



THE ECONOMICS OF
LAND DEGRADATION

Évaluation économique de l'agroforesterie et de la restauration des terres dans la forêt du Kelka au Mali

Évaluation des dimensions
socioéconomiques et
environnementales de la
dégradation des terres



Auteurs du rapport:

Yoro Sidibé, Moe Myint et Vanja Westerberg

Contributions complémentaires de:

Jonathan Davies et Masumi Gudka (UICN, Nairobi)

Édité par (anglais):

Naomi Stewart (UNU-INWEH)

Édité par (français):

Barbara AL Johnson

Photographie: Yoro Sidibé (première et quatrième de couverture);
UN Photo/Marco Dormino (pp. 5, 31, 34); UN Photo/John Isaac (pp. 14, 24)

Conception visuelle: MediaCompany, Bonn Office

Mise en page: kipconcept GmbH, Bonn

ISBN: 978-92-808-6076-4

Pour un complément d'informations veuillez contacter:

Manda Sadio Kei (mandasadio.keita@iucn.org) ou
Vanja Westerberg (Vanja.Westerberg@iucn.org) ou
Masumi Gudka (masumi.gudka@iucn.org)

Citation suggérée:

Sidibé, Y., Myint, M., & Westerberg, V. (2014). Évaluation économique de l'agroforesterie et de la restauration des terres dans la forêt du Kelka au Mali. Évaluation des dimensions socio-économiques et environnementales de la dégradation des terres. Rapport pour l'Initiative Economics of Land Degradation, par l'Union internationale pour la conservation de la nature, Nairobi, Kenya. Disponible à l'adresse: www.eld-initiative.org

Initiative

«Economics of Land Degradation»:

**Évaluation économique de
l'agroforesterie et de
la restauration des terres
dans la forêt du Kelka au Mali**

**Évaluation des dimensions
socioéconomiques et
environnementales de la
dégradation des terres**

Juin 2015

www.eld-initiative.org

Remerciements:

Cette étude sur l'évaluation économique a été publiée avec le soutien des organisations partenaires de l'Initiative ELD et la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH pour le Ministère allemand fédéral pour la Coopération Économique et le Développement (BMZ).

Elle a été réalisée par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), la Global Drylands Initiative (GDI) et le Global Economics and Social Science Programme (GESSP), avec le soutien du bureau national de l'UICN au Mali. L'analyse biophysique a été réalisée par **Moe Myint** (expert en biophysique). Par ailleurs, **Cheick Oumar Traoré** (consultant) a également contribué à la réalisation de l'étude et les assistants de terrain ont été très utiles pour l'élaboration et la mise en œuvre de cette étude.

Sommaire

La forêt du Kelka dans la région de Mopti au Mali offre d'importants services écosystémiques tels que la séquestration du carbone et le maintien du cycle hydrologique. La forêt couvre une superficie de plus de 300 000 hectares et 15 villages sont répartis à l'intérieur et autour de ses limites. Ses ressources forestières et la fertilité de son sol diminuent en permanence en raison d'une combinaison de facteurs climatiques et humains. Par exemple, faute d'une gestion appropriée de la forêt et des terres, la disponibilité du bois de feu a diminué de moitié au cours des 15 dernières années.

Des interventions en faveur de la gestion durable des terres susceptibles d'inverser la tendance actuelle sont de plus en plus nécessaires, mais les opérations à grande échelle doivent s'appuyer sur des évaluations fiables de leur efficacité économique et financière pour la société locale et mondiale. Pour répondre à ce besoin, ce document présente une analyse coût-bénéfice ex-ante de l'agroforesterie et de la reforestation à grande échelle dans la forêt du Kelka. Elle vise à informer les déci-

deurs de la valeur et de l'importance du changement des pratiques actuelles de gestion des terres. L'évaluation économique fait appel aux méthodes d'évaluation de « l'évolution de la productivité », des « coûts de protection », des « coûts de remplacement » et « d'évaluation de marché ». Cette analyse s'appuie sur des techniques de télédétection à haute résolution, sur un modèle de distribution spatiale hydrologique, sur un modèle du développement des cultures, pour évaluer l'impact du changement d'utilisation des terres sur la disponibilité du bois de feu, l'humidité du sol, la séquestration du carbone et la fixation de l'azote.

Sur la base de différents taux d'actualisation, les résultats montrent que les bénéfices d'une agroforesterie et/ou d'une reforestation à grande échelle sont considérablement supérieurs aux coûts de mise en œuvre des options de restauration sur une période de 25 ans. Différentes options pour inciter la pratique de l'agroforesterie et à restaurer la forêt du Kelka sont examinées.



Table des matières

	Sommaire	5
	Table des matières.....	6
	L'économie de la dégradation des terres	8
Chapitre 01	Introduction.....	10
Chapitre 02	Zone d'étude et scénarios d'évaluation	12
	Zone d'étude.....	12
	Scénarios d'évaluation	13
	<i>Scénario de référence: schémas actuels d'utilisation des terres et des ressources</i>	13
	<i>Scénario de restauration du paysage forestier</i>	14
Chapitre 03	Méthodologie et contexte	17
	Cadre d'évaluation économique	18
	Biomasse	19
	Bois de feu – agroforesterie et reforestation	20
	Valeur du fourrage tirée de l'agroforesterie de l' <i>acacia albida</i>	21
	Fixation de l'azote	22
	Séquestration et stockage du carbone	23
	Humidité du sol et percolation des eaux souterraines	23
	Coûts de mise en œuvre et de gestion	24
	<i>Coûts de mise en œuvre et de gestion associés à l'agroforesterie d'acacias albida</i>	26
	<i>Coûts de gestion annuels des plantations d'acacias albida associés à la taille des arbres et à la collecte du fourrage</i>	26

Chapitre 04	Résultats et discussion	27
	Résultats	27
	<i>Valeur de la restauration du paysage forestier dans le Kelka</i>	27
	Perceptions et contraintes ayant une influence sur la probabilité que les populations locales adoptent l'agroforesterie et s'engagent dans des initiatives de reforestation	29
	Limites et perspectives	30
Chapitre 05	Conclusion	33
	Références	35
	Annexes	39
	Sigles et acronymes	46
	Liste des figures	47
	Liste des tableaux	47
	Liste des encadrés	47

L'économie de la dégradation des terres

L'utilisation durable des terres est une condition préalable à la sécurité hydrique, alimentaire et énergétique. Compte tenu de la pression croissante exercée sur les terres par l'agriculture, la foresterie, le pâturage, la production énergétique et l'urbanisation, il est urgent de prendre des mesures pour stopper la dégradation des terres et restaurer celles qui sont déjà dégradées. La Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD) a été adoptée en 1994 pour lutter spécifiquement contre la désertification. Elle est née des résultats du Sommet de Rio (1992) qui attiraient l'attention sur le fait que le changement climatique, la perte de biodiversité et la désertification constituaient les problèmes les plus importants auxquels le développement durable était confronté. Ces trois problèmes ont été attribués aux insuffisances des marchés et des politiques. L'UNCCD met tout particulièrement l'accent sur la nécessité d'assurer la productivité et la résilience des terres pour le bien-être des habitants des zones arides, notamment dans les régions exposées aux grandes sécheresses. En 2007, une stratégie décennale a été adoptée avec un objectif plus explicite pour les 195 signataires de la Convention, à savoir «*instaurer un partenariat mondial visant à enrayer et prévenir la désertification / dégradation des terres et à atténuer les effets de la sécheresse dans les zones touchées, de manière à soutenir les efforts de réduction de la pauvreté et de durabilité environnementale*» (UNCCD 2012). Cette stratégie décennale est soutenue et mise en œuvre par le biais de partenariats de parties prenantes clés et elle a pour objectif d'intégrer la gestion durable des terres (GDT) dans les politiques et pratiques décisionnelles.

L'UNCCD définit la désertification comme une dégradation des terres (liée à leur perte de productivité) dans les zones arides, à l'exception des zones hyperarides. Si tous les signataires de la Convention semblent être d'accord sur le fait que les zones arides, notamment en Afrique, sont gravement exposées au risque de désertification, de dégradation des terres et de sécheresse (DDTS), la dégrada-

tion des terres ne se limite pas aux zones arides. La DDTS a une incidence mondiale sur les moyens de subsistance et les écosystèmes et elle entraîne la perte de services écosystémiques cruciaux allant de la réduction de la séquestration du carbone à celles de la fertilité et de la protection du patrimoine naturel. Les impacts de la DDTS sont locaux mais peuvent également se faire ressentir ailleurs, par exemple lorsque la déforestation ou une mauvaise gestion des terres en amont entraînent l'envasement de barrages en aval. Les impacts de la DDTS peuvent être transfrontaliers, voire intercontinentaux, par exemple lorsque de la poussière produite sur un continent et portée par les vents dominants se manifeste sous forme de tempête de poussière sur un autre continent. L'importance d'une convention internationale est particulièrement évidente au vu des impacts à distance/ transfrontaliers de la DDTS.

En 2013, la 2^{ème} Conférence scientifique de l'UNCCD s'est tenue à Bonn, Allemagne, dans le but d'examiner et de mettre en valeur les contributions scientifiques sur le thème «*Évaluation économique de la désertification, de la gestion durable des terres et de la résilience des zones arides, semi-arides et subhumides sèches*». Pendant toute la durée de la conférence, les chercheurs et les praticiens ont présenté des méthodologies fiables et des preuves solides suggérant que la prévention de la DDTS peut être plus rentable que la restauration des terres dégradées. Il existe toutefois des lacunes considérables au niveau des données biophysiques et économiques et les méthodologies doivent faire l'objet de tests intensifs visant à identifier les méthodes les plus efficaces pour collecter et compiler les données nécessaires pour combler ces lacunes. Il est évident que si le domaine de l'évaluation économique de la GDT est encore nouveau, il n'en est pas moins important.

Le concept de neutralité de la dégradation des terres (NDT) est au cœur du débat sur l'économie de la DDTS. La NDT est une idée nouvelle qui a été présentée dans le document de conclusion de

Rio+20 adopté par l'UNCCD (UNCCD 2012). Elle a pour objectif de garantir la productivité des terres et des ressources naturelles (telles que le sol) pour le développement durable, la sécurité alimentaire et l'éradication de la pauvreté. En principe, la NDT consiste à éviter la dégradation des terres productives et à restaurer les terres dégradées pour obtenir un résultat de dégradation neutre. L'analyse coût-bénéfice de la GDT est une approche importante de renforcement de la motivation à investir dans l'amélioration des pratiques de gestion des terres et est une des étapes nécessaires à la réalisation de la neutralité de la dégradation des terres.

La promotion de la GDT et la communication des avantages qu'elle présente ont été au cœur des activités de la Global Drylands Initiative (GDI) de l'UICN. La GDI collabore par ailleurs avec le programme Global Economics and Social Science (GESSP) de l'UICN qui fournit son expertise technique dans le domaine de l'évaluation des services écosystémiques. La GDT met l'accent sur les interrelations entre climat, biodiversité et terres, sur la synergie entre les trois conventions des Nations unies (UNCCD, Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique [UNFCCC], et Convention des Nations unies sur la biodiversité [UNCBD]), et sur les objectifs d'une bonne partie des travaux de l'UICN sur les zones arides. L'UICN réunit des communautés et de multiples secteurs gouvernementaux pour permettre une meilleure cohérence de la planification des ressources au niveau des écosystèmes pour la GDT dans les zones arides.

La GDI de l'UICN et le programme GESSP ont l'habitude d'utiliser les évaluations économiques pour mettre en avant les avantages des écosystèmes et des stratégies GDT spécifiquement applicables aux zones arides. Pour renforcer ces évaluations économiques existantes, l'UICN a établi des liens avec d'autres initiatives poursuivant les mêmes objectifs, par exemple l'Initiative «Economics of Land Degradation» (ELD). Cette dernière met l'accent sur les avantages potentiels de l'adoption de pratiques GDT en utilisant des études d'évaluation quantitative des écosystèmes. Grâce aux fonds fournis par l'Initiative ELD, l'UICN a évalué les coûts et bénéfices économiques de la GDT et de ses interventions de gouvernance des ressources naturelles sur plusieurs années en Jordanie, au Mali et au Soudan. Ces trois études de pays ont fourni une analyse détaillée des coûts et bénéfices

des interventions, des informations sur les valeurs non marchandes des services écosystémiques, une meilleure compréhension de la valeur des services écosystémiques pour les moyens de subsistance locaux, et une amélioration du suivi et de l'estimation de la valeur totale des écosystèmes. Les études ont montré que qu'on pouvait tirer des avantages sociaux, économiques et écologiques à court et long terme de l'application de pratiques GDT à grande échelle. Ces études ont également étayé l'élaboration de recommandations politiques qui alimenteront le dialogue permanent avec les responsables des orientations politiques / décideurs de ces régions. En conséquence, l'UICN espère que ces études ont ouvert des perspectives nouvelles avec des méthodologies innovantes et des données inédites, et qu'elles ont permis un examen plus complet de la diversité des services écosystémiques qui sont importants dans les zones arides.

Introduction

La réduction de la pauvreté et la sécurité alimentaire sont des préoccupations majeures des pays du Sahel caractérisés par une faible pluviosité et une forte variabilité climatique (Day et al. 1992; OCDE, 2002; Liebenow et al. 2012). Le Mali est situé dans la ceinture sahélienne de l'Afrique occidentale et les deux tiers de sa superficie sont couverts par le désert du Sahara. Les moyens de subsistance de la population dépendent de l'agriculture pluviale, un système agricole très vulnérable à des épisodes météorologiques tels que les sécheresses, les tempêtes et les inondations. La fréquence de ces épisodes devrait augmenter au cours des dix années à venir (GIEC, 2013) et entraîner une grande variabilité des récoltes et une diminution de la productivité.

Pour les ménages du Mali, il est donc particulièrement important de trouver d'autres sources de revenus et moyens de subsistance, y compris dans la forêt du Kelka, dans la région de Mopti. Souvent, les autres sources de revenu proviennent directement de l'exploitation de ressources naturelles telles que le bois de feu et les produits forestiers non ligneux (PFNL) (Liebenow et al. 2012). Malheureusement, ces ressources sont soumises à une pression croissante en raison de la dégradation des terres. Des facteurs naturels, tels que les sécheresses répétées et le changement climatique, ainsi que des facteurs anthropiques, tels que la forte croissance démographique, la concurrence pour les ressources entre différents utilisateurs, et la surexploitation forestière, sont des menaces majeures pour de nombreux écosystèmes importants du Mali (Barrow et al, 2012). Les problèmes et contraintes de la gestion durable des forêts sont liés à l'absence d'évaluation appropriée des ressources naturelles, à l'inadéquation des dispositifs institutionnels et à des pratiques résultant des idées fausses que se fait la population locale de l'impact des pratiques agroforestières sur les cultures.

La forêt du Kelka est un important habitat offrant une grande diversité d'variétés d'acacia (Diallo et

Winter, 1996; Dème, 1998) et constituant un vaste refuge pour la faune. Ainsi, la forêt est la principale source d'énergie utilisée pour la cuisson des aliments par une population d'environ 60 000 personnes réparties dans 15 communautés. On constate toutefois, depuis plusieurs années, un épuisement notable des ressources forestières (Ba et Nimaga 2010); des témoignages anecdotiques des communautés locales font état d'une réduction de moitié de la production sauvage au cours des 15 dernières années. Par ailleurs, la population des 15 villages situés dans ou autour de la forêt du Kelka est particulièrement exposée à l'insécurité alimentaire compte tenu de la fragilité et de l'infertilité des terres et des impacts d'un climat incertain (Barrow et al, 2012). On pense par conséquent que des interventions bien conçues concernant l'utilisation des terres pourraient considérablement améliorer les moyens de subsistance et la stabilité dans cette zone. Dans plusieurs autres zones semi-arides, tels que le Niger et d'autres pays du Sahel, il a été conseillé de pratiquer l'agroforesterie et la reforestation comme stratégies efficaces d'enrayement de la dégradation des terres (Nkonya, 2004; Pender, 2006).

L'UICN soutient depuis plus de dix ans la gestion communautaire de la forêt du Kelka dans la région aride de Mopti. Ses travaux visent essentiellement à permettre aux communautés locales de produire des plans communautaires de gestion environnementale (Community Environmental Management Plans – CEMP) avec pour objectif de définir les priorités et de convenir d'un plan d'action pour la gestion des ressources naturelles du paysage forestier. Le CEMP est un outil utilisé par l'UICN pour renforcer l'appropriation communautaire de la restauration et des initiatives agroforestières considérées comme importantes par les communautés. Les communautés voisines de la forêt du Kelka ont élaboré une «convention locale» de soutien de la gestion durable de la forêt considérée comme une de leurs ressources clés. L'UICN soutient la création et l'adoption de cette «convention locale» en utilisant les CEMP pour renforcer le pro-

cessus grâce à une modification des dispositions de gouvernance et du régime foncier. L'objectif principal est d'amener les communautés locales à adopter des pratiques de GDT grâce à la reforestation et à l'agroforesterie, avec le soutien de diverses structures de politique et de gouvernance.

Pour évaluer de manière rigoureuse la contribution potentielle des initiatives d'agroforesterie et de reforestation au bien-être de la société, les auteurs ont réalisé une évaluation économique ex ante de scénarios d'interventions agroforestières et de reforestation, comparativement à la situation actuelle dans la forêt du Kelka, région de Mopti, Mali. Cette évaluation avait pour objectif de montrer comment des scénarios d'intervention spécifiques pouvaient entraîner une amélioration des services écosystémiques au niveau local (communautaire) et mondial. Ils ont pour cela réalisé une analyse coût-bénéfice de l'expansion de la restauration de parcelles forestières et de l'agroforesterie comme moyen de stopper la dégradation des terres. Cette analyse a nécessité une estimation des bénéfices marchands (bois) et non marchands (régulation des services écosystémiques) associés aux services écosystémiques de la forêt.

Sur la base d'interventions agroforestières dans 57 pays en développement, Pretty et al. (2006) ont montré que les pratiques agroforestières peuvent entraîner un accroissement des rendements et de la préservation des terres à longue échéance. De même, Niles et al. (2002) ont montré que dans les pays en développement, la restauration des terres associée à des pratiques agricoles durables sur les terres existantes peut donner lieu à des recettes supplémentaires en termes de meilleurs rendements et de bois de feu. Ces bénéfices peuvent être obtenus grâce à l'application de méthodes peu coûteuses de régénération naturelle gérée par les agriculteurs (RNGA) (Haglund, 2011).

En matière de régulation du climat, la reforestation¹ est globalement bénéfique dans la mesure où elle atténue considérablement la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère (Lal, 2002; Niles et al. 2002; Ringius, 2002). C'est pour cette raison que l'afforestation et la reforestation ont été reconnues par les Nations unies comme des stratégies d'atténuation du changement climatique (UNFCCC, 2001) et que, par exemple, elles donnent droit à la réalisation de projets de réduction des émissions recevables au titre du mécanisme de

développement propre (Cowie et al., 2011) du Protocole de Kyoto (GIEC, 2007). Cela explique pourquoi les auteurs ont mis l'accent sur l'agroforesterie et la restauration des forêts comme interventions spécifiques de gestion durable des terres dans le paysage forestier du Kelka. Un scénario d'intervention (l'agroforesterie et la reforestation entrant également dans le cadre de la restauration) est envisagé et comparé au scénario de référence qui reflète la situation actuelle de la forêt du Kelka. Le scénario de référence est le scénario de statu quo.

Le reste du document est structuré comme suit : la prochaine section décrit la zone d'étude, le scénario de référence et un autre scénario d'utilisation future des terres visant à inverser l'actuelle tendance à la dégradation des terres. Une fois définis le scénario de référence (aucun changement) et un scénario intégré de « reforestation et d'agroforesterie », les chapitres suivants montrent comment différents modèles biophysiques sont utilisés pour prévoir comment les principaux services écosystémiques seront affectés par les changements d'utilisation des terres. Les changements biophysiques sont ensuite convertis en valeurs économiques en utilisant une combinaison d'approches basées sur les coûts évités, les coûts de remplacement, les prix du marché et l'évaluation du changement de productivité. À l'aide de ces approches, la valeur de la restauration à grande échelle est estimée en termes d'accroissement de la disponibilité du bois de feu, d'accroissement de la séquestration du carbone, de valeur de l'amélioration de l'humidité du sol au niveau de l'exploitation agricole, et de valeur de l'accroissement de la fixation de l'azote sur une période de 25 ans (période standard utilisée dans les analyses coût-bénéfice et facilitant par conséquent la comparabilité des estimations avec d'autres études). Les coûts supportés sur cette même période ont été déduits pour donner une valeur actuelle nette (VAN) de la modification d'utilisation des terres avec différents taux d'actualisation. Enfin, des recommandations facilitent le processus décisionnel de gouvernance des terres et des ressources associées, et permettent de s'attaquer aux problèmes liés à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté dans les zones rurales du Mali.

¹ *Restauration et reforestation sont utilisées de façon interchangeable dans tout le document*

Zone d'étude et scénarios d'évaluation

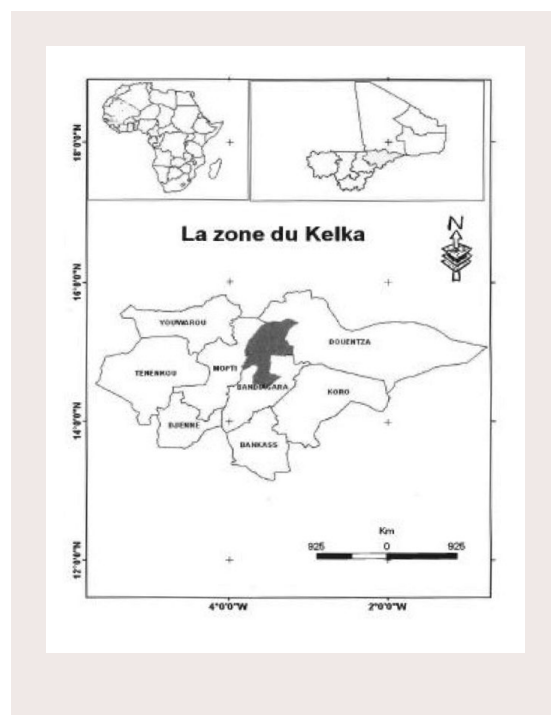
Zone d'étude

La zone d'étude est la forêt du Kelka, située dans la région de Mopti, au Mali. C'est une région semi-aride à aride avec des précipitations annuelles moyennes de 516 mm (Afrique Nature International, 2009). De plus, la saison des pluies ne dure que 4 à 5 mois, avec une forte variabilité saisonnière entraînant des vagues de sécheresse et des périodes d'engorgement du sol. La température annuelle moyenne est de 28 °C et l'évapotranspiration potentielle moyenne se situe aux alentours de 200 mm par mois (ClimWat, 2011). Les sols sont essentiellement des arénosols de type sablo-limoneux uniforme profond (FAO, 1974). Il existe quatre types principaux de végétation, à savoir forêt galerie, savane boisée (prédominante), savane arbustive et steppe arbustive (Barrow et al. 2012). Les essences d'arbres les plus abondantes sont *l'acacia nilotica*, *l'acacia raddiana* et *l'acacia albida*. Quelques baobabs sont éparpillés dans le paysage et on constate également de vastes plaques de sol nu.

La volonté de la population locale de gérer ses ressources et de contrôler les niveaux d'exploitation s'est manifestée par la création d'une institution multi-villages installée à Batouma et chargée de contrôler l'utilisation des ressources naturelles de la forêt. Pour la forêt du Kelka, les principes de gestion de ces ressources sont élaborés selon un processus de dialogue, de participation et de responsabilisation des populations des 15 villages concernés. Toutefois, comme le font valoir Hesse et Trench (2000), les pouvoirs de cette institution sont limités. Si les services gouvernementaux soutiennent les projets de gestion communautaire et de réforme d'une législation désuète, les nouveaux textes législatifs ont tendance à ne pas aller assez loin si bien qu'en fin de compte, le contrôle reste aux mains du gouvernement (point également abordé dans la conclusion). Pour en savoir plus sur les aspects socioéconomiques de la forêt du Kelka, se reporter à Barrow et al., 2012.

FIGURE 1

Carte du bassin hydrographique de la forêt du Kelka, dans la région de Mopti, au Mali



Une enquête socioéconomique de référence sur les ménages a été réalisée à Batouma, communauté située à 87 km de Sévaré, dans la commune de Dangol Boré, collectivité territoriale du Cercle de Douentza, dans la région de Mopti. Ses résultats ont été extrapolés à l'ensemble de la forêt du Kelka. La communauté de Batouma a été choisie en raison de sa position centrale dans la zone du Kelka, d'interventions antérieures de restauration du sol qui y avaient été menées, et de son accessibilité. L'analyse biophysique sous-tendant l'évaluation économique des services hydrologiques a été réalisée dans un bassin hydrographique spécifique (Batouma ko) de la forêt du Kelka couvrant les 15 villages. Les populations locales sont très dépendantes des systèmes agricoles fragiles et de l'exploitation de produits forestiers de moins en moins disponibles (Bocoum et al., 2003). Malheureuse-

ment, les sols se prêtent mal à la production agricole car ils sont très érodés. Les agriculteurs de cette zone ont donc adopté d'autres stratégies agricoles et cultivent des produits différents. On constate progressivement une mutation d'un système de quasi-monoculture du sorgho à une culture mixte de sorgho, de mil et de riz.

Scénarios d'évaluation

Cette section présente un scénario de restauration potentielle de l'utilisation des terres. Ce scénario comporte deux volets: reforestation des terres publiques dégradées et contribution de l'agroforesterie au bien-être de la société. Ces deux interventions sur l'utilisation des terres sont comparées avec l'actuel scénario de référence afin de prévoir comment le paysage et ses services écosystémiques peuvent évoluer au cours des 25 années à venir. Cette section présente également les principales hypothèses sous-tendant les différents scénarios.

Scénario de référence: schémas actuels d'utilisation des terres et des ressources

Pour établir le scénario de référence, les auteurs ont créé une carte d'utilisation des terres et de couverture terrestre (*figure 2*). Le scénario de référence a été établi (autant que possible) sur les schémas observables de la situation actuelle des terres et des ressources. Une classification détaillée d'images numériques de Landsat 8 de décembre 2013, une interprétation tout aussi détaillée d'images (haute résolution) fournies par Google Earth Professional et des références aux cartes d'utilisation des terres de la FAO ont été essentielles à la préparation des données d'utilisation des terres et de couverture terrestre actuelles pour la zone d'étude. Ce travail a été complété par une visite sur le terrain et des discussions avec des membres des communautés locales.

La couverture végétale est assurée par d'importantes essences d'arbres, essentiellement *A. nilotica*, *A. raddiana*, et *A. albida*. On trouve ces dernières dans une mosaïque végétale faite de prai-

T A B L E A U 1

Statistiques d'utilisation des terres et de couverture terrestre dans la zone d'étude du bassin hydrographique du Kelka, région de Mopti, pour les scénarios de référence et de restauration du paysage forestier

Scénarios	Référence	Scénario de restauration du paysage forestier
Utilisation des terres	Superficie (ha)	Superficie (ha)
Agriculture	29 314,9	
Agriculture sur zones potentiellement inondables	18 038,5	Agroforesterie (espacements de 10 x 10 m) 47 353,5
Zone dénudée avec montagnes rocheuses accidentées	31 899,9	31 899,9
Zones dénudées	31 597,1	
Prairies dégradées	75 611,4	Reforestation 125 530,7
Végétation clairsemée	18 322,1	
Communauté villageoise	239,1	239,1
Bosquets d'arbustes dans la montagne rocheuse	15 569,9	15 569,9
Mosaïque végétale de prairies, de terres arbustives et de forêts	89 609,24	89 609,24
Plan d'eau	2 182,5	2 182,5

ries, de terres arbustives et de forêts. La valeur haute de l'indice différentiel de végétation normalisé (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI) a été utilisée pour définir différents types de végétation. Partant de là, différents types de paysages ont été définis en zones agricoles et des mosaïques de zones inondables potentielles ont été observées et validées en utilisant les données de Google Earth.

Les pratiques agroforestières sont peu courantes dans cette zone. Les plantations d'arbres et les champs cultivés sont séparés car on considère que les arbres attirent les oiseaux et que ceux-ci ont un impact négatif sur les zones ensemencées et les récoltes². La densité de plantation est d'environ 10 arbres/ha, ce qui correspond à la densité minimale légale. Au titre du scénario de référence, on part du principe qu'il n'y aura pas d'intensification de l'agroforesterie sur une période de 25 ans en l'absence d'interventions délibérées visant à l'encourager. On part également du principe que la biomasse forestière ligneuse continuera de diminuer de moitié tous les 15 ans (Katile, communication personnelle, 2014).

Scénario de restauration du paysage forestier

Pour l'UICN, la restauration d'un paysage forestier est un processus visant à rétablir l'intégrité écologique et à améliorer le bien-être de l'homme dans un paysage qui est, ou a été, dominé par la forêt ou des zones boisées et qui continue de produire des biens et services liés à la forêt (Reitbergen-McCracken et al., 2007). Dès le début de cette étude et conformément aux aspirations de l'association Walde Kelka qui y participe dans cette zone, il a été stipulé qu'une option viable de restauration des terres pouvait inclure l'introduction d'acacias autochtones dans les plans d'agroforesterie et l'inversion de la dégradation des terres des forêts publiques grâce à la reforestation. Les justifications et des détails supplémentaires sur le scénario proposé de restauration du paysage forestier sont donnés dans ce qui suit.

a. Composante « agroforesterie »

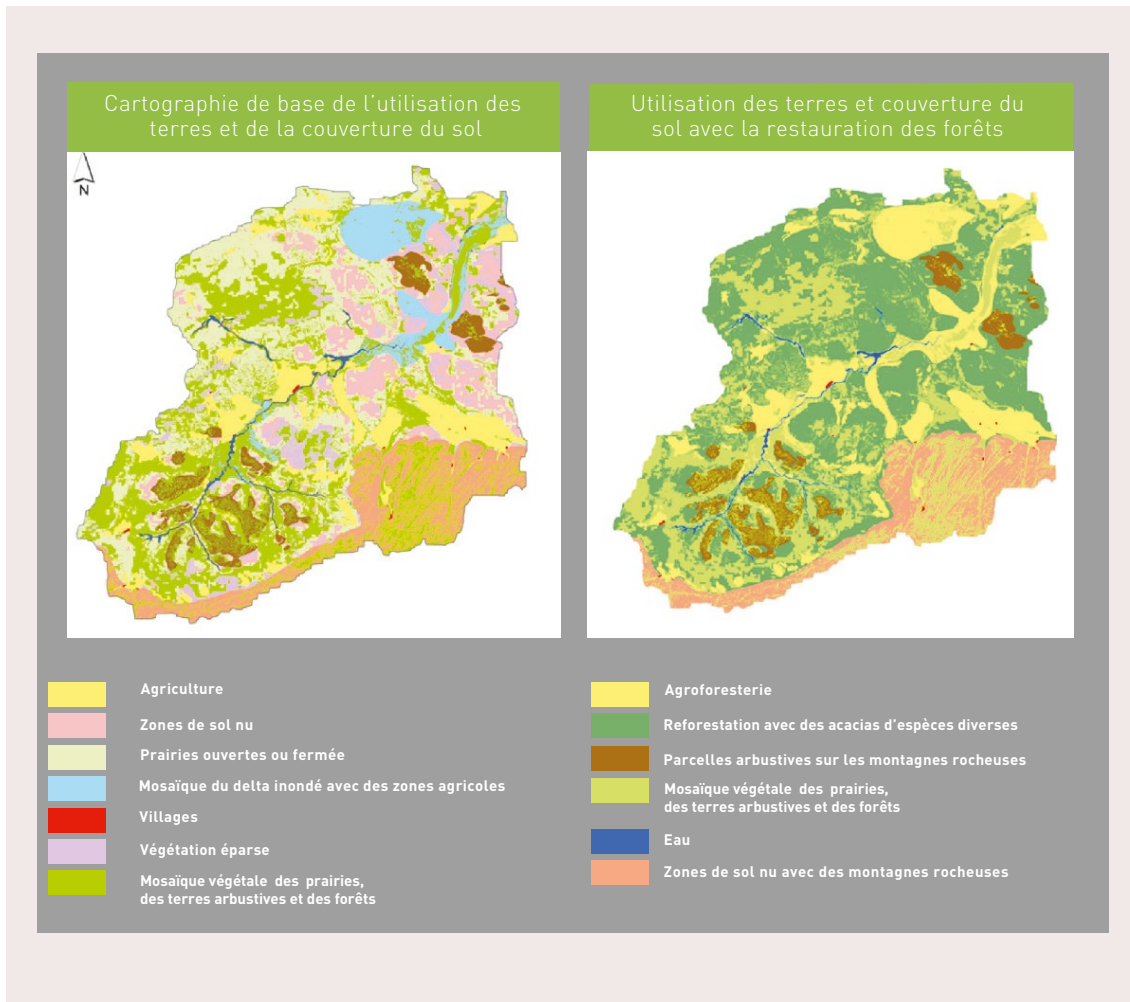
Pour évaluer les bénéfices potentiels nets pour la société de l'adoption de l'agroforesterie, les auteurs



² Ces informations sont ressorties de la discussion de groupe organisée dans le village

FIGURE 2

Scénario de référence d'utilisation des terres et de couverture terrestre et scénario de restauration du paysage forestier dans le bassin hydrographique de la forêt du Kelka, Moptit



ont élaboré un scénario d'utilisation future des terres prenant pour hypothèse que dans la zone d'étude, toutes les superficies consacrées à l'agriculture seraient ouvertes à l'agroforesterie (47353,53 ha). Il est ressorti de la documentation consultée (Poschen, 1986) et des entretiens avec des agriculteurs que *l'acacia albida* est l'arbre polyvalent privilégié pour l'agroforesterie et qu'il est considéré comme très précieux dans les zones semi-arides, pas seulement comme source de bois de feu, mais aussi en raison de sa capacité d'améliorer la fertilité du sol grâce à la fixation de l'azote (Le Houerou, 1985; CTFT, 1986; Poschen, 1986). Par ailleurs, il est très bien accepté en culture intercalaire par les autres cultures majeures (par ex. mil, maïs, sorgho) des systèmes agricoles.

L'intégration de ces essences dans l'utilisation traditionnelle des terres agricoles peut également améliorer l'humidité du sol et l'infiltration de l'eau et, ce faisant, améliorer la régularité des débits des rivières pendant toute l'année, y compris pendant les mois d'été où les rivières sont souvent à sec (Calder et al., 2007). Le scénario d'utilisation future des terres prévoit un espacement de 10 m x 10 m des *acacias albida*, soit l'espacement optimal pour la production de bois de feu (Belachew, 2012), car il est conseillé de laisser suffisamment de place entre les arbres pour assurer l'efficacité de la culture intercalaire (Schroth, 1995).

Avec ce scénario, on a environ 100 arbres/ha alors que le minimum légal de référence est de 10 arbres/ha.

b. Composante «restauration»

La température, la pluviosité et les types de sol de la zone d'étude conviennent tous aux essences *A. nilotica*, *A. raddiana*, et *A. albida*. Au Mali, le concept de forêt a une très large acception qui inclut le concept de «terres forestières», ces dernières incluant également les zones d'herbage. La dégradation des terres forestières est une préoccupation majeure pour les responsables des orientations politiques du pays. De fait, plusieurs types de végétation se sont dégradés en raison d'un usage intensif pendant la saison sèche et d'une utilisation non durable des ressources forestières (Barrow et al., 2012). En particulier, les zones d'herbage du Kelka sont d'anciennes zones forestières qui se sont dégradées ces dernières décennies. Cette situation est conforme à l'argumentation de Trotter et al (2005) selon laquelle la reforestation peut être une solution attrayante d'autre utilisation des terres sur les zones d'herbage marginales.

Par conséquent, les critères suivants sont pris en considération pour la future composante «reforestation» : des zones dénudées, zones d'herbage dégradées et zones de végétation clairsemée seront créées ou restaurées par la plantation de différentes essences d'acacia réparties comme suit : *A. nilotica* (40 pour cent), *A. raddiana* (50 pour cent) et *A. albida* (10 pour cent)³. Ces pourcentages sont basés sur une estimation approximative des membres de la communauté lors de la visite sur le terrain. Il a été pris pour hypothèse que ces pourcentages correspondent à l'équilibre naturel entre les différentes essences d'acacia dans la région. Un espacement de 3 m x 3 m est pris pour principe. Cet espacement est inférieur à celui qui est utilisé sur les terres agroforestières car aucune culture intercalaire n'est prévue sur les terres non agricoles. Par ailleurs, cet espacement semble approprié compte tenu de l'expérience de reforestation menée par la Near East Foundation dans cette région. La *figure 1* représente les cartes d'utilisation des terres.

³ Ces proportions sont basées sur l'évaluation faite par les membres de la communauté du Kelka de la répartition naturelle des essences d'acacia obtenue lors d'une visite sur le terrain dans le village de Batouma en février 2014.

Méthodologie et contexte

Pour l'évaluation économique, une méthodologie éclectique associant différentes méthodes a été utilisée pour tenir compte de divers bénéfices de la restauration forestière. La télédétection à haute résolution a été associée au logiciel ArcSWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) et à un modèle de simulation de croissance des cultures (AquaCrop). AquaCrop intègre une forte composante «eau» dans l'analyse économique des services écosystémiques clés de régulation et d'approvisionnement fournis par la forêt du Kelka. SWAT est un modèle de simulation de bassin versant ou hydrographique élaboré pour prévoir à long terme l'impact des pratiques de gestion des terres sur l'eau, les sédiments et les rendements agricoles dans de vastes et complexes bassins hydrographiques présentant une diversité de sols, d'utilisations des terres et de conditions de gestion.

Le modèle est basé sur des caractéristiques physiques; il est efficace en matière de calculs et il est facile à utiliser. Il permet aux utilisateurs de calculer les impacts à long terme des interventions. ArcSWAT, une extension ArcGIS de SWAT, est une interface utilisateur graphique pour le modèle SWAT (pour des résultats détaillés, voir Myint (2014)). AquaCrop est un modèle de simulation de croissance des cultures élaboré par la FAO pour estimer les rendements agricoles dans différentes conditions agroclimatiques. Le rendement est calculé en multipliant l'indice de récolte par la biomasse totale qui est fonction de l'évapotranspiration pendant la période de croissance (Steduto et al., 2009). Il a été utilisé dans plusieurs études en Afrique (Ardakanian et Walter, 2011; Khoshravesh et al., 2013) et comprend quatre composantes principales:

- **climat:** pluviosité, température, évapotranspiration et concentration de CO₂;
- **composante «sol»:** nombre d'horizons pédologiques, épaisseur, teneur en eau du sol, quantité totale d'eau disponible, niveau de saturation du sol;

- **caractéristiques des cultures:** productivité des ressources en eau pour les cultures, indice de récolte, etc., et

- **composante «gestion des cultures»:** gestion des champs (paillage, liant, etc.) et irrigation.

Pour une description détaillée d'AquaCrop, voir Steduto et al, 2009. Pour en savoir plus, voir également l'annexe B.

T A B L E A U 2

Données socioéconomiques et géographiques (statistiques de base) tirées de l'enquête consacrée aux petits exploitants agricoles à Batouma

Variable	Moyenne (écart type)
Nombre de ménages	85
Âge du chef du ménage	40,5 (14,1)
Nombre de personnes par ménage	7,6 (5,8)
Nombre d'adultes actifs par ménage	3,6 (0,7)
Alphabétisation du chef de ménage	0%
Études après l'école primaire	0%
Chef de ménage né dans le même village	56%
Superficie des terres agricoles possédées (ha)	5,2 (10,6)
% utilisé pour l'agriculture (principalement du mil)	55%
% en jachère	24%
% autres usages (forêt, pâturage, etc.)	21%
Rendement de mil en 2014 (kg/ha)	259 (302)
Nombre d'ovins possédés	1,2 (1,2)
Nombre de caprins possédés	2,1 (2,9)
Nombre de bovins possédés	0,6 (1,1)
Nombre d'ânes possédés	0,8 (0,8)

Il a également été tenu compte des coûts associés (mise en œuvre et surveillance) ainsi que des contraintes et perceptions susceptibles de contrarier les activités axées sur la mise en œuvre de la reforestation ou de l'agroforesterie.

Pour collecter des informations de base pertinentes pour l'étude, les auteurs ont élaboré un plan d'échantillonnage sur le terrain pour estimer la disponibilité des ressources forestières et la dépendance des ménages à leur égard, et ils ont consulté des experts pour estimer les coûts de l'agroforesterie et de la reforestation. Les auteurs ont ensuite fait une visite sur le terrain ; ils ont rencontré les principales parties prenantes, ont mis en œuvre l'enquête de terrain et ont recueilli des données socioéconomiques. La communauté comptait environ 90 ménages et 85 chefs de ménage, dont 10 femmes, ont été interviewés. Sur les 85 questionnaires distribués, 75 ont été remplis et exploités pour cette étude.

Cadre d'évaluation économique

Pour estimer les avantages associés à ces interventions de restauration du paysage forestier, on a déterminé les valeurs d'usage direct et indirect. Ces valeurs sont les suivantes : 1) la valeur d'usage direct associée à une plus grande disponibilité du bois de feu ; 2) la valeur d'usage indirect associée à l'augmentation des rendements agricoles due à la fixation de l'azote et à la présence, sur les terres cultivées, d'acacias qui améliorent l'humidité du sol, et ; 3) la séquestration du carbone, une valeur mondiale d'usage indirect associée à la réduction des dommages dus au réchauffement de la planète. Sur les terres publiques, les bénéfices de la fixation de l'azote et de la rétention de l'humidité du sol tirés des efforts de reforestation sont moins évidents que sur les terres agricoles privées où les agriculteurs peuvent individuellement bénéficier de meilleurs rendements. Par conséquent, les bénéfices de l'agroforesterie ont été évalués en termes de contribution des quatre biens et services écosystémiques à chaque exploitation agricole, alors qu'en ce qui concerne la reforestation, seule l'amélioration de la production de bois de feu et de la séquestration du carbone a été évaluée. Si le carbone est localement séquestré, les bénéfices de cette séquestration se font sentir à l'échelle mondiale dans la mesure où une unité de carbone

séquestré au Mali est soustraite de l'atmosphère mondiale. C'est pourquoi des mécanismes sont mis en œuvre au niveau international pour stimuler la réalisation de projets ayant un important potentiel de séquestration du carbone (CDM, 2013).

Il est à noter que même lorsqu'il est fourni au niveau d'une exploitation agricole individuelle, le bois de feu est une externalité au niveau communautaire, sauf si des institutions novatrices sont mises en place pour en assurer la jouissance privée. À l'heure actuelle, la norme sociale dominante veut que, n'importe où au sein de la communauté, le bois de feu soit un bien commun, même lorsqu'il provient d'une propriété privée. Même si l'agroforesterie et la reforestation produisent d'autres précieux PFNL, l'analyse actuelle met l'accent sur les produits du bois car ce sont les seuls services d'approvisionnement qui peuvent être quantitativement estimés de manière fiable. Par conséquent, par mesure de précaution, la véritable valeur économique serait supérieure à celle qui est suggérée par cette étude (par ex., Arrow et al., 1993). Elle inclurait également des services plus larges de régulation de l'eau, de maîtrise de l'érosion du sol, d'amélioration de l'habitat au profit de la biodiversité, etc. Les bénéfices cumulés des efforts de restauration des écosystèmes constatés ici doivent par conséquent être perçus comme des estimations basses.

Les valeurs du bois de feu et de la fixation de l'azote sont estimées en utilisant la valeur du marché. La valeur de la séquestration du carbone est calculée selon la méthode des coûts évités alors que celle de l'humidité du sol et de l'infiltration de l'eau est estimée sur la base de leur incidence sur les rendements (méthode basée sur le marché). Une analyse ex ante est réalisée sur ces valeurs (pour plus de détails, voir les différentes méthodes dans les sections suivantes).

Enfin, l'application de pratiques d'agroforesterie et de reforestation sur des terres publiques entraîne des coûts, et notamment des **coûts de mise en œuvre** (à combien revient, à l'hectare, la préparation du sol et la plantation des arbres), des **coûts d'opportunité** (l'utilisation des terres entraîne un renoncement à quels bénéfices) et éventuellement des **coûts de gestion** récurrents (par exemple les coûts de surveillance).

Biomasse

La biomasse (associée aux cultures, au bois et au fourrage) est une variable essentielle dont les études sylvicoles doivent tenir compte car elle est directement liée à d'importants paramètres d'évaluation tels que la séquestration du carbone, la fixation de l'azote et la quantité de bois récolté. À partir des analyses de la présente étude, les auteurs ont tenté d'estimer les bénéfices tirés de la biomasse ligneuse, de la biomasse fourragère et de la biomasse des cultures. Des études antérieures donnent à penser qu'il existe une corrélation linéaire positive entre la croissance de la biomasse des acacias et l'âge des arbres (Okello, 2001). Par ailleurs, le Mécanisme de développement propre des Nations unies prône l'utilisation d'une projection de croissance linéaire pour les arbres et les arbustes, afin d'estimer la séquestration et le stockage du carbone des projets de reforestation (CDM, 2013). Une même hypothèse a été retenue par le GIEC (2003) lorsque les arbres ont entre 0 et 20 ans. Les paragraphes suivants présentent brièvement la documentation sur les différentes variétés d'acacias de la zone pour déterminer le taux de croissance de chacune, ce qui est important dans la mesure où c'est la composante centrale de l'approche méthodologique globale présentée dans la *figure 3*.

A. albida est généralement une espèce agroforestière très appréciée car elle convient bien à la culture intercalaire avec des cultures agricoles et elle joue un rôle important dans la fixation de l'azote (Poschen, 1986). C'est un bois moyennement lourd dont la densité varie de 580 à 730 kg/m³ avec un taux d'humidité de 12 pour cent. Le *tableau 3* représente la biomasse de *l'acacia albida* pour différentes densités d'espacement, sur la base de l'étude d'Okorio et Maghembe (1994) dans les zones semi-

arides de Tanzanie et des propres calculs de l'auteur.

Pour différents espacements, la différence de biomasse observable est inférieure à 5 pour cent. Ces résultats semblent clairement indiquer que la biomasse ligneuse est une fonction linéaire du nombre d'arbres et que le taux de croissance est d'environ 7,6 kg/arbre/an.

L'espèce *A. nilotica* se trouve généralement dans les zones riches en eau telles que les berges de rivières et les zones gorgées d'eau (Prota, 2014). *L'acacia nilotica* est important pour la protection des berges et la production de bois de feu. Sa densité est de 700 kg/m³. Les estimations de rendement en biomasse varient considérablement selon l'étude et les conditions du site. Des rendements moyens en biomasse ligneuse de 3 à 6 m³/ha/an sur terrains secs, avec de 700 à 1 000 arbres/ha, ont été déclarés (Prota, 2014). Selon Maguire et al. (1990), les plantations d'acacias peuvent produire jusqu'à 40 tonnes en poids sec de biomasse aérienne totale/ha/an au Pakistan. Par ailleurs, des densités de 650 à 1 170 kg/m³ avec un taux d'humidité de 15 pour cent ont été constatées (Prota, 2014). Compte tenu de l'importance de l'écart, il a été décidé d'utiliser une densité moyenne et un rendement en biomasse d'environ 6 kg/arbre/an.

L'acacia raddiana est une sous-espèce de l'acacia tortilis (Kyalangalilwa et al. 2013). *L'acacia tortilis* est un arbre résistant à la sécheresse et une variété importante pour la production de bois de feu; par contre il convient moins bien pour la culture intercalaire avec des cultures agricoles en raison de l'étendue de son système racinaire. Il préfère les zones alluviales planes et est connu pour sa forte consommation d'eau. D'autre part, *A. raddiana* peut aller chercher l'eau dans des aquifères pro-

T A B L E A U 3

Biomasse de l'acacia *A. albida* pour différents espacements (Okorio and Mahembe, 1994)

Espacement (m x m)	Biomasse ligneuse totale (tonnes)	Nombre d'arbres par ha (arbres/ha)	Biomasse par arbre (kg/arbre)	Biomasse acquise par an (kg/arbre/an)
4 x 4	28,3	625	255 (302)	7,5
5 x 5	18,7	400	1,2 (1,2)	7,8
6 x 6	12,4	278	2,1 (2,9)	7,4

fonds à 40 ou 50 mètres sous la surface du sol. C'est un bois lourd ayant une densité de 580 à 900 kg/m³ (Goudzwaard, 2014). Annuellement, une plantation d'acacias (*A. raddiana*) de 12 ans, espacés de 3 m x 3 m, peut produire 54 tonnes/ha de bois de feu (Hines et Eckman, 1993). Cela équivaut à environ 48,6 kg/arbre de 12 ans et indique une croissance de 4 kg/arbre/an.

Pour les variétés d'acacias utilisées pour la production de bois de feu un éclaircissage naturel est suffisant et rien ne justifie de procéder à un éclaircissage supplémentaire (Prota, 2014), ce qui a été confirmé lors de discussions avec des informateurs clés.

Sur la base des informations mentionnées plus haut, l'équation 1 a été utilisée pour estimer la biomasse à différents stades :

$$\text{Biomasse } T = R \times T \times A / a \tag{Équation 1}$$

dans laquelle R est le taux de croissance des forêts, en termes de croissance de la biomasse souterraine et aérienne par an, T est l'horizon temporel pris en considération pour calculer la biomasse (en années), a est la superficie par arbre, et A est la superficie totale prise en considération.

Pour les forêts subtropicales sèches, le rapport moyen entre biomasse souterraine et biomasse aérienne est de 1,27 (GIEC – 2003). La formule de calcul du taux de croissance des forêts R, devient donc la suivante :

$$R = 1,27 \times \text{croissance de la biomasse aérienne par an} \tag{Équation 3}$$

La figure 3 illustre l'approche méthodologique globale du calcul de la valeur actuelle nette (VAN) ainsi que ses différentes étapes. Connaissant la superficie, l'espacement et le taux de croissance de la biomasse (premier niveau de la figure), on peut calculer la biomasse des arbres année par année (deuxième niveau de la figure). La biomasse est un élément fondamental car elle permet de calculer les autres variables clés.

Les autres éléments pertinents d'évaluation (bois de feu, azote, carbone et humidité du sol) sont calculés sur la base de la biomasse (troisième niveau de la figure). Enfin, l'évaluation du bois de feu, de l'azote, du carbone et de l'humidité du sol, plus les coûts de l'agroforesterie et de la reforestation sont utilisés pour calculer la VAN (quatrième niveau de la figure).

Bois de feu – agroforesterie et reforestation

Les communautés du Kelka sont très dépendantes des produits forestiers. Face à la faible productivité agricole, les produits forestiers – notamment le bois de feu – assurent un revenu complémentaire aux membres des communautés. Le ramassage est limité à celui du bois mort et le bois de feu ramassé dans la forêt est vendu à des négociants qui l'exportent vers les grandes villes telles que Bamako.

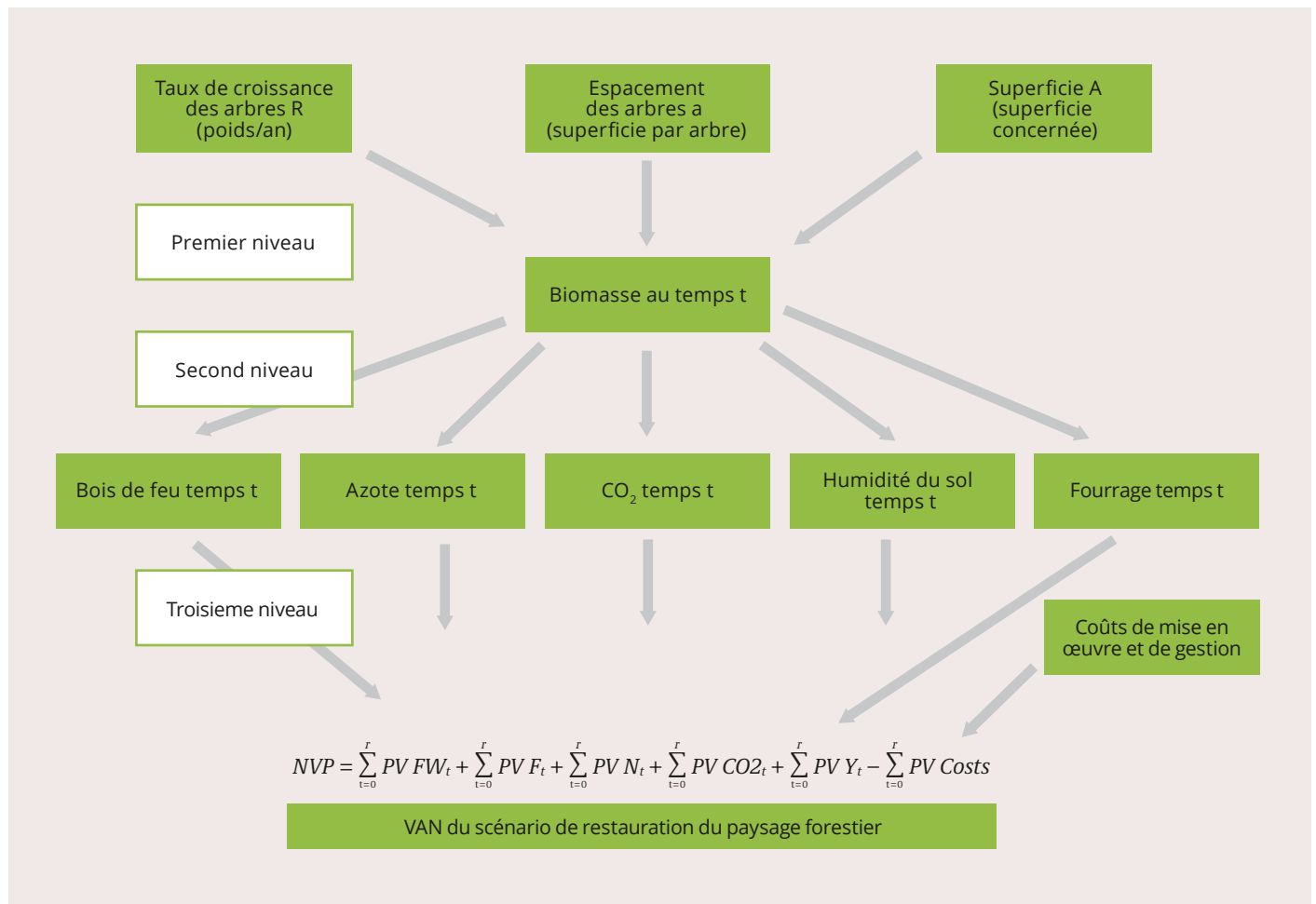
T A B L E A U 4

Synthèse des hypothèses de croissance et de densité des arbres utilisées dans le scénario de reforestation

Agroforesterie			
Type d'arbre	Taux de croissance des arbres (kg/arbre/an)	Proportion (%)	Espacement
Acacia albida	7,6	100	10m x 10m
Reforestation			
Type d'arbre	Taux de croissance des arbres (kg/arbre/an)	Proportion (%)	Espacement
Acacia albida	7,6	10	3m x 3m
Acacia nilotica	6,0	40	3m x 3m
Acacia raddiana	4,0	50	3m x 3m

FIGURE 3

Approche méthodologique globale (les principales variables sont décrites dans le tableau 1 de l'annexe A)



Toutefois, la forêt est menacée par l'insuffisance de pratiques de restauration et de conservation. Lors de la mise en œuvre de l'enquête auprès des petits exploitants agricoles, en février 2014, plusieurs membres des communautés ont indiqué que là où il fallait une heure pour faire sept tas de bois de feu il y a 15 ans, il en faut aujourd'hui deux.

Les interventions en faveur de l'agroforesterie et de la restauration des terres dénudées ou dégradées peuvent améliorer les ressources. La valeur actuelle du scénario de référence est comparée à celle du scénario alternatif en tenant compte de différents taux d'actualisation. Ce faisant, on part du principe que la quantité de bois de feu mort pouvant être ramassée (pour une durée de travail donnée) est proportionnelle à la quantité de biomasse disponible (GIEC, 2003). Pour les raisons expliquées plus bas, seule la contribution de bois

mort à la production de bois de feu des ménages provenant de l'agroforesterie de l'*acacia albida* a été évaluée, même si, en pratique, chaque agriculteur peut tailler les arbres pour obtenir du bois de feu supplémentaire. La formule mathématique utilisée pour estimer la valeur actuelle de l'amélioration de l'approvisionnement en bois de feu est présentée dans l'annexe C. Les résultats sont indiqués dans le tableau 6.

Valeur du fourrage tirée de l'agroforesterie de l'*acacia albida*

L'agroforesterie de l'*acacia albida* peut être une importante source de fourrage pour les animaux. Par exemple, on a constaté qu'une savane boisée dans laquelle *A. albida* est l'essence dominante peut héberger 20 unités animales au km² contre 10

seulement en l'absence de *l'acacia albida* (Giffard, 1964). Selon la FAO (1980), un *acacia albida* adulte peut produire plus de 100 kg de gousses par an. Cissé et Koné (1992) font état d'une production de gousses de 125 à 135 kg/arbre/an au Sénégal et au Soudan, respectivement.

Pour tirer parti de la production de fourrage, la taille des petites branches et brindilles utilisées comme fourrage est couramment pratiquée dans les systèmes d'agroforesterie de *l'acacia albida* (FAO, 1999). Le bois de feu est un autre produit de valeur pouvant être tiré de la taille de *l'acacia albida*, mais comme la taille effectuée pour obtenir du bois de feu compromet la valeur de la production de fourrage (FAO, 1999), il a été pris pour hypothèse que les agriculteurs optimisent la production de fourrage aux dépens de celle du bois de feu.

Lors de l'estimation des bénéfices, les auteurs ont pris pour principe que la production de fourrage augmente linéairement avec l'âge de l'arbre pour atteindre 130 kg/arbre à l'année 25, lorsque l'arbre est devenu adulte (Cissé et Koné 1992). Toutefois, conformément au scénario modélisé dans ce document, la production de bois de feu est optimisée pour 100 arbres plantés à l'hectare (Belachew, 2012). À 100 arbres/ha (avec un espacement de 10 m x 10 m), la production totale de fourrage à l'horizon de 25 ans sur un hectare de sylviculture d'*acacia albida* s'élève à 145 tonnes. Les gousses peuvent être récoltées pendant la saison sèche, lorsque le fourrage se fait rare, et être utilisées pour nourrir les animaux ou être vendues sur les marchés locaux (par ex. dans la ville de Kona). Dans un cas comme dans l'autre, la ressource peut être évaluée de manière appropriée en utilisant le prix au départ des exploitations locales (Vedeld et al., 2004).

La valeur du fourrage fourni par *l'acacia albida* est estimée sur la base de sa valeur marchande. Selon l'enquête réalisée auprès de petits exploitants et un entretien avec M. Amadou Katile, secrétaire général de l'Association Walde Kelka, lors de la visite sur le terrain effectuée en février 2014, un sac de fourrage (pesant environ 15 kg) se vend 35 FCFA (francs FCFA de l'Afrique de l'Ouest) (0,07 USD)⁴ sur le marché local de Kona. La formule de calcul de la valeur actuelle utilisée pour estimer le bénéfice tiré de la production de fourrage supplé-

mentaire (à prix constants) est donnée dans l'*annexe D*.

Fixation de l'azote

Comme évoqué plus haut, les variétés d'acacias sont connues pour leur capacité à fixer l'azote de l'air. Cette propriété peut être efficacement exploitée dans les systèmes d'agroforesterie comme elle l'a été ailleurs dans le monde entier (par ex., Danso et al. (1987)).

Malheureusement, il est pratiquement impossible de mesurer précisément la fixation de l'azote dans les gros arbres de plein champ. C'est pourquoi les tentatives de quantification de la fixation de l'azote dans les écosystèmes naturels et de compréhension du rôle qu'elle y joue n'en sont encore qu'à un stade précoce (Vitousek et al., 2002). La documentation existante n'estime que les quantités applicables aux jeunes plants.

Par exemple, Kiriinya (1988) analyse la concentration d'azote dans les jeunes plants, sans préciser comment les résultats pourraient être appliqués à des arbres adultes. De même, Dommergues (1987) avance le chiffre de 20 kg N₂/ha/an. Dommergues (1987) ne précise pas l'espacement des arbres mais comme une densité de 100 arbres/ha est courante dans les systèmes d'agroforesterie, nous prenons pour hypothèse que 20 kg de N₂ sont fixés pour une telle densité de plantation. Nous partons également du principe que c'est là le taux de fixation d'arbres adultes de 25 ans et que la fixation de l'azote est proportionnelle à la biomasse, comme le suggère Dommergues (1987). On peut en déduire que 1 tonne d'*acacia albida* peut fixer environ 1,32 kg de N₂ par an.

Pour estimer la valeur de l'accroissement de la fixation de l'azote, nous avons utilisé la « méthode du coût de remplacement » – c'est-à-dire que c'est le coût associé au remplacement de l'azote du sol par l'achat d'engrais inorganiques qui a été estimé. Ce calcul s'effectue au moyen de la formule donnée dans l'*annexe E*. Les résultats sont indiqués dans le *tableau 6*.

⁴ Sur la base d'un taux de change 2014 de 500 FCFA pour 1 dollar US. Le même taux de conversion est utilisé dans tout le texte.

Séquestration et stockage du carbone

Pour estimer la valeur que représente pour la société l'accroissement de la séquestration du carbone dans le scénario alternatif de paysage forestier et d'utilisation des terres, les auteurs ont d'abord pris pour hypothèse que la quantité de carbone séquestrée est directement proportionnelle et égale à la moitié de la quantité totale annuelle de biomasse souterraine et aérienne (lignes directrices de niveau 1 du GIEC). Pour chaque essence, l'accroissement annuel de la biomasse est estimé sur la base de la documentation (voir section antérieure consacrée à la biomasse). L'équation de conversion de la biomasse aérienne et souterraine en séquestration du carbone est donnée dans l'annexe F.

Ensuite, les auteurs ont utilisé le coût social du carbone (CSC) (voir IWG 2013) pour estimer la valeur des dommages évités qui auraient été causés par une tonne de dioxyde de carbone. Ces dommages incluent la diminution de la productivité agricole, les dommages dus à la montée du niveau de la mer et les préjudices à la santé liés au changement climatique. Le CSC augmente avec le temps car les futures émissions devraient entraîner des dommages incrémentiels plus importants dans la mesure où les systèmes physiques et économiques sont soumis à des tensions plus grandes en réaction à l'accroissement du changement climatique.

Les chiffres du CSC ont été estimés par le White House Interagency Working Group (IWG 2013) au moyen de modèles d'évaluation intégrée (MEI) associant un modèle climatique simplifié et un modèle économique simplifié en un même modèle numérique cohésif pour tenir compte des effets de rétroaction entre les deux. S'appuyant sur une méthodologie spécifiée dans le document de soutien technique 2010 (IWG, 2010), le White House Interagency Working Group a effectué des simulations du CSC pour 3 MEI: DICE-2010 (Nordhaus 2010); FUND 3.8 (Anthofi et Tol 2012) et PAGE09 (Hope 2011)

Humidité du sol et percolation des eaux souterraines

La valeur de l'humidité du sol est estimée en fonction de la valeur supplémentaire du surplus de rendement agricole qu'elle entraîne. L'humidité

du sol est calculée pour le scénario de référence et le scénario alternatif au moyen du modèle SWAT. Le modèle AquaCrop a ensuite été utilisé pour estimer le rendement agricole pour les deux scénarios. Comme nous l'avons déjà indiqué, AquaCrop est un modèle agronomique élaboré par la FAO, qui intègre une forte composante «eau» conçue pour simuler, au quotidien, la croissance des cultures, du semis à la récolte (Steduto et al., 2009). Il simule le processus de croissance des cultures en fonction du climat et du sol et il a été validé dans diverses situations dans le contexte de l'Afrique sub-saharienne (voir Khoshravesh et al., 2013 par exemple). L'annexe B donne les valeurs paramétrées pour AquaCrop et SWAT.

Le profil sol-eau est supposé atteindre la capacité au champ au début de la saison de culture. Les simulations SWAT (Myint 2014⁵) indiquent qu'il y aura une augmentation de 2,1 mm du niveau d'humidité de l'eau (de 19,7mm dans le scénario de référence à 21,8 mm dans le scénario de restauration) (tableau B1, annexe B). Lors de l'application du modèle, il a été supposé que la principale culture de la zone (mil) utilise efficacement l'eau. Partant de là, les simulations réalisées avec le modèle de croissance des cultures montrent que l'accroissement de l'humidité du sol résultant de l'agroforesterie de l'*acacia albida* peut améliorer les rendements de 24 kg/ha par rapport au scénario de référence (rendement de 259 kg/ha) dans cette zone. Cela représente une augmentation de 9 pour cent des rendements.

La restauration du paysage forestier améliore également la reconstitution des réserves d'eau souterraine peu profondes. Les résultats du modèle SWAT figurant dans le tableau B3 de l'annexe B montrent que la recharge des eaux souterraines augmente en moyenne de 198 m³/ha (soit 19,8 mm) comparativement aux 152 m³/ha du scénario de référence pour atteindre 350 m³/ha dans le scénario de restauration du paysage forestier. Pour attribuer une valeur fictive au supplément d'eau obtenu, les auteurs ont estimé la valeur de son utilisation dans la production de mil dans le cadre d'un programme d'irrigation complémentaire. La méthode utilisée est une variante de la méthode d'évolution du revenu net (Hearne et Easter, 1997; Johansson, 2005). Avec cette approche, le modèle de simulation de croissance des cultures indique qu'en utilisant 198 m³ d'eau supplémentaires par ha il serait possible de doubler les rendements agricoles qui

⁵ Myint 2014. *Analyses biophysiques d'étude des changements des services écosystémiques après la mise en œuvre de pratiques d'utilisation durable des terres au Soudan, au Mali et en Jordanie.* Disponibles à l'adresse: http://cmsdata.iucn.org/downloads/final_report_eld_18july_2_.pdf.

atteindraient alors 463 kg/ha. Dans ce cas, l'estimation implicite de la valeur fictive de l'eau est de 0,31 USD/m³ (155 FCFA/m³) sur la base d'un prix du marché de 0,3 USD/kg pour le mil. Il s'agit-là, en toute vraisemblance, d'une estimation haute dans la mesure où elle ne reflète pas le comportement des agriculteurs de la région (peu d'entre eux pratiquent l'irrigation) et ne tient pas compte des coûts d'approvisionnement en eau.

Si on tient compte de la possibilité d'utiliser la percolation accrue dans les nappes phréatiques peu profondes pour l'irrigation complémentaire des cultures de mil, il est possible de doubler les rendements (463 kg/ha comparativement aux 204 kg/ha du scénario de référence) sans accroissement de l'humidité du sol ou programme d'irrigation complémentaire. De tels résultats ne pourront être obtenus que plusieurs années après avoir planté les arbres. C'est pourquoi on considère qu'ils seront progressivement atteints en 20 ans. Par ailleurs, les arbres utilisés en agroforesterie occupant un espace qui, sinon, serait cultivé, le rendement à

l'hectare s'en trouve diminué. On estime en moyenne qu'autour de chaque arbre 5 m² de terre ne seront pas productifs (en raison de l'ombre et du système racinaire). Il en est tenu compte dans les estimations du rendement total à l'hectare dans le scénario alternatif de restauration de l'utilisation des terres. La formule de calcul de la valeur actuelle utilisée pour estimer la valeur de l'accroissement de l'humidité du sol dans les systèmes de production agroforestière est donnée dans l'annexe G. Compte tenu de la rareté de l'eau pendant la saison sèche, le début de la saison des pluies est la meilleure période pour commencer les activités de restauration ou d'agroforesterie.

Coûts de mise en œuvre et de gestion

L'avantage de la reforestation avec plusieurs variétés d'acacias (*A. nilotica*, *A. raddiana* et *A. albida*) tient à ce que les graines sont facilement accessibles à l'état sauvage et que leur coût est par conséquent négligeable. Par ailleurs, l'acacia ne



T A B L E A U 5 A

Coût de mise en œuvre de la plantation et de l'arrosage jusqu'à la germination

Jusqu'à la germination (plantation et irrigation) 5 ha

Nombre de personnes	Nombre de jours	Nombre d'heures/jour	Nombre d'heures	Coût d'opportunité par heure (FCFA)	Coût total	Coût par Ha (FCFA)	Coût par ha (USD)
62	20	1	1 240	68,9	85 477	17 095	34

T A B L E A U 5 B

Coût de mise en œuvre de la surveillance

Nombre de personnes	Nombre de jours	Nombre d'heures/jour	Nombre d'heures	Coût d'opportunité par heure (FCFA)	Coût total	Coût par Ha (FCFA)	Coût par ha (USD)
12	80	10	9 600	68,9	661 760	13 235	265

nécessite aucune gestion particulière après cinq mois (ou lorsque le tronc a atteint une certaine hauteur) car ils sont originaires de la région. Ainsi, les coûts principaux associés à la reforestation de terres publiques ne concernent que l'investissement initial en temps consacré à la plantation et à l'arrosage des arbres. Les coûts ont été estimés sur la base du témoignage d'un membre de l'Association Walde Kelka (Katile, Amadou, communication personnelle, 2014) et d'une expérience antérieure de cette association à proximité du village de Batouma en 1998.

Plus précisément, un projet a été élaboré sur 5 ha de diverses variétés d'acacias réparties selon un espacement de 3 m x 3 m. Le projet a comporté deux phases différentes de plantation et d'arrosage jusqu'à la germination, suivies d'une période de surveillance pour éviter tout dommage éventuellement causé par du bétail en liberté. Il a fallu 62 enfants (<18 ans) et 31 adultes travaillant chacun environ une heure par jour pendant 20 jours pour scarifier le terrain, planter les graines et les arroser jusqu'à la germination. Les adultes sont censés être deux fois plus productifs que les enfants. La scarification du terrain se fait au moyen de houes dans la zone où les graines d'acacias doivent être plantées. Les cinq premiers mois étant cruciaux pour la survie des acacias, le projet de reforestation a ultérieurement utilisé 12 adultes pour protéger la zone des animaux errants, à raison d'environ 10 heures par jour pendant 4 mois.

Pour déterminer le coût approximatif de la reforestation, les auteurs ont évalué le temps consacré à ces activités par les membres de la communauté, par hectare. La main-d'œuvre ménagère est évaluée en tant que coût d'opportunité calculé en fonction de ce que l'activité rémunératrice (à savoir le ramassage du bois de feu) rapporte. Sur cette base, et selon l'enquête réalisée auprès des petits exploitants agricoles à Batouma, le coût d'opportunité en termes de perte de bois à ramasser varie de 1,1 à 1,7 USD (551 à 827 FCFA) par jour. Une valeur moyenne de 1,4 USD (690 FCFA) a été utilisée dans le présent calcul. Les villageois travaillent environ 10 heures par jour, si bien que pour un adulte, le coût d'opportunité par heure est de 0,14 USD (69 FCFA). Il a été supposé que, pour les enfants, le coût d'opportunité est moitié moindre. Les *tableaux 5a* et *5b* montrent comment les coûts ont été calculés.

Bien que l'expérience de reforestation près de Batouma ne se soit pas appuyée sur les principes de la méthode RNGA, ses coûts associés ont été relativement bas et elle était basée sur des initiatives locales élaborées par l'intermédiaire de CEMP. La méthode RNGA est une approche peu coûteuse qui permet une régénération rapide des forêts et des sites agroforestiers grâce à la protection et la gestion d'espèces indigènes (Haglund, 2011).

Cette méthode a démontré son efficacité à grande échelle dans des zones semi-arides du Niger (Water Vision, 2014).

Coûts de mise en œuvre et de gestion associés à l'agroforesterie d'acacias albida

Pour assurer leur survie et accroître la production d'arbres sur les terres reboisées, les agriculteurs du Sahel arrosent couramment les jeunes plants, les protègent ou les clôturent, et taillent les arbres (FAO 1999). La mise en place d'un système efficace d'agroforesterie d'acacias albida nécessite des investissements en termes de temps et de capitaux pour l'installation de clôtures. Compte tenu des difficultés de trésorerie des agriculteurs de la région de Mopti, l'installation de clôtures est rarement la solution adoptée. Par ailleurs, les agriculteurs étant dans les champs pendant la saison des pluies après que les arbres ont été plantés, ils peuvent veiller à ce que les animaux en liberté n'endommagent pas ces derniers. On peut par conséquent supposer que les coûts de surveillance sont négligeables pour la restauration de l'agroforesterie. Les principaux coûts de mise en œuvre sont par conséquent associés à la plantation et à l'arrosage des graines jusqu'à ce qu'elles germent, la première année, en utilisant les mêmes hypothèses que celles présentées dans le tableau 5a.

Coûts de gestion annuels des plantations d'acacias albida associés à la taille des arbres et à la collecte du fourrage

La taille des acacias albida peut avoir pour objet la production de bois, de fourrage et de paillis, l'amélioration de la production de fruits, la réduction de l'ombre sur les cultures sous couvert arboré, le prolongement de la durée de vie des arbres et la lutte contre les plantes parasites telles que le gui (*Tapinanthus* spp.) sur les variétés touchées (FAO 1999). Comme indiqué dans la section précédente sur la valeur du fourrage tiré de l'agroforesterie de l'*acacia albida*, ce document estime la valeur de la taille en fonction de sa contribution à l'alimentation du bétail (fourrage).

Les agriculteurs taillent les acacias et recueillent les gousses pour alimenter leur bétail au quotidien pendant la saison sèche lorsque la plupart des autres arbres ont perdu leurs feuilles (et lorsque le fourrage est le plus rare). Il faut une heure pour récolter quatre sacs de fourrage (7,5 kg). Selon les hypothèses déjà formulées, on considère que la production de fourrage est directement proportionnelle à l'âge de l'arbre, jusqu'à 25 ans, lorsqu'il

est adulte. Tous les ans, chaque arbre produit par conséquent 5,2 kg de fourrage supplémentaire, soit un maximum de 130 kg par arbre pendant sa durée de vie. À titre illustratif, la 25^{ème} année, 1 733 heures ((100 arbres * 130 kg)/7,5 kg) ont été consacrées à la taille des arbres (pour produire du fourrage) par hectare. Nous partons du principe que les agriculteurs peuvent collecter tout le fourrage fourni par leurs acacias albida pendant la saison sèche. Comme pour l'estimation des coûts de mise en œuvre et de surveillance, plus haut, la main-d'œuvre ménagère est évaluée à son coût d'opportunité, à savoir ce qu'on peut gagner en consacrant autant de temps au ramassage du bois de feu.

Enfin, la présente analyse ne prend en compte aucun coût d'abattage car, à l'exception des très vieux arbres qu'il n'est plus possible d'éêter correctement, on n'abat généralement pas les acacias albida (Laike 1992). L'*annexe H* montre comment la valeur actuelle des coûts de mise en œuvre et de gestion a été calculée.

Résultats et discussion

Résultats

Partant de cette analyse cout-bénéfice, la VAN du Kelka pour les communautés ainsi que pour la société dans son ensemble est égale à la somme totale de la valeur de l'amélioration de la production de bois de feu, de la séquestration du carbone, de la fixation de l'azote, de l'humidité du sol et de l'infiltration de l'eau, moins les coûts de mise en œuvre et de gestion, pour trois différents taux d'actualisation. Les résultats sont présentés dans le *tableau 5* et la formule utilisée pour calculer la VAN est donnée dans l'*annexe 1*.

Le *tableau 7* montre le rapport coût-bénéfice pour un agriculteur qui décide de pratiquer l'agroforesterie de l'*acacia albida*. Seuls les bénéfices et coûts privés sont pris en compte. Les bénéfices privés concernent le fourrage, le bois de feu (biomasse ligneuse morte), l'amélioration des rendements grâce à l'humidité accrue du sol et la valeur de la fixation de l'azote.

Pour atteindre ces plans communautaires et mettre en œuvre la «convention locale», le projet doit d'abord mettre l'accent sur le renforcement des capacités des membres de l'Association Walde Kelka (responsables élus et agents municipaux, y compris des représentants des communautés). L'Association Walde Kelka servira ensuite de plateforme de soutien qui aidera les communautés à élaborer des plans de gestion. Compte tenu de la faiblesse des droits sur les ressources naturelles locales, le renforcement de la gouvernance, par exemple grâce à la consolidation de la mise en œuvre de la convention locale, est prioritaire.

Valeur de la restauration du paysage forestier dans le Kelka

Les résultats présentés dans la section précédente donnent à penser que les bénéfices actuels nets du projet d'agroforesterie et de reforestation dans le Kelka l'emportent sur les coûts actuels nets pour

des taux d'actualisation de 2,5, 5, voire 10 pour cent.

L'agroforesterie offre le meilleur retour sur investissement par hectare. Lorsqu'on tient compte de la contribution du bois de feu, du fourrage, de l'accroissement de l'humidité du sol et de la fixation de l'azote, les résultats donnent à penser que les agriculteurs peuvent compter sur un bénéfice de 5,2 à 6 USD pour chaque dollar investi. Il convient de noter qu'en raison de leurs difficultés financières les agriculteurs ont souvent des taux d'actualisation individuels très élevés – supérieurs à 10 pour cent (Barbier, 2000). Pour certains petits exploitants agricoles, des études (Cuesta et al., 1994; Brent, 1989) font même état de taux d'actualisation personnels réels variant de 15 à 70 pour cent. Si de tels taux devaient s'appliquer aux agriculteurs de cette région, il est peu probable qu'ils passeraient directement à des systèmes d'agroforesterie. Toutefois, une approche progressive de l'agroforesterie, par exemple sous forme de RNGA, peut contribuer à réduire les coûts de mise en œuvre et par conséquent à rendre plus probable son adoption.

Le rapport bénéfice-coût du scénario d'agroforesterie et de reforestation intégrées est de l'ordre de 1,7 à 3 USD. Cela correspond à une valeur actuelle nette de 300 à 1 300 USD/ha (0,015–15,5 millions FCFA/ha) sur une période de 25 ans, soit l'équivalent d'une valeur de rente (compte tenu de la valeur actuelle des futurs bénéfices) se situant entre 18 et 62 USD/ha/an (9 000–31 000 FCFA/ha/an). S'il avait été possible de tenir compte de la valeur de la disponibilité accrue des produits forestiers non ligneux et de la viande de brousse (biodiversité, plus généralement) dans cette étude d'évaluation, la VAN aurait forcément été supérieure.

Enfin, il convient de noter que la valeur du scénario de restauration du paysage forestier pour la société est considérablement supérieure lorsqu'on tient compte des bénéfices mondiaux de l'accrois-

T A B L E A U 6

Calcul de la valeur actuelle nette de l'agroforesterie et de la reforestation (en USD)

	r = 2,5 %			r = 5 %			r = 10 %		
	VA par ha	Val. de rente par ha	VA ensemble bass. hydrogr.	VA par ha	Val. de rente par ha	VA ensemble bass. hydrogr.	VA par ha	Val. de rente par ha	VA ensemble bass. hydrogr.
Bénéfices									
A	107,7	5,8	5 100 000	73,9	5,2	3 500 000	38,0	1,7	1 800 000
B	321,0	17,4	40 300 000	220,7	15,7	27 700 000	114,7	5,2	14 400 000
C	308,3	16,7	14 600 000	211,2	15,0	10 000 000	109,8	5,0	5 200 000
D	557,5	30,3	26 400 000	382,2	27,1	18 100 000	196,4	8,9	9 300 000
E	158,5	8,6	27 400 000	120,9	8,6	20 900 000	78,7	3,6	13 600 000
F	408,0	22,1	19 320 000	296,5	21,0	14 040 000	166,0	7,5	7 860 000
G	18 774,7	1 019,0	2 356 800 000	3 995,8	283,5	501 600 000			
H	5 790,5	314,3	274 200 000	1 220,6	86,6	57 800 000			
Coûts									
1	33,8	1,8	1 600,00	33,8	2,4	1 600 000	33,8	1,5	1 600 000
I	a	10,9	9 510 000	145,9	10,4	6 910 000	81,7	3,7	3 870 000
K	298,7	16,2	37 500 000	298,7	21,2	37 500 000	298,7	13,6	37 500 000
Bénéfices nets									
Petits expl. agricoles du Kelka (Ag seulement)									
A+C+D+F+I-I	1 147,0	62,2	54 310 000	784,0	55,6	37 130 000	395,0	179	18 690 000
(A+C+D+F)/(I+I)	5,9			5,4			5,2		
Société mondiale (Ag+ Re)									
A+B+C+D+E+F+G+H+I+K	25 893,0	1 405,4	2 715 510 000	6 043,0	428,8	607 630 000	289,0	13,6	9 190 000
(A+B+C+D+E+F+G+H)/(I+J+K)	49,5			13,6			1,7		

• La superficie totale consacrée à chaque activité est de 46 353,5 ha (agroforesterie) et de 125 530,7 ha (restitution), Ag et Re, respectivement.

sement de la séquestration du carbone. Dans ce cas, la restauration du paysage forestier produit jusqu'à 13 dollars de bénéfice pour chaque dollar investi (avec un taux d'actualisation de 5 pour cent), soit l'équivalent d'une valeur de rente de 428 USD/ha/an (214 000 FCFA/ha/an). Les estimations de bien-être associées à la séquestration du carbone sont toutefois sensibles au taux d'actualisation utilisé. Comme on peut s'attendre à ce que d'importants dommages dus au changement climatique se manifestent dans plusieurs décennies, la valeur actuelle de ces dommages dépend fortement du taux d'actualisation.

En réalité, la mise en œuvre de la restauration du paysage forestier est confrontée à un certain nombre d'obstacles potentiels, qu'il s'agisse de reforestation de terres publiques ou d'agroforesterie sur des terres privées. Premièrement, les coûts financiers initiaux de la mise en œuvre sont élevés lorsque les agriculteurs doivent passer d'un seul coup de leurs pratiques habituelles à l'agroforesterie. Les populations locales peuvent ne pas disposer des moyens financiers nécessaires pour se lancer dans de telles activités de restauration à grande échelle. Deuxièmement, la forêt du Kelka n'est pas une forêt protégée. Comme elle est de facto une ressource en libre accès, les personnes vivant à l'extérieur de la forêt peuvent récolter les produits tirés des arbres pour leur propre profit. La «tragédie des communs» qui en résulte a découragé les communautés du Kelka de pleinement s'engager dans la restauration du paysage forestier. Troisièmement, comme les avantages de la séquestration du carbone et de l'infiltration de l'eau dans le sol sont externes aux ménages individuels, il y a de fortes chances qu'ils soient ignorés dans les processus décisionnels des ménages. Il faudra donc de fortes dispositions institutionnelles accompagnées de mesures incitatives suffisantes pour que les communautés s'engagent dans la restauration du paysage forestier au-delà de leur propre arpent de terre. De fait, une des raisons pour lesquelles le rapport bénéfice-coût de l'adoption de l'agroforesterie est supérieur à celui d'une intervention intégrée d'agroforesterie et de reforestation tient à ce que les agriculteurs sont en mesure de s'approprier une plus grande part des produits et services écosystémiques fournis par les arbres de leurs exploitations agricoles que lorsque les plantations d'arbres se font sur des terres publiques.

Alors que le manque de liquidités peut expliquer les faibles taux d'adoption de l'agroforesterie, le fait que les agriculteurs considèrent que les arbres attirent la faune et plus particulièrement les oiseaux susceptibles de réduire les rendements des récoltes est un autre frein non négligeable à l'adoption de l'agroforesterie dans la région. Même si aucune preuve scientifique concluante ne permet de dire que c'est bien le cas, il faudra lutter contre ces idées profondément enracinées au moyen de services de vulgarisation appropriés pour les voir disparaître.

Dans le Kelka, depuis plus de dix ans, des interventions de l'UICN s'attaquent aux problèmes institutionnels susmentionnés. Ces interventions visent à soutenir et renforcer la «Convention locale» créée il y a 15 ans par les parties prenantes locales. Cette convention avait pour objectif de renforcer les droits de gestion communautaire des ressources forestières et d'identifier les mécanismes susceptibles de garantir que le partage des bénéfices est équitable et acceptable pour différentes parties prenantes. Elle avait également pour objectif d'accorder des droits aux femmes et à d'autres groupes vulnérables. La convention a été partiellement appliquée pour renforcer les droits sur les ressources locales, assurer un soutien ciblé, sensibiliser la population à l'existence de ladite convention, et permettre aux partenariats locaux (communauté-administration) de stimuler la mise en œuvre. Des plans de gestion environnementale communautaire (CEMP) ont été élaborés avec les diverses communautés du Kelka pour donner la priorité à la gestion forestière et la mettre en place, par ex., en définissant des règles de récolte durable ou en mettant en place des programmes d'indemnisation des communautés qui s'engagent activement dans la restauration du paysage forestier.

Perceptions et contraintes ayant une influence sur la probabilité que les populations locales adoptent l'agroforesterie et s'engagent dans des initiatives de reforestation

L'enquête auprès des ménages réalisée dans le cadre de ce projet a montré que les agriculteurs avaient conscience des problèmes de fertilité du sol. La solution couramment adoptée dans la communauté consiste à apporter un supplément de matière organique à la terre. Malheureusement,

cette solution ne donne pas les résultats attendus en raison de la difficulté à collecter suffisamment de matière organique. Une plus grande sensibilisation aux avantages de l'agroforesterie pour la fertilité du sol peut rendre les populations locales plus réceptives à l'adoption de tels systèmes agricoles. Il est nécessaire de collaborer avec les agriculteurs de la région pour qu'ils expérimentent la RNGA sur leurs exploitations aux fins de démonstration. La réussite de telles démonstrations aura une forte incidence sur la probabilité que les agriculteurs locaux adoptent des systèmes intégrés d'agriculture et de sylviculture. Une option complémentaire consiste à progressivement informer la communauté locale du rôle que peut jouer l'*acacia albida* pour améliorer la fertilité du sol en lui communiquant les résultats obtenus dans d'autres régions semi-arides (par ex., au Niger) (Water Vision, 2014). L'*acacia albida* a été utilisé dans cette étude car son potentiel agroforestier a fait l'objet de recherches extensives, mais d'autres variétés d'acacias indigènes peuvent également être utilisées à des fins expérimentales.

Le premier obstacle majeur à la reforestation tient à la nécessité d'arroser les jeunes arbres pour assurer leur survie (mentionné par 83 pour cent des répondants). Le second obstacle majeur tient à la présence d'animaux errants qui ne permettent pas aux jeunes plants de se développer. Le manque de matériel approprié et de connaissances pour protéger les arbres a également été mentionné comme un important obstacle à la restauration du paysage forestier. Des initiatives d'éducation et la sensibilisation pourraient être utiles pour montrer aux agriculteurs comment régénérer leurs terres agricoles au moyen de certaines essences d'arbres, même s'il importe d'examiner plus avant la politique et les obstacles comportementaux liés aux droits sur ces arbres. C'est peut-être là un domaine dans lequel la convention locale peut avoir un rôle crucial à jouer.

Enfin, le travail sur le terrain réalisé pour cette étude a révélé, au niveau culturel, un obstacle supplémentaire au développement de l'agroforesterie : alors qu'il est considéré que les produits cultivés appartiennent au ménage qui les a plantés, les ressources tirées des arbres présents sur les terres cultivées, par exemple le bois et le fourrage, sont considérées comme des produits appartenant à la collectivité. Il est ainsi difficile, ou du moins socialement inacceptable, pour un agriculteur d'empê-

cher les autres membres de la communauté d'utiliser le bois et le fourrage prélevé sur les arbres, ce qui rend encore plus important l'engagement de la « convention locale » à définir des règles et des limites pour empêcher ces situations défavorables.

Limites et perspectives

Pour des raisons de sécurité dans la zone d'étude, la durée totale des travaux sur le terrain (y compris les groupes de discussion et la gestion des questionnaires) n'a été que de quatre jours. Faute de temps, il a donc été impossible d'explorer en profondeur certains aspects de la situation, par exemple l'éventuelle volonté de la population de se lancer dans l'exploitation commerciale des plantations d'acacias, au-delà du ramassage du bois mort (actuellement, seules les plantations d'eucalyptus sont utilisées en alternance pour une exploitation commerciale nécessitant l'abattage des arbres). Néanmoins, la visite de la communauté de Batouma a permis de collecter de nombreuses informations qui ont rendu possible l'analyse ci-dessus.

Cette évaluation économique ne rend pas pleinement compte des bénéfices offerts par l'agroforesterie et la reforestation. Par exemple, certains avantages de l'agroforesterie associés à l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol peuvent ne pas avoir été pris en compte dans notre évaluation des seules propriétés d'amélioration de la fixation de l'azote et de l'humidité du sol.

La reforestation des pâturages dégradés peut également accroître la fixation de l'azote et faire que les sols soient plus sains à l'avenir. Cette étude ne tient pas compte de cette « valeur d'option⁶ ». Par ailleurs, les avantages associés au développement de la faune (habitat des gazelles, babouins et des abeilles, pour la pollinisation et la production de miel) (Barrow et al., 2012) qui pourraient résulter de la restauration du paysage forestier n'ont pas été pris en considération en raison de la difficulté d'établir des relations de cause à effet incontestables.

L'UICN et ses partenaires ont aidé les communautés à transformer et commercialiser les fruits sauvages des terres reboisées et ont, de ce fait, d'autant plus motivé la protection et la gestion durable



des terres; ce fait donne un aperçu de la valeur supplémentaire potentielle de la biodiversité. Par conséquent, les estimations de la VAN effectuées dans cette étude sont plutôt des estimations basses des bénéfices et non pas des bénéfices nets globaux.

L'étude a été basée sur la simulation de données climatiques s'appuyant sur des observations de la température, du vent et des précipitations au cours des 20 dernières années dans la forêt du Kelka. Elle ne tient pas compte de l'éventuelle influence des futurs impacts du changement climatique dans la région. Les projections prévoient une diminution générale des pluies dans le temps, mais avec une plus grande variabilité des précipitations (GIEC, 2014). L'étude n'a pas pris en considération l'impact incertain de tels changements sur les estimations des valeurs actuelles nettes.

La valeur de la recharge des nappes phréatiques peu profondes a été estimée au moyen d'un modèle de croissance des cultures utilisant l'eau comme donnée de base en partant du principe que, grâce

à la restauration du paysage forestier, l'eau supplémentaire infiltrée dans la nappe phréatique peu profonde est utilisée dans la production du mil. La valeur de l'amélioration du rendement est ensuite utilisée comme indicateur de la valeur fictive de l'eau d'irrigation. Avec cette approche, les auteurs n'ont pas pris en compte le coût de l'approvisionnement en eau (par ex., matériel d'irrigation) et le comportement réel des agriculteurs de la région. Il est donc probable que l'estimation soit en fait une surestimation de la véritable valeur économique nette de l'eau dans la forêt du Kelka.

Enfin, l'hypothèse selon laquelle la restauration d'une zone aussi vaste que la forêt du Kelka peut être homogène, en même temps sur la totalité de sa superficie, doit être perçue comme un moyen abstrait de conceptualiser l'impact global de l'intervention plutôt que comme un vrai programme de mise en œuvre. Cet exercice de conceptualisation est toutefois utile au niveau d'un vaste bassin car il aide à mieux comprendre les processus hydrologiques résultant des interventions de restauration du paysage forestier. Il faut en particu-

⁶ La valeur d'option est la valeur accordée à l'option de profiter de quelque chose à l'avenir sans nécessairement en profiter aujourd'hui.

lier une forte densité de végétation pour pouvoir observer un changement du régime hydrologique en termes d'amélioration de l'humidité du sol et de recharge des nappes phréatiques. Par conséquent, si quelques hectares seulement sont restaurés ou utilisés en agroforesterie, les bénéfices attendus risquent de ne pas se matérialiser. D'autre part, une restauration à grande échelle, comme celle qui est présentée dans cette étude, peut avoir des «effets d'équilibre général», par exemple en tirant le prix du bois de feu vers le bas, auquel cas les estimations des bénéfices du bois de feu sont des surestimations. Par contre, compte tenu de la rareté croissante de la biomasse ligneuse et des pressions exercées par la population dans les zones environnantes, il est peu probable que la demande générale par rapport à l'offre augmente dans le temps. En ce sens, la réalisation d'une analyse coût-bénéfice ex ante d'un avenir incertain est une entreprise ambitieuse.

Les résultats préliminaires de cette analyse ont été présentés lors d'un atelier organisé à Sévaré, en septembre 2014, auquel ont participé des représentants des autorités administratives régionales, des services techniques, d'ONG et des membres de l'Association Walde Kelka. Comme l'ont recommandé les participants à l'atelier, la prise en considération de l'importance du pastoralisme dans la région, un examen plus approfondi des avantages pour le bétail et de la valeur de la restauration des pâturages constitueraient, en toute logique, la prochaine étape de l'étude. Par ailleurs, une prochaine analyse devrait examiner plus soigneusement les stratégies potentielles d'adaptation au changement climatique offertes par la restauration du paysage à grande échelle, par exemple, quant au changement du microclimat, ainsi qu'à la fréquence et aux impacts des périodes de sécheresse. Enfin, une analyse approfondie des mesures d'accompagnement sera nécessaire. L'atelier n'a révélé aucune contrainte politique majeure.

Conclusion

Cette étape concerne l'identification des modes de La dégradation des ressources naturelles des communautés locales est une menace majeure pour le développement durable (Guissé, 2013). L'estimation de la valeur de ces ressources et les interventions nécessaires pour promouvoir leur restauration constituent un premier pas dans la lutte contre la pauvreté et la dégradation des terres. Cette analyse évalue les bénéfices que représentent un accès accru au bois de feu et au fourrage, l'amélioration de la fertilité du sol (accroissement de l'humidité et de la fixation de l'azote) et la séquestration du carbone. L'étude montre que les bénéfices tirés de la restauration du paysage à grande échelle (agroforesterie et reforestation en acacias) dans la région du Kelka sont très supérieurs aux coûts au niveau local comme au niveau mondial lorsqu'ils sont calculés avec un taux d'actualisation de 2,5, 5 et 10 pour cent sur une période de 25 ans. Ces résultats justifient amplement les interventions sur le paysage forestier.

Cette analyse montre également que les bénéfices sont supérieurs aux coûts sur une période de 25 ans au niveau de l'agriculteur individuel. Le rapport bénéfice-coût varie de 5,2 à 6 dans les systèmes agroforestiers en fonction du taux d'actualisation (*tableau 6*). Toutefois, pour les agriculteurs, les arbres intégrés dans les systèmes de culture contrarient la productivité de l'agriculture car, pensent-ils, ils attirent les oiseaux granivores. Il s'agit-là d'idées profondément ancrées dans les esprits qu'il n'est pas possible de vaincre par de la simple communication. Donc, pour pouvoir promouvoir les pratiques agroforestières, comme le recommande la présente étude, il importe de démontrer concrètement leur utilité aux petits exploitants agricoles du Kelka. Il faut envisager d'aborder l'agroforesterie selon des approches appropriées, en mettant particulièrement l'accent sur les options à bas coût offertes par la RNGA, pour éviter d'avoir à soutenir la vulgarisation avec des subventions irréalistes.

Certains bénéfices de la restauration du paysage profitent à un groupe élargi de parties prenantes, par ex. tous les citoyens de la planète bénéficient de la séquestration du carbone. Toutefois, ceux-ci n'ont pas à supporter les coûts associés à la fourniture de ce service écosystémique. Il peut par conséquent être justifié d'encourager les populations locales au moyen de mécanismes de transfert des bénéfices. On créerait ainsi une situation gagnant-gagnant selon laquelle les communautés locales et internationales profiteraient de bénéfices communs. Il reste à trouver des mécanismes appropriés permettant d'aller dans cette direction. Des avantages considérables sont également associés aux pratiques de GDT appliquées au niveau local (par ex., infiltration de l'eau et stabilisation du sol). Les agriculteurs bénéficient directement de la GDT et les éventuelles mesures incitatives doivent être soigneusement examinées pour leur viabilité à long terme et pas seulement pour leurs effets à court terme.

Il faut donner la priorité à l'intensification de la collaboration avec les communautés agricoles en faveur de la régénération naturelle (RNGA). Cela nécessitera des efforts de sensibilisation, d'exposition à d'autres sites et un certain niveau de formation. Au cas où des incitations supplémentaires seraient nécessaires, comme le donne à penser Seyler (1993), les agriculteurs prêts à adopter les pratiques agroforestières pourraient être exemptés de certaines taxes rurales. Les agriculteurs formés aux techniques sylvicoles pourraient également assurer des services de vulgarisation sylvicole au plan local. Même avec de telles mesures incitatives, comme nous l'avons indiqué dans la section sur les perceptions et contraintes ayant une influence sur la probabilité de voir les agriculteurs locaux adopter l'agroforesterie et se lancer dans la reforestation, il faudra également intervenir au niveau socioculturel pour :

- 1) Lutter contre l'idée que les arbres attirent des oiseaux qui s'en prennent aux récoltes, et

- 2) Veiller à ce que les agriculteurs puissent légitimement s'approprier les bénéfices offerts par les arbres présents sur leur exploitation et n'aient pas à craindre que ces arbres soient considérés comme des «ressources publiques».

Concernant le renforcement des droits communautaires de gestion des ressources forestières, un des principaux problèmes rencontrés tient à ce que l'Association Walde Kelka n'a juridiquement pas le droit de sanctionner les personnes qui refusent de se soumettre aux règles et règlements fixés par les institutions locales, et ce, malgré le fait qu'elle tire sa légitimité de l'implication des leaders traditionnels (Hesse and Trench 2000). Le processus de décentralisation malien est inachevé car le processus n'est pas suffisamment souple pour reconnaître les plans de gestion définis au niveau local ou les conventions locales de gestion forestière, est le dernier obstacle à la mise en place et l'application de règlements locaux. Comme les sanctions applicables au non-respect des conventions locales sont du ressort de l'État, les mesures incitatives en faveur de la GDT locale sont absentes (Hesse and Trench 2000). Des problèmes similaires liés à l'absence de droits de propriété sur les ressources en pâturages naturels ont été constatés

dans une étude parallèle de l'ELD en Jordanie (Westerberg and Myint 2014).

Au Mali, une solution éventuelle pourrait venir d'une amélioration du processus de décentralisation qui habiliterait les institutions locales et constituerait une collaboration inclusive entre l'administration forestière, les communes concernées et les parties prenantes locales du Kelka. La forêt du Kelka couvrant trois communes rurales différentes, il est nécessaire d'encourager une étroite collaboration entre elles pour une reforestation à grande échelle.

Il est urgent de stopper la dégradation des terres et l'épuisement des ressources dans le Kelka, ainsi que dans d'autres zones sensibles des régions semi-arides de l'Afrique de l'Ouest. Lorsque les communautés auront plus conscience des problèmes d'épuisement des ressources et y seront plus sensibles, la mise en œuvre des interventions sera plus facile. L'enquête a montré que la population vivant dans la zone de la forêt du Kelka a parfaitement connaissance des problèmes et est prête à entreprendre des activités susceptibles d'améliorer le capital naturel de la zone ainsi que les dividendes des services écosystémiques qu'elle procure.



Références

- Afrique Nature International. (2009). Évaluation externe indépendante des modes de gestion actuels et potentiels des aires protégées du Mali. Propositions pour leur évolution Projet PoWPA – PIMS 3273/ATLAS 55361.
- Anthoff, D., Tol, R.S., & Yohe, G.W. (2009). Risk aversion, time preference and the social cost of carbon. No WP252. Dublin, Irlande: Economic and Social Research Institute (ESRI).
- Anthoff, D., & Tol, R.S. (2012). The climate framework for Uncertainty, Negotiation and Distribution (FUND), Technical Description, Version 3.6.URL. Extrait le [01. 09.2014] de [www.fund-model.org].
- Ardakanian, R., & Walter, T. (2011). Capacity development for farm management strategies to improve crop-water productivity using AquaCrop: Lessons learned. UNW-DPC (7). Tokyo, Japon: UNU.
- Arrow, K., Solow, R., Portney, P.R., Leamer, E.E., Radner, R., & Schuman, H. (1993). Report of the NOAA panel on contingent valuation. *Federal Register* 58(10): 4601–4614.
- Ba, A., & Nimaga, B. (2010). Étude sur le genre, droits et tenure dans la gestion décentralisée des ressources foncières et forestières au Mali. Rapport étude genre et foncier UICN/RRI.
- Barbier, E.B. (2000). The economic linkage between rural poverty and land degradation: Some evidence from Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*: 82: 355–370.
- Barrow, B., Fisher, R., & Gordon, J. (2012). Improving ecosystem functionality and livelihoods: Experiences in forest landscape restoration and management. Gland, Suisse: UICN.
- Belachew, W. (2012). Ethiopia: Why Faidherbia Is Considered a Promising Tree? Ethiopian Press Agency. Extrait le [01. 09. 2014] de [http://allafrica.com/stories/201211190086.html].
- Brent, R. (1989). The farmers home administration's social discount rate. *Applied Economics*, 21: 1247–1256.
- Boardman, A.E., Greenberg, G.H., Vining, A.R., & Weimer, D.L.(2006). *Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice*. Prentice Hall: Upper Saddle River, New Jersey, USA. 187–205.
- Bocum, A., Cochrane, K., Diakite, M. & Kane, O. (2003). *Social inclusion: a pre-requisite for equitable and sustainable natural resource management: Two experiences in Mali*. London, Mcpgoldies Limited.
- Bonkougou, E.G. (1987). Monographie de *Acacia albida* Del., espèce agroforestière à usages multiples; Études et Actions Intégrées de Reboisement Villageois dans la Province du Bazega, Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso: Institut de Recherche en Biologie et Écologie Tropicale.
- Brockwell, J., Searle, S.D., Jeavons, A.C., & Waayers, M. (2005). Nitrogen fixation in acacias: an untapped resource for sustainable plantations, farm forestry and land reclamation. *ACIAR Monograph*, 115: 132.
- Brechin, S.R., Wilheusen, P.R., Fortwangler, C.L., & West, P.C., (Eds.). (2003). *Contested Nature: Promoting International Biodiversity with social justice in the 21th century*. Albany, New York: State University of New York Press.
- Calder, I., Hofer, T., Vermont, S., & Warren, P. (2007). Towards a new understanding of forests and water. Extrait le [01. 09. 2014] de [www.fao.org/docrep/010/a1598e/a1598e02.html].
- CDM. (2013). Clean Development Mechanism Methodology A/R Methodological tool. Estimation of carbon stocks and change in carbon stocks of trees and shrubs in A/R CDM project activities, Version 04.1.
- Cisse, M. I., & Kone, A.R. (1992). The fodder role of *Acacia albida*: Extent of knowledge and prospects for future research.In: Vandenbeldt R. J.(Ed.). *Faidherbia albidain West African semi-arid tropics. Proceedings of a workshop held in Niamey, Niger*, pp. 29–37.
- CLIMWAT. (2011). CLIMWAT 2.0 for CROPWAT. Extrait le on [01. 09. 2014] from [www.fao.org/nr/water/infoces_databases_climwat.html].
- CCNUCC. (2001). Review of the implementation of commitments and of other provisions of the Convention. Decision FCCC/CP/2001/L.7. Extrait le [01. 09. 2014] de [www.unfccc.int/resource/docs/cop6secpart/107.pdf].

- Cowie, A. L., Penman, T. D., Gorissen, L., Winslow, M. D., Lehmann, J., Tyrrell, T. D., Twomlow, S., Wilkes, A., Lal, R., Jones, J. W., Paulsch, A., Kellner, K., & Akhtar-Schuster, M. (2011). Towards sustainable land management in the drylands: Scientific connections in monitoring and assessing dryland degradation, climate change and biodiversity. *Land Degradation and Development*, 22: 248–260.
- CTFT. (1986.) *Faidherbia albida*. Centre Technique Forêtier Tropical, Nogent-sur-Marne.
- Cuesta, M., Carlson, G., & Lutz, E. (1994). An empirical assessment of farmer's discount rates in Costa Rica and its implication for soil conservation. Washington, D.C.: Banque mondiale.
- Danso, S.K.A., Zapata, F., Hardarson, G. (1987). Nitrogen fixation in fababeans as affected by plant population density in sole or intercropped system with barley. *Soil Biology Biochemistry*, 19: 411–415.
- Day, J. C., Hughes, D.W., & Butcher, D.W. (1992). Soil, water and crop management alternatives in rain-fed agriculture in the Sahel: An economic analysis. *Agricultural Economics*, 7(3-4): 267–287.
- Deme, Y. (1998). Natural resource management by local association in the Kelka Region of Mali. Londres: IIED.
- Diallo, Y., Winter, M. (1996). Decentralized natural resource management in the republic of Mali: Summary of case studies and general conclusions. Report for member States of CILSS.
- Dicko, M.M. (2006). Ressources Naturelles et Gestion des conflits «Cas du cercle de Douentza». Mali: Université du Mali/Faculté des Lettres, des Arts et des Sciences humaines – Maîtrise en Anthropologie.
- Dommergues, Y. R. (1987). The role of biological nitrogen fixation in agroforestry. In Steppeler, H.A., & Nair, P.K.R., (Éds). *Agroforestry, a Decade of Development – World Agroforestry*. Nairobi, Kenya: ICRAF.
- FAO. (1974). Key to the FAO Soil Units. Extrait le [01. 09. 2014] de [www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-classification/fao-legend/key-to-the-fao-soil-units/en/].
- FAO. (1980). Ressources génétiques d'essences arborées des zones arides et semi-arides. Projet FAO/IBPGR. Rome, Italie: FAO.
- FAO. (1999.) *Agroforestry Systems 05-2001*. 52 (2), pp 169–170. *Agroforestry Parklands in Sub-Saharan Africa*. J.-M. Boffa. Conservation Guide 34, Rome, Italie: FAO.
- FAO. (2007). Projet Intrans. Le développement du Warrantage au Niger: Communication du projet Intrans FAO au colloque Farm, Paris, Décembre 2007. Extrait le [01. 09. 2014] de [www.micro-financement.cirad.fr/fr/news/bim/Bim-2008/BIM-08-02-12.pdf].
- Felker, P. (1978). State of the art: *Acacia albida* as a complementary permanent intercrop with annual crops. Washington D.C.: USAID.
- Water Vision. (2014). An effective approach to restoring and improving agricultural, forested and pasture lands. Extrait le [01. 11. 2014] de [www.worldvision-institut.de/_downloads/allgemein/FMNR_PM.pdf].
- Giffard, P. (1964). Les possibilités de reboisement en *Acacia albida* au Sénégal. *Bois For. Trop.*, 95: 21–32.
- Goudzwaard, L. (2014). Fact sheet: *Acacia tortilis*. Forest Ecology and Forest Management Group. Extrait le [23.08.2014] de [www.wageningenur.nl/_upload_mm/0/7/0/c1da0b97-5e3f-4bc3-873d-d6ac41cf171b_acatorf.pdf].
- Guisse, A., Boëtsch, G., Ducourneau, A., Goffner, D., & Gueye, L. (2003) L'Observatoire hommes-milieus international Tessékéré (OHMi): Un outil de recherche pour étudier la complexité des écosystèmes arides du Sahel. *Comptes Rendus Biologies*, 336 (5-6): 273–277.
- Haglund, E., Ndjeunga, J., Snook, L., & Pasternak, D. (2011). Dry land tree management for improved household livelihoods: Farmer managed natural regeneration in Niger. *Journal of Environmental Management*, 92(7): 1696–1705.
- Hearne, R.R., & Easter. K.W. (1997). The economic and financial gains from water markets in Chile. *Agricultural Economics* 15: 187–199.
- Hesse, C., & Trench, P. (2000). Decentralisation, and institutional survival of the fittest in the Sahel – What hope for CPRM? Regional Action Research Programme on Shared Management of Common Property Resources (SM CPR). Royaume-Uni: SOS Sahel/IIED.
- Hope, C. (2011). *The PAGE09 integrated assessment model: A technical description*. Cambridge Judge Business School Working Paper. 4(11). Cambridge, University of Cambridge.
- Hines, D.A., & Eckman, K. (1993). Indigenous multipurpose trees of Tanzania: uses and economic benefits for people. Document de travail de la FAO:Misc/93/9. Rome, Italie: FAO.
- IPCC. (2003). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry (GPG-LULUCF). Hayama, Japon: Institute for Global Environmental Strategies.

- IPCC. (2007). Glossary J-P. In: Metz, B., et. al. (Eds.), Annex I: *Climate Change 2007: Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge, Royaume-Uni: Cambridge University Press.
- IPCC. (2014). The IPCC's fifth assessment report. What's in it for Africa. Overseas Development Institute and Climate and Development Knowledge Network
- IWG. (2010). Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866. United States Government. Extrait le [01. 09. 2014] de [www.epa.gov/oms/climate/regulations/scctsd.pdf].
- IWG. (2013). Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis Under Executive Order 12866. United States Government. http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/inforeg/social_cost_of_carbon_for_ria_2013_update.pdf.
- IWG. (2013). Technical update of the social cost of carbon for regulatory impact analysis. Extrait le [20.04.2015] de [www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/inforeg/social_cost_of_carbon_for_ria_2013_update.pdf].
- Johansson, R.C. (2005). *Micro and Macro-level approaches for assessing the value of irrigation water*. Working Paper 3778. Washington, D.C.: Banque mondiale.
- Katile, A. (2014). Personal communication with General Secretary of the Kelka Association, Feb 2014 in Batouma, Mopti.
- Khoshravesh, M., Mostafazadeh-Fard, B., Heidarpour, M., & Kiani, A.R. (2013). AquaCrop model simulation under different irrigation water and nitrogen strategies. *Water Science & Technology*, 67(1): 232–238.
- Kiriniya, C.K. (1988). *Acacia albida*: A potential species for nitrogen fixation. *East African Agricultural and Forestry Journal*, 53: 225–227.
- Kyalangalilwa, B., Boatwright, J.S., Daru, B.H., Maurin, O., & van der Bank, M. (2013). Phylogenetic position and revised classification of *Acacia* s.l.(Fabaceae: Mimosoideae) in Africa, including new combinations in *Vachellia* and *Senegalia*. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 172(4): 500–523.
- Laike, A. (1992). *Faidherbia albida* in the traditional farming systems of central Ethiopia. In Vandenbergdt, R.J., (Éd.) *Faidherbia albida in the West African semi-arid tropics: Workshop proceedings* (39:1). Nairobi, Kenya: ICRAF.
- Lal, R. (2002). Carbon sequestration in dryland ecosystems of West Asia and North Africa. *Land Degradation and Development*, 13: 45–59.
- Le Houerou, H. N. (1985). Le rôle des arbres et arbustes dans les pâturages sahéliens. Ottawa: IDRC.
- Liebenow, D.K. Cohen, M.J., Gumbrecht, T., Shepherd, K.D., & Shepherd, G. (2012). Do ecosystem services influence household wealth in rural Mali? *Ecological Economics*, 82: 33–44.
- Maguire, D.A., Shreuder, G.F., & Shaikh, M. (1990). A biomass/yield model for high-density *Acacia Nilotica* plantations in Sind, Pakistan. *Ecological Management*, 37: 285–302.
- Myint, M.M. (2014). Biophysical analyses report for studying biophysical, environmental and economic benefit perspectives of agroforestry system in the selected watershed of Mopti, Mali. Nairobi: UICN.
- Niles, J.O., Brown, S., Pretty, J., Ball, A.S., & Fay, J. (2002). Potential carbon mitigation and income in developing countries from changes in use and management of agricultural and forest lands. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 360(1797): 1621–1639.
- Nkonya, E., Pender, J., Jagger, P., Sserunkuuma, D., Kaizzi, C., & Ssali, H. (2004). Strategies for sustainable land management and poverty reduction in Uganda. Washington, D.C.: IFPRI.
- Nordhaus, W.D. (2010). Economic aspects of global warming in a post-Copenhagen environment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 107(26): 11721–11726.
- OCDE. (2002). Économie locale du cercle de Ségou.
- Okello, B.D., O'Connor, T.G., & Young, T.P. (2001). Growth, biomass estimates, and charcoal production of *Acacia drepanolobium* in Laikipia, Kenya. *Forest Ecology and Management*, 142: 143–153.
- Okoria, J., & Maghembe, J.A. (1994). The growth and yield of *Acacia albida* intercropped with maize (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) at Morogoro, Tanzania. *Forest Ecology and Management* 64(2-3): 183–190.
- Pender, J., Place, F., & Ehui, S., (Eds). (2006). Strategies for sustainable land management in the East African highlands. Washington, D.C.: IFPRI.
- Poschen, P. (1986). An evaluation of the *A. albida* based agroforestry practices in the Hararghe highlands of Eastern Ethiopia. *Agroforestry Systems*. 4: 129–43.
- Pretty, J.N., Noble, A.D., Bossio, D., Dixon, J., Hine, R.E., Penning de Vries, F.W.T., Morison, J.I.L. (2006). Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries. *Environmental Science and Technology*, 40: 1114–1119.
- PROTA. (2014). Extrait le [23.08.2014] de [http://database.prota.org/PROTAhtml/Acacia%20nilotica_En.html].

- PSS. (2014). Rapports PSS No1: Annexe 1. Extrait le [23. 08. 2014] de [<https://library.wur.nl/way/catalogue/documents/Sahel/RAP1/RAPO1B.HTM>].
- Reitbergen-McCraken, J. S. & Maginnis, A.S. (2007). *The Forest Landscape Restoration Handbook*. Londres, Royaume-Uni: Earthscan.
- Ringius, L. (2002). Soil carbon sequestration and the CDM: opportunities and challenges for Africa. *Climatic Change*, 54: 471–495.
- Schroth, G. (1995). Tree root characteristics as criteria or species election and systems design in agroforestry. *Agroforestry Systems*, 4: 125–143.
- Seyler, R.S. (1993). A systems analysis of status and potential of *Acacia albida* in the north central peanut basin of Senegal. Thèse de doctorat. Lansing, États-Unis: Michigan State University.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D., Fereres, E. (2009). AquaCrop: The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3): 426–437.
- Tangara, N.T. (2006). Étude sur les professionnels du bois énergie au Mali. Rapport Final. Bamako, Mali: CILSS.
- Trotter, C., Tate, K., Scott, N., Townsend, J., Wilde H., Lambie, S., Marden, M., & Pinkney, T. (2005). Afforestation/ reforestation of New Zealand marginal pasture lands by indigenous shrublands: the potential for Kyoto forest sinks. *Annals of Forest Science*, 62: 865–871.
- UNCCD. (2012). Zero Net Land Degradation: A sustainable development goal for Rio+20. UNCCD Secretariat Policy Brief. UNCCD: Bonn, Allemagne.
- Vedeld, P., Angelsen, A., Sjaastad, E., & Kobugabe-Berg, G. (2004). Counting on the environment: Forest incomes and the rural poor. Environmental Economics Series, Paper No. 98. Washington, DC: Banque mondiale.
- Vitousek, P.M., Hättenschwiler, S., Olander, L. & Allison, S. (2002). Nitrogen and nature. *Ambio*, 31(2): 97–101.

Annexes

Annexe A – Coûts et prix

Prix de l'azote

Le prix d'un kilogramme d'azote pur peut être estimé par référence au prix d'un sac d'engrais azoté (PSS, 2014). Un sac de 50 kg d'engrais azoté contient 23 kg d'azote pur et 27 kg d'autres matières inertes. Il coûte entre 12 500 et 13 500 francs CFA (FAO, 2007). Le prix d'1 kg d'azote s'établit donc entre 543 et 587 FCFA. 565 FCFA/kg (1,13 USD/kg) est le prix utilisé ici pour les calculs. Une évolution des prix n'est pas prise en compte.

Prix du mil

Le prix du mil a été estimé à partir des prix constatés lors d'une visite de marchés. Le prix moyen du mil s'élève à 150 FCFA/kg (0,3 USD/kg). Une éventuelle évolution des prix n'a pas été prise en compte.

Prix du bois de feu

Le prix du bois de feu est estimé à 15 FCFA/kg (0,03 USD/kg) dans les zones rurales éloignées de 40 à 80 km d'une grande zone urbaine comme c'est le cas pour Kelka (Tangara, 2006). Cette estimation est utilisée ici et une nouvelle fois une éventuelle évolution des prix n'est pas prise en compte.

T A B L E A U A 1

Description, valeur et sources de différentes variables

Description	Variable	Valeur	Sources
Surface par arbre. Calculée à partir de l'espace entre les arbres	a	Agroforesterie: 10 m x 10 m = 100 m ² Restauration: 3 m x 3 m = 9 m ²	Hypothèses reposant sur des pratiques usuelles
Surface correspondant aux différents types d'utilisation des terres	A	Agriculture = 29 314,99 ha Agroforesterie = 47 353,53 ha de restauration = 125 530 ha	Estimé par télédétection à haute résolution et Google Earth Professional
Taux de croissance des arbres	R	Différent selon l'espèce d'acacia concernée <i>A. albida</i> : 7,55 kg/arbre/an <i>A. nilotica</i> : 6 kg/arbre/an <i>A. raddiana</i> : 4 kg/arbre/an	Okorio and Maghembe (1994) Maguire et al. (1990) Hines and Eckman (1993)
Biomasse ligneuse à un moment donné	Biomasse t	Biomasset = 1,27 x R x t x A / a	IPCC (2003)
Biomasse dans le bois mort (la quantité de bois mort ramassé par la population locale)	Bois mort	Bois mort = 0,11 x biomasse	IPCC (2003)
Fixation de l'azote	Azote	Azote = (1,32 x biomasse) / 1000	Dommergues (1987)
Séquestration de carbone	CO ₂	CO ₂ = 0,5 X 3,6663 X Δbiomasse	IPCC(2003)
Humidité du sol	Humidité du sol	Humidité du sol = c x biomasse	SWAT
Valeur actuelle du bois de feu	PV F _t		Calculée
Valeur actuelle de l'azote	PV N _t		Calculée
Valeur actuelle du carbone	PV CO _{2,t}		Calculée

TABLEAU A1 (SUITE)

Description, valeur et sources de différentes variables

Description	Variable	Valeur	Sources
Valeur actuelle de l'humidité du sol (traduite en termes de rendements)	$PV Y_t$		Calculée
Rendement dans le scénario de référence	Y	255 kg/ha	Enquête auprès de petits exploitants à Batouma
Prix du bois de feu	P_F	0,03 USD/kg	Tangara (2006)
Prix de l'azote	P_N	1,13 USD/kg	Enquête
Prix du carbone (dommage économique)	SSC_t	Varie, voir source	IWG (2013)
Price d'un kg de rendement de mil (grâce au supplément d'humidité du sol)	P_Y	0,3 USD/kg	Enquête auprès de petits exploitants à Batouma
Coût d'intervention		$CO_2 = 0,5 \times 3,6663 \times ABiomasse$	IPCC (2003)
Taux d'actualisation	r	2,5, 5, et 10 pour cent	SWAT

Annexe B – Paramétrage des modèles de croissance des végétaux AquaCrop et ArcSWA

Les paramètres utilisés dans le modèle AquaCrop sont précisés ci-dessous dans les *tableaux B.1* et *B.2*. Les données pédologiques ont été choisies par référence à la base de données de la FAO pour cette région.

NB: Pour le *tableau B.2*, l'indice de récolte a été étonné de manière à refléter le rendement réel dans le scénario actuel. Des fichiers de paramétrage supplémentaires sont disponibles sur demande auprès des auteurs. Les données climatiques (pré-

TABLEAU B1

Paramètres du sol

Description	Limon sableux
Épaisseur (m)	4
Point de flétrissement permanent (%)	10
FC (Capacité au champ) (%)	22
SAT (Saturation) (%)	41
Eau totale disponible dans le sol (mm/m)	120
Conductivité hydraulique à saturation (mm/jour)	500

Sources: FAO (1974) and Aquacrop database. Steduto et al (2009)

T A B L E A U B 2

Paramètres des cultures

Région	Culture	Date de plantation	Indice de récolte (%)	Densité de semis (plants/m ²)
Mopti	Mil	15/05	22	13,3

Sources: CropWat and Aquacrop database, Steduto et al (2009)

cipitations, évapotranspiration et températures) de la région de Mopti ont été extraites de la base de données ClimWat de la FAO (ClimWat, 2001). Il n'a été tenu compte d'aucun paramètre particulier de gestion sur le terrain.

Modèle ArcSWAT – données et résultats

Les données spatiales nécessaires pour le modèle ArcSWAT sont celles du modèle numérique de terrain (MNT), les données de couverture terrestre / d'utilisation des terres, et les données relatives au sol. Bases de données optionnelles: Study Area Mask, Streams, User Defined Watershed et User

Defined Streams. Le modèle a également besoin des températures mensuelles ou quotidiennes (°C), des précipitations (mm), de la vitesse du vent (m/s), de l'humidité relative (fraction) et de l'énergie solaire (MJ/m²). Les détails méthodologiques sont fournis par Myint (2014).

Les données météorologiques mondiales quotidiennes de température, d'énergie solaire, d'humidité relative et de vitesse du vent fournies par l'université A&M du Texas, les centres nationaux de prévisions météorologiques (National Centers for Environmental Prediction – NCEP) et par Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) ont été utilisées pour les analyses. Les métadonnées climatiques sont présentées en détail dans l'encadré 1. Les données mensuelles de précipitations dans la région de Mopti ont été utilisées pour la modélisation. L'équation du bilan hydrique est illustrée dans l'encadré B2.

E N C A D R É B 1

Données climatologiques

Métadonnées climatiques	
Latitude sud	12,5
Longitude ouest	33,5
Latitude nord	15,5
Longitude est	36,5
Nombre de stations météorologiques	90
Date de début	12/1/1990
Date de fin	12/31/2010
Heure de début dans la journée	12 h 00
Données collectées	
Température	°C
Précipitations	mm
Vents	m/s
Humidité relative	fraction
Solaire	MJ/m ²

Source: Myint (2014)

E N C A D R É B 2

Équation du bilan hydrique

$$Sw_{t_1} = Sw_{t-1} + \{R_t - Q_t - E_t - GWQ_t\}$$

Sw_t	Teneur en eau dans le profil du sol à la fin du jour (aujourd'hui)
Sw_{t-1}	Teneur en eau dans le profil du sol au jour t-1(hier)
R_t	Précipitations (aujourd'hui)
Q_t	Ruissellement (aujourd'hui)
E_t	Évapotranspiration (aujourd'hui)
W_t	Pertes par infiltration (aujourd'hui)
GWQ_t	Écoulement d'eau souterraine (aujourd'hui)

Source: Myint (2014)

TABLEAU B 3

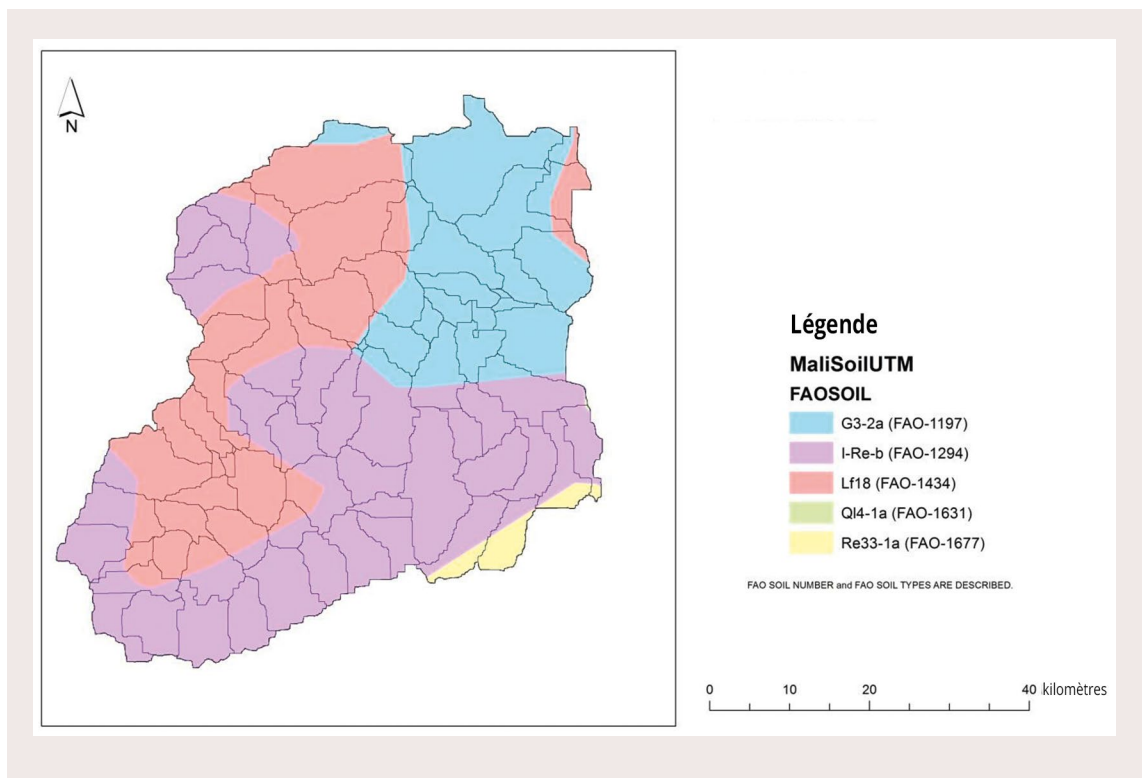
Différences hydrologiques entre le scénario de restauration du paysage forestier et le scénario de référence

Valeurs annuelles moyennes du Bassin (1990-2010)	Volume par ha (m ³ /ha)*
Ruissellement de surface Q	-110,0
Sol latéral Q	-1,4
Eaux souterraines (recharge des nappes phréatiques)	197,7
Remontées capillaires depuis l'aquifère (humidité du sol)	21,2
Apport d'eau total	89,8
Percolation	-39,1
Évapotranspiration	233,0
PET	1,0
Pertes par transmission	-4,6
Charge totale de sédiments	0,9

* 1 m³ = 0,1 mm

FIGURE B 1

Carte de la FAO des sol du bassin dans le nord est de la région de Mopti, au Mali (repris de Myint, 2014)



Annexe C – Valeur actuelle de l'amélioration de la production de bois de chauffage

Selon le GIEC (2003), dans les forêts des zones semi-arides, le rapport bois mort-bois vivant est de 0,11. Sur cette base, la valeur actuelle du bois de chauffage est calculée au moyen des équations suivantes :

$$\Delta \text{bois de chauffage} = 0.11 \times \text{biomasse aérienne} \quad (C1)$$

$$VA_{FW_t} = \frac{p_F (\Delta \text{bois de chauffage}_{alt} - \Delta \text{bois de chauffage}_{base de référence})}{(1+r)^t} \quad VA_{\text{bois de chauffage}} = \sum_{t=0}^T VA_{FW_t} \quad (C2)$$

dans lesquelles r est le taux d'actualisation et T est l'horizon de temps considéré (ici, $T = 24$ ans).

Annexe D – Valeur actuelle de l'amélioration de la production de fourrage

La valeur actuelle de l'amélioration de la production de fourrage est calculée au moyen des équations D1 et D2, dans lesquelles la production maximale de fourrage (130 kg/arbre) est atteinte l'année 25.

$$\text{Valeur des fourrages } (t + 1) = \text{coût unitaire} \times \text{production de fourrage } t_0 + \left(\frac{130}{25} \text{ kg}\right) \times \text{nombre d'arbres} \quad (D1)$$

$$\text{Valeur Actuelle des fourrages} = \sum_{t=0}^T \frac{\text{valeur des fourrages}_{alt} (\text{pour l'année } t)}{(1+r)^t} \quad (D2)$$

Annexe E – Valeur actuelle de l'amélioration de la fixation de l'azote

Pour estimer la valeur de l'amélioration de la fixation d'azote, nous estimons le coût associé au remplacement d'une quantité équivalente d'azote du sol par l'achat d'engrais inorganiques selon les équations E1 et E2. Les informations de prix utilisées sont données dans l'annexe A.

$$\Delta \text{Azote} = \frac{1.32 \text{ N}_2/\text{kg} \times \text{biomasse}}{1000}, \quad (E1)$$

$$VA_{N_t} = \frac{p_N (\Delta \text{azote}_{alt} - \Delta \text{azote}_{base de référence})}{(1+r)^t}, \quad VA_{N_2 \text{ fixé}} = \sum_{t=0}^T VA_{N_t} \quad (E2)$$

Annexe F – Valeur actuelle de l'amélioration de la séquestration du carbone

Selon les lignes directrices du GIEC niveau 1, la quantité annuelle supplémentaire de carbone séquestré est estimée représenter 50 pour cent de l'accumulation annuelle de biomasse souterraine et aérienne due à la reforestation et à l'agroforesterie. Le carbone est ensuite converti en dioxyde de carbone en le multipliant par un facteur de conver-

sion de 3,6663 (équation F1). L'équation F2 sert à estimer le bénéfice en valeur actuelle de l'amélioration de la séquestration du carbone considéré comme égal à l'équivalent en dollars des dommages évités grâce à la séquestration du carbone qui, autrement, se serait trouvé dans l'atmosphère mondiale.

$$\text{biomasse totale} = \text{biomasse aérienne} + \text{biomasse souterraine} = 1.27 \times \text{biomasse aérienne} \quad (F1)$$

$$\Delta CO_2 = 0.5 \times 3.6663 \times \Delta \text{biomasse totale} \quad (F2)$$

$$VA_{CO_2} = \frac{ssc_t (\Delta CO_{2alt} - \Delta CO_{2base\ de\ référence})}{(1+r)^t}, \quad VA_{CO_2\ séquestrer} = \sum_{t=0}^T VA_{CO_2} \quad (F3)$$

Équation dans laquelle r est le taux d'actualisation, T est l'horizon de temps considéré (ici, $T = 24$ ans).

Annexe G – Valeur actuelle de l'amélioration de l'humidité du sol et de l'infiltration de l'eau dans le sol

La valeur actuelle utilisée pour estimer la valeur de l'amélioration de l'humidité du sol, grâce à sa contribution à l'amélioration des rendements agri-

coles dans les systèmes de production agroforestière, est calculée grâce à l'équation G1.

$$VA_{Y_t} = \frac{p_Y (0.95 \Delta \text{rendements}_{alt} - \Delta \text{rendements}_{base\ de\ référence})}{(1+r)^t}, \quad VA_{humidité\ du\ sol} = \sum_{t=0}^T VA_{Y_t} \quad (G1)$$

Annexe H – Coût de la production de fourrage tirée de l'agroforesterie

Le coût de mise en œuvre et de gestion d'un système agroforestier (A. Albida) est calculé à partir du coût d'opportunité du temps de travail des ménages.

Le coût de mise en œuvre du système agroforestier est lié au temps passé à surveiller, arroser et planter les graines la première année, alors que le coût de gestion dépend du temps de travail annuel consacré à la récolte du fourrage (taille).

On considère que le coût de la taille dépend de la quantité de fourrage à récolter, qui dépend elle-même (linéairement) de l'âge de l'arbre. On considère que les arbres atteignent leur pleine production à 25 ans. L'équation H1 nous permet de calculer le coût de la taille pour une année.

$$\text{coûts d'émondage (pour l'année } t) = \frac{\text{coûts d'émondage par arbre} \times \text{nombre d'arbres} \times \text{l'âge de l'arbre}}{25} \quad (H1)$$

Les coûts en valeur actuelle de mise en œuvre et de gestion du système agroforestier peuvent ainsi être calculés au moyen de l'équation H2:

$$\text{valeur actuelle des coûts} = \text{coûts de mise en œuvre}_{t=0} = \sum_{t=0}^{24} \frac{\text{coûts d'émondage}_t}{(1+r)^t} \quad (H2)$$

Annexe I. Valeur actuelle nette de mise en œuvre du scénario alternatif de restauration et d'agroforesterie.

$$\begin{aligned} NVP &= \sum_{t=0}^r PV FW_t + \sum_{t=0}^r PV F_t + \sum_{t=0}^r PV N_t + \sum_{t=0}^r PV CO2_t + \sum_{t=0}^r PV Y_t - \sum_{t=0}^r \frac{C_t}{(1+r)^t} \\ &= \sum_{t=0}^r \frac{(\text{bénéfices}_{\text{alternative } t} - \text{bénéfices}_{\text{base de référence } t}) - \text{coûts}_{\text{alternative } t}}{(1+r)^t} \quad (I1) \end{aligned}$$

Équation dans laquelle FW est le bois de chauffage, F le fourrage, N l'azote du sol, Y les rendements

(tirés de l'humidité du sol et de la percolation des eaux souterraines) et C les coûts.

Sigles et acronymes

ArcSwat	Soil and Water Assessment Tool) – logiciel
CEMP	Plan de gestion environnementale communautaire (Community Environmental Management Plan)
CSC	Coût social du carbone
DDTS	Désertification, dégradation des terres et sécheresse
DLDD	Land Degradation Initiative Food and Agriculture Organisation
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
GDT	Gestion durable des terres
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
MEI	Modèle d'évaluation intégrée
MNT	Modèle numérique de terrain
NDT	Neutralité de la dégradation des terres
NVDT	Indice différentiel de végétation normalisé (Normalized Difference Vegetation Index)
RNGA	Régénération naturelle gérée par les agriculteurs
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
UNFCCC	Convention cadre des Nations unies sur le changement
USD	Dollar américain
VAN	Valeur actuelle nette

Liste des figures

Figure 1	Carte du bassin hydrographique de la forêt du Kelka, dans la région de Mopti, au Mali.	12
Figure 2	Scénario de référence d'utilisation des terres et de couverture terrestre et scénario de restauration du paysage forestier dans le bassin hydrographique de la forêt du Kelka, Mopti.	15
Figure 3	Approche méthodologique globale (les principales variables sont décrites dans le tableau 1 de l'annexe A)	21
Figure B1	Carte des sols de la FAO	42

Liste des tableaux

Tableau 1	Statistiques d'utilisation des terres et de couverture terrestre dans la zone d'étude du bassin hydrographique du Kelka, région de Mopti, pour les scénarios de référence et de restauration du paysage forestier	13
Tableau 2	Données socioéconomiques et géographiques (statistiques de base) tirées de l'enquête consacrée aux petits exploitants agricoles à Batouma	17
Tableau 3	Biomasse de l'acacia <i>A. albida</i> pour différents espacements (Okorio and Mahembe, 1994)	19
Tableau 4	Synthèse des hypothèses de croissance et de densité des arbres utilisées dans le scénario de reforestation.	20
Tableau 5a	Coût de mise en œuvre de la plantation et de l'arrosage jusqu'à la germination ...	25
Tableau 5b	Coût de mise en œuvre de la surveillance	25
Tableau 6	Calcul de la valeur actuelle nette de l'agroforesterie et de la reforestation (en USD)	28
Tableau A1	Description, valeur et sources de différentes variables	39
Tableau B1	Paramètres du sol	40
Tableau B2	Paramètres des cultures	41
Tableau B3	Différences hydrologiques entre le scénario de restauration du paysage forestier et le scénario de référence	42

Liste des encadrés

Encadré B1	Données climatologiques	41
Encadré B2	Équation du bilan hydrique	41



Pour un complément d'informations ou soumettre des commentaires, veuillez contacter:

Secrétariat de l'Initiative ELD
Mark Schauer
c/o Deutsche Gesellschaft
für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Friedrich-Ebert-Allee 36
53113 Bonn
Allemagne
T + 49 228 4460-3740
E info@eld-initiative.org
I www.eld-initiative.org

Cette brochure a été publiée avec le soutien des organisations partenaires de l'Initiative ELD et la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH pour le Ministère allemand fédéral pour la Coopération Économique et le Développement (BMZ).

Photographie: première et quatrième pages des couvertures © GIZ
Mise en page: kipconcept GmbH, Bonn
Imprimé en l'Union européenne sur du papier certifié FSC
Bonn, juin 2015
©2015

www.eld-initiative.org

ISBN 978-92-808-6076-4

