel élevé qui ne sont pas couvertes dans la phase de démarrage de l'ICF pourraient être ciblées dans la phase suivante (Figure 13).

Autres considérations

Cette étude fournit une évaluation spatialement explicite de zones prioritaires potentielles pour l'augmentation du couvert arboré dans les zones de culture du cacao afin de répondre aux définitions de l'agroforesterie cacaoyère, et compte tenu d'objectifs politiques spécifiques. Elle ne se propose pas d'imposer des contraintes à ces zones, car des facteurs autres que le niveau d'ombrage actuel détermineront également où l'agroforesterie peut ou devrait être mise en œuvre ainsi que les systèmes les plus appropriés. Dans le domaine rural en particulier, il convient de tenir compte de la propriété foncière et du futur aménagement du territoire, comme le développement des zones d'habitation et de l'infrastructure.

La gestion du cacao doit répondre à divers besoins des producteurs, de la population locale et de la faune. Il convient donc de tenir compte de compromis lors de la mise en place du système de gestion le plus approprié pour une zone donnée. Ce niveau de détail n'a pas été possible dans cette analyse et doit être appliqué au cas par cas en tenant compte des avis des diverses parties prenantes.

Les arbres d'ombrage pour l'agroforesterie cacaoyère peuvent être de diverses espèces et avoir différents objectifs. Les producteurs peuvent, par exemple, souhaiter inclure des arbres d'ombrage pour le bois d'œuvre et les fruits. Le choix d'espèces d'arbres d'ombrage (comme le niveau d'ombrage) peut influencer les services écosystémiques fournis (y compris le stockage et la séquestration de carbone, le contrôle des parasites et maladies et l'habitat pour la biodiversité). Les facteurs agroclimatiques doivent aussi entrer en ligne de compte dans la sélection d'arbres d'ombrage : tous les arbres ne peuvent pas pousser partout et certaines espèces peuvent faire concurrence au cacao sur le plan des ressources, comme l'eau, en particulier dans des zones plus arides.

Le succès de la mise en œuvre de l'agroforesterie dans la culture du cacao dépendra du renforcement des capacités, comme la formation aux bonnes pratiques agricoles dans la gestion du sol, des parasites et des maladies afin d'améliorer la productivité du cacao, étendre les connaissances de la gestion de l'ombrage et des espèces d'arbres associés à utiliser. Les espèces et la gestion appropriées sont la clé de la maximisation des synergies entre la productivité et les services écosystémiques. Il convient de consulter les producteurs lors de la sélection d'espèces d'arbres à planter, p. ex. fixateurs d'azote, espèces d'arbres ligneux ou fruitiers ou polyvalentes (Atangana *et al.* 2021). Voir aussi Thomson *et al.* (2019) pour des conseils pratiques sur la mise en œuvre de l'agroforesterie cacaoyère au Ghana et en Côte d'Ivoire.

Enfin, la mise en œuvre de l'agroforesterie doit offrir des bénéfices tangibles aux producteurs de cacao. Dans une méta-analyse, Niether *et al.* (2020) ont trouvé qu'en considérant toutes les cultures récoltées (p. ex. produits ligneux et non-ligneux), la rentabilité d'un système d'agroforesterie (cacao et d'autres produits) était environ 10 fois plus élevée que celle de monocultures plein soleil (cacao uniquement). La rentabilité de l'agroforesterie cacaoyère était toutefois très variable et en moyenne plus faible, du fait que tous les bénéfices économiques de l'agroforesterie ne sont pas faciles à évaluer et faute de marchés pour les produits non-cacao. L'accès à des marchés pour d'autres produits issus des systèmes agroforestiers est crucial pour la réussite de programmes de promotion de l'agroforesterie cacaoyère. De plus, en vue de l'émergence des marchés du carbone, il pourrait y avoir des opportunités pour les agriculteurs de générer des revenus par la vente de crédits carbone lorsqu'ils migrent vers des systèmes agroforestiers et restaurant des forêts. Les gains potentiels totaux en stocks de carbone dans les différents scénarios (transformation du cacao plein soleil vers l'ombrage partiel dans le domaine rural et vers un ombrage fort dans toutes les zones dégradées appropriées dans les forêts classées) étaient estimés à 120 Mt de carbone ou 440 MtCO₂e (Tableau 6). En supposant un paiement de \$10 par tonne de CO₂e (LEAF coalition), cela pourrait générer un total de \$ 4,4 milliards de revenus potentiels par le biais de crédits carbone. Mais les incertitudes et les mesures d'atténuation, ainsi que les coûts de transactions réduiront ce montant. D'autres études sont nécessaires pour comprendre les opportunités pour les producteurs et l'impact que ces marchés peuvent exercer sur la diversification de leurs revenus.

Conclusions

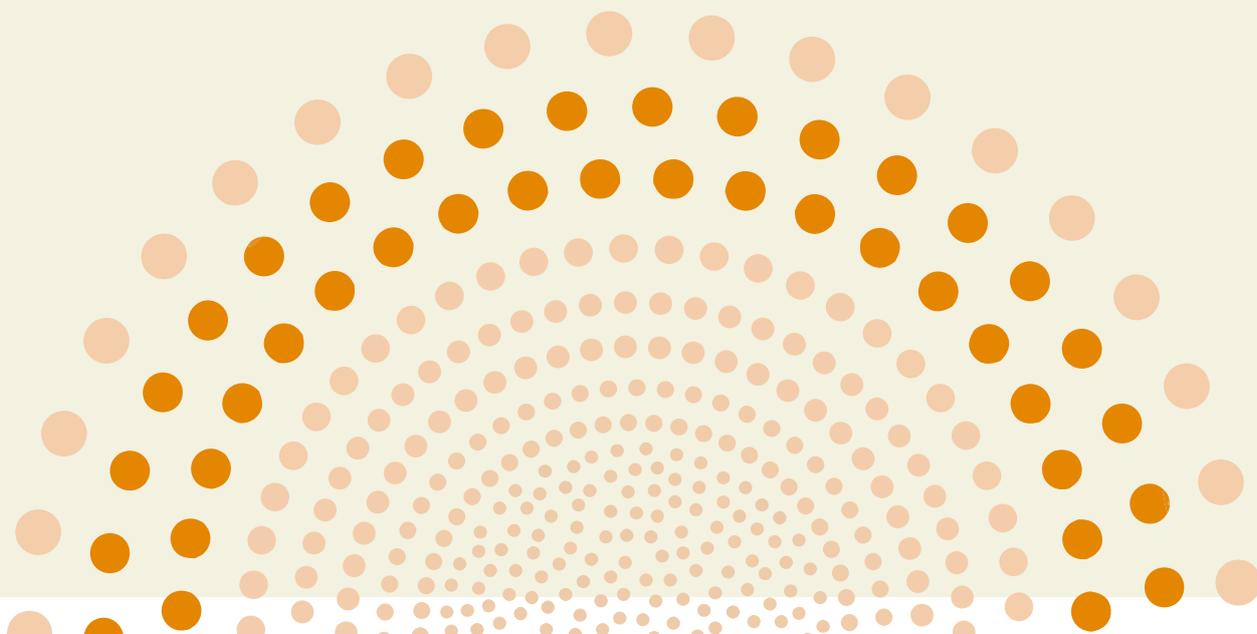
Conclusions

La transformation de paysages cacaoyers existants en agroforêts par l'augmentation du couvert arboré dans et autour des plantations de cacao peut contribuer à la réalisation des objectifs nationaux et infranationaux de restauration du couvert forestier tel qu'ils sont définis dans les politiques nationales, même compte tenu de l'impact du changement climatique sur l'aptitude de la culture du cacao.

De grandes étendues de forêts fortement dégradées parmi les forêts classées seraient restaurées à des utilisations productives (agroforesterie et plantations forestières) qui ont en général une biodiversité et des valeurs de carbone plus faibles que les forêts naturelles. Il est donc important de garantir la restauration ou la régénération des zones moins dégradées en forêts naturelles, au vu de la couverture limitée de forêt naturelle en Côte d'Ivoire.

D'autres études sont nécessaires pour comprendre la façon dont le changement climatique affectera les efforts d'adaptation du cacao par l'agroforesterie et comment ces systèmes devraient être mis en œuvre pour maximiser les bénéfices pour les producteurs, les communautés locales, la séquestration de carbone et la conservation de la biodiversité.

Enfin, il convient d'améliorer les conditions et incitations aux producteurs à adopter des pratiques agroforestières pour garantir la réussite de programmes de mise en œuvre à grande échelle.

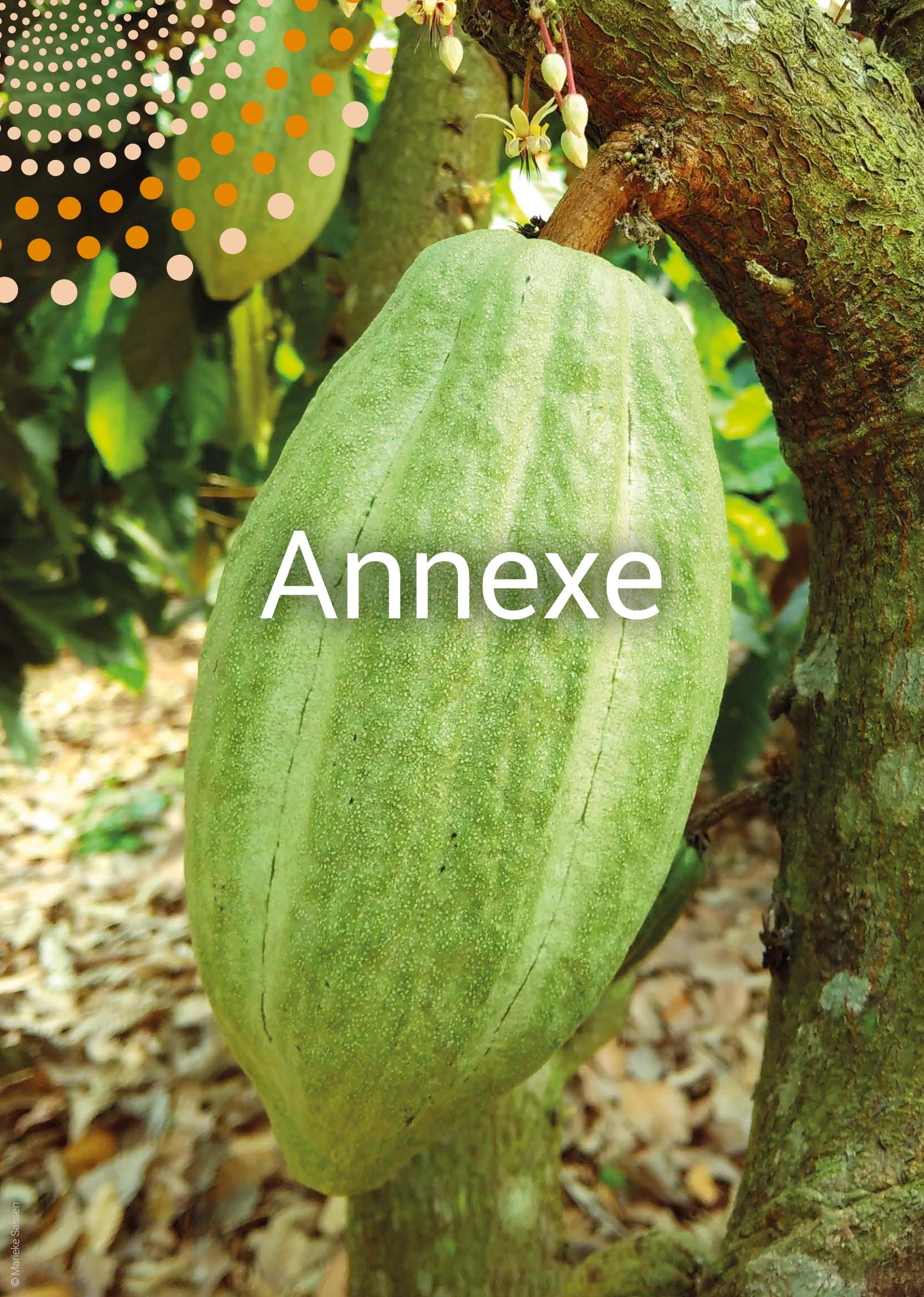




Références

- Abu, I.O., Szantoi, Z., Brink, A., Robuchon, M. and Thiel, M. (2021). Detecting cocoa plantations in Côte d'Ivoire and Ghana and their implications on protected areas. *Ecological Indicators*, 129, pp.107863.
- Asare, R. and Ræbild, A. (2016). Tree diversity and canopy cover in cocoa systems in Ghana, *New Forests*, 47(2), pp.287-302.
- Atangana, A.R., Gngangoh, J.Z., Yao, A.K., Kouakou, T.d., Mian Ndri Nda, A. and Kouamé, C. (2021). Rebuilding Tree Cover in Deforested Cocoa Landscapes in Côte d'Ivoire: Factors Affecting the Choice of Species Planted, *Forests*, 12(2), pp.198. <https://doi.org/10.3390/f12020198>.
- Barima, Y.S.S., Konan, G.D., Kouakou, A.T.M. and Bogaert, J. (2020). Cocoa Production and Forest Dynamics in Ivory Coast from 1985 to 2019, *Land*, 9(12), pp.524.
- Blaser, W.J., Opong, J., Hart, S.P., Landolt, J., Yeboah, E. and Six, J. (2018). Climate-smart sustainable agriculture in low-to-intermediate shade agro-forests. *Nat Sustain*, 1, pp.234–239.
- Bunn, C., Fernandez-Kolb P., Lundy, M. (2019). *Climate Smart Cocoa in Côte d'Ivoire*. CCAFS Info Note. Cali, Colombia: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).
- Conseil du café-Cacao (2014). Programme Quantité-Qualité-Croissance « 2QC » 2014-2023. Ministère de l'agriculture. République de Côte d'Ivoire. http://www.conseilcafecacao.ci/docs/PROGRAMME_2QC_2014-2023.pdf.
- Conseil du Café-Cacao (2019). Orientations pour la mise en œuvre de projets dans le cadre de la promotion de techniques agroforestières en culture du cacao et du café. N. Ref. 019/2019.
- Clough, Y., Faust, H., and Tschardtke, T. (2009). Cacao boom and bust: sustainability of agro-forests and opportunities for biodiversity conservation. *Conserv Lett*, 2(5), pp.197–205.
- De Beenhouwer, M., Aerts, R. and Honnay, O. (2013). A global meta-analysis of the biodiversity and ecosystem service benefits of coffee and cacao agroforestry, *Agric. Ecosyst. Environ*, 175, pp.1–7.
- Dumont, E.S., Gnahoua, G.M., Ohouo, L., Sinclair, F.L. and Vaast, P. (2014). Farmers in Côte d'Ivoire value integrating tree diversity in cocoa for the provision of ecosystem services, *Agro-forest Syst*, 88 pp.1047–1066. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9679-4>.
- FAO. (2018). FAOSTAT Statistics Division. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- FAO. (2020). Global Forest Resources Assessment 2020: Main report, Rome.
- Ingram, V., Van Rijn, F., Waarts, Y. and Gilhuis, H., (2018). The impacts of cocoa sustainability initiatives in West Africa, *Sustainability*, 10(11), pp.4249.
- Isaac, M.E., Timmer, V.R., and Quashie-Sam, S.J. (2007). Shade tree effects in an 8-year-old cocoa agroforestry system: biomass and nutrient diagnosis of *Theobroma cacao* by vector analysis, *Nutr Cycl Agroecosyst*, 78(2), pp.155–165.
- Maukonen, P. Miles L., Koné, I., Ouattara, K., Koffi, A.D., Bakayoko, A., Yao, M., Konan, E.L., Kassi, S.P. et toute l'équipe de la Cellule S& MNV du SEP REDD+ (2017). Cartographie des bénéfices multiples de la REDD+ en Côte d'Ivoire. Rapport d'étude préparé par UNEP-WCMC au nom du Programme ONU REDD, Cambridge, UK.
- Middendorp, R.S., Vanacker, V. and Lambin, E.F. (2018). Impacts of shaded agroforestry management on carbon sequestration, biodiversity and farmers income in cocoa production landscapes, *Landscape Ecol*, 33, pp.1953–1974.
- Namirembe, S., Bernard, F., Duguma, L., McFatridge, S., Minang, P.A., Sassen, M. and van Soesbergen, A. (2015). *Agroforestry: an attractive REDD+ policy Option?* UN Environment Programme report.
- N'gbala, F., Guei, M. and Tondoh, E. (2017). Carbon stocks in selected tree plantations, as compared with semi-deciduous forests in centre-west Côte d'Ivoire, *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 239, pp.30-37. Doi: 10.1016/j.agee.2017.01.015.
- Niether, W., Jacobi, J., Blaser, W., Andres, C. and Armengot, L. (2020). Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis, *Environ. Res. Lett.*, 15, pp.104085
- Potapov, P., Li, X., Hernandez-Serna, A., Tyukavina, A., Hansen, M.C., Kommareddy, A., Pickens, A., Turubanova, S., Tang, H., Silva, C.E. and Armston, J. (2021). Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data, *Remote Sensing of Environment*, 253, pp.112165.
- RCI, (2017). Niveau d'Emissions de Référence pour les Forêts de la Côte d'Ivoire. *Présentation à la Convention Cadre des Nations Unies pour le Changement Climatique*. Version 2 – Mai 2017. République de Côte d'Ivoire. [Online] Available at https://redd.unfccc.int/files/rci_nrf_ccnucc_2017.10.15.pdf (accessed: September 2021).
- RCI, 2018. Implementation Plan for the Joint Framework of Action. *Cocoa and Forests Initiative*. Republic of Côte d'Ivoire. Available at: https://www.idhsustainabletrade.com/uploaded/2018/08/CFI_CDI_EN_130818_printversion_3.pdf (accessed 15 October 2020).

- RCI, (2019). Loi N°2019 - 675 portant Code forestier. République de Côte d'Ivoire. [Online] Available at <http://www.droit-afrique.com/uploads/RCI-Code-2019-forestier.pdf> (accessed: October 2021).
- Ruf F.O. (2011). The Myth of Complex Cocoa Agroforests: The Case of Ghana. *Human ecology: an interdisciplinary journal*, 39(3), pp.373–388. doi: <https://doi.org/10.1007/s10745-011-9392-0>.
- Schroth, G., Läderach, P., Martinez-Valle, A.I., Bunn, C. and Jassogne L. (2016). Vulnerability to climate change of cocoa in West Africa: Patterns, opportunities and limits to adaptation, *Sci Total Environ*. 15(556) pp.231-241. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.024.
- Sexton, J.O., Song, X.P., Feng, M., Noojipady, P., Anand, A., Huang, C., Kim, D.H., Collins, K.M., Channan, S., DiMiceli, C. and Townshend, J.R. (2013). Global, 30-m resolution continuous fields of tree cover: Landsat-based rescaling of MODIS vegetation continuous fields with lidar-based estimates of error. *International Journal of Digital Earth*, 6(5), pp.427-448. doi:10.1080/17538947.2013.786146.
- Somarriba, E., (1992). Revisiting the past: an essay on agroforestry definition, *Agrofor. Syst*, 19, pp.233–240. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00118781>
- Sonwa, D.J., Nkongmeneck, B.A., Weise, S.F., Tchatat, M., Adesina, A.A. and Janssens, M.J., (2007). Diversity of plants in cocoa agro-forests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Biodiversity and Conservation*, 16(8), pp.2385-2400.
- Sonwa, D.J., Weise, S.F., Schroth, G., Janssens, M.J. and Shapiro, H. (2014). Market and Livelihoods demand implications on plant diversity management inside cocoa agro-forest in forest landscape of West and Central Africa. *Agro-forest syst* (special cocoa issue).
- Sonwa, D.J., Weise, S.F., Nkongmeneck, B.A., Tchatat, M. and Janssens, M.J., (2017a). Structure and composition of cocoa agro-forests in the humid forest zone of Southern Cameroon. *Agroforestry systems*, 91(3), pp.451-470.
- Sonwa, D.J., Weise, S.F., Nkongmeneck, B.A., Tchatat, M. and Janssens, M.J., (2017b). Profiling carbon storage/stocks of cocoa agro-forests in the forest landscape of southern Cameroon. *Agroforestry*, pp. 739-752.
- Thomson, A., König, S., Bakhtary, H. and Young, K.J. (2019). Developing Cocoa Agroforestry Systems in Ghana and Côte d'Ivoire. Climate Focus North America, Washington, DC, USA. <https://climatefocus.com/sites/default/files/Developing%20Cocoa%20Agroforestry%20Systems%20in%20Ghana%20and%20Cote%20d%27Ivoire.pdf>.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S.A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., Wanger, T.C. (2011). Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes—a review. *J Appl Ecol*, 48(3), pp.619–629.
- UNEP-WCMC and IUCN (2021). Protected Planet: The World Database on Protected Areas (WDPA), UNEP-WCMC and IUCN, Cambridge, UK: [Online] available at www.protectedplanet.net. (accessed July 2021).
- Vancutsem, C., Achard, F., Pekel, J-F., Vieilledent, G., Carboni, S., Simonetti, D., Gallego, J., Aragao, L., and Nasi, R. (2021). Long-term (1990-2019) monitoring of tropical moist forests dynamics, bioRxiv. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.09.17.295774>.
- VividEconomics, (2020). State and Trends of Deforestation in Côte d'Ivoire (2019-2020), *Report prepared for the UK Space Agency*. <https://www.vivideconomics.com/wp-content/uploads/2020/07/State-and-Trends-of-Deforestation-in-Cdi-1.pdf>.
- Wade, A.S.I., Asase, A., Hadley, P., Mason, J., Ofori-Frimpong, K., Preece, D., Spring, N. and Norris, K. (2010). Management strategies for maximizing carbon storage and tree species diversity in cocoa-growing landscapes, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 138(2010), pp.324-334.
- Wu, Q. (2020). Geemap: A Python package for interactive mapping with Google Earth Engine,. *The Journal of Open Source Software*, 5(51), pp.2305. doi: <https://doi.org/10.21105/joss.02305>.
- WWF (2006). Developing Best Practice Guidelines for Sustainable Models of Cocoa Production to Maximize Their Impacts on Biodiversity Protection, Discussion Paper. WWF-Vietnam. Available at: https://wwf-eu.awsassets.panda.org/downloads/cocoa_report_wwf_12_2006.pdf.



Annexe

Annexe 1 - Stock de carbone dans les systèmes cacaoyers

Exemple de caractéristiques de types de gestion de l'agroforesterie décrits dans la littérature, y compris stocks de carbone, surface terrière et densité d'arbres. Les entrées surlignées ont été utilisées dans cette étude.

Étude	Pays	Type de gestion d'ombrage (description)	Couvert arboré (%)	Stock total C (tC ha ⁻¹)
Namirember <i>et al.</i> (2015)	Ghana	Plein soleil	<=30 %	61 (stocks de carbone biomasse et sol)
Namirembe <i>et al.</i> (2015)	Ghana	Ombrage modéré à fort	>30 %	80 (stocks de carbone biomasse et sol)
N'gbala <i>et al.</i> 2017	Côte d'Ivoire (région centre-ouest)	Sans ombrage	Non mesuré, mais terres décrites comme 'monocultures'	Total biomasse = 45,4 +/- 3,5 et biomasse de détritux = 9,3 +/- 1,1
Nadege <i>et al.</i> 2018	Cameroun	Innovant		46,9
Nadege <i>et al.</i> 2018	Cameroun	Traditionnel		136,1
<u>Sonwa <i>et al.</i> 2018</u>	Cameroun	Agro-forêt de cacao à niveau élevé de Musa spp. et plants de palmier à huile. Densité moyenne d'ombrage (52 % de la réserve de carbone)	Non spécifié	95 (cacao, arbres d'ombrage, détritux, sous-sol, sol)
<u>Sonwa <i>et al.</i> 2018</u>	Cameroun	Agro-forêt de cacao à densité élevée de cacao Densité moyenne d'ombrage (48% de la réserve de carbone)	Non spécifié	81 (cacao, arbres d'ombrage, détritux, sous-sol, sol)
<u>Sonwa <i>et al.</i> 2018</u>	Cameroun	Agro-forêt de cacao à densité élevée d'espèces d'arbres ligneux et non-ligneux Densité élevée d'ombrage (73 % de la réserve de carbone)	Non spécifié	201 (cacao, arbres d'ombrage, détritux, sous-sol, sol)
<u>Sonwa <i>et al.</i> 2018</u>	Cameroun	Cacaoyère sans ombrage	Sans ombrage	60 (cacao, arbres d'ombrage, détritux, sous-sol, sol)
Wade <i>et al.</i> 2010	Ghana	Cacao intensif (< 25 % d'ombrage)	<25 %	39 (AGB, BGB et sol)
Wade <i>et al.</i> 2010	Ghana	Cacao traditionnel (> 25 % d'ombrage)	>25 %	131 (AGB, BGB et sol)
Dawoe <i>et al.</i> 2016	Ghana	Sans ombrage	0	15 (AGB)
Dawoe <i>et al.</i> 2016	Ghana	Ombrage léger	5,8-8	10.9-13.2 (AGB)
Dawoe <i>et al.</i> 2016	Ghana	Ombrage partiel	8,1-14,9	15.4-17.9 (AGB)
Dawoe <i>et al.</i> 2016	Ghana	Ombrage fort	>15	18.5-23.5 (AGB)

Annexe 2 – Classes d'occupation des sols et perturbations forestières

Jeu de données JRC Tropical Moist Forest

Descriptions des classes (original, en anglais)

1 – undisturbed moist forests (class 1) as tropical moist (evergreen or semi-evergreen) forest coverage without any disturbance (degradation or deforestation) observed over the Landsat historical record.

1a – bamboo-dominated forest

1b – undisturbed mangrove

2 – Deforested lands. All disturbance events for which the impacts were observed over more than 2.5 years (900 days) were considered as deforestation processes, with 86% of such deforestation events observed over more than five years. When a deforestation process is not followed by a regrowth period at least over the last 3 years, it is considered as a Deforested land. Deforested land is also characterized by the recurrence of disruptions, i.e. the ratio between the number of years with at least one disruption observed and the total number of years between the first and last disruption observations. This information allowed to discriminate deforestation without prior degradation from deforestation occurring after degradation, the latter also having a lower recurrence due to the period without any disruption between the degradation and deforestation phases.

2a – TMF to tree plantations - mainly oil palm and rubber.

2b – water surface (discriminating permanent and seasonal water)- mainly due to new dams.

2c – other land cover - agriculture, infrastructures, etc.

3 – Degradation

3a – degradation with short-duration impacts (observed within a 1-year maximum duration), which includes the majority of logging activities, natural events and light fires.

3b – degradation with long-duration impacts (between one and 2.5 years) which mainly corresponds to strong fires (burned forests).

4 – recent degradation and deforestation. Initiated in the last three years (after year 2016) and that cannot yet be attributed to a long-term conversion to a non-forest cover, owing to the limited historical period of observation.

4a – duration of minimum 366 days for the years 2017-2018 and a threshold of 10 disruptions for the last year (2019) to consider a deforested land.

4b – The temporal thresholds used to define short-duration degradation, long-duration degradation (at 1 and 2.5 years, respectively).

5 – Forest regrowth. A two-phase transition from moist forest to (i) deforested land and then (ii) vegetative regrowth. A minimum 3-years duration of permanent moist forest cover presence is needed to classify a pixel as forest regrowth (to avoid confusion with agriculture).

6 – Other land cover. Includes savannah, deciduous forest, agriculture, evergreen shrubland and non-vegetated cover.

7 – Vegetation regrowth. Consists of a transition from other land cover to vegetation regrowth and includes two sub-classes of vegetation regrowth according to the age of regrowth (between 3 and 10 years, and between 10 and 20 years) and a transition class from water to vegetation regrowth.

Classes d'occupation des sols VividEconomics

1 = cacao

3 = hévéa

5 = forêts fermées

6 = huile de palme

7 = zone habitée

10 = eau

19 = anacarde

20 = agriculture industrielle

99 = autre

